

De Økonomiske Råd 
Formandskabet

KAPITEL III

AUTOMATISERING

I FREMSTILLINGS-

SEKTOREN

KAPITEL III

AUTOMATISERING I FREMSTILLINGSSEKTOREN

Robotter og andre maskiner *automatiserer* i stigende omfang arbejdsopgaver, som tidligere blev udført af mennesker. Undersøgelser fra andre lande peger på, at denne udvikling øger produktiviteten, men også kan mindske lønkvoten og øge indkomstuligheden.

I kapitlet undersøges udbredelsen og effekterne af automatiserende maskiner i fremstillingssektoren i Danmark.

En stigende del af de danske virksomheder anvender automatiserende maskiner, men stigningen i det samlede investeringsomfang er begrænset relativt til andre typer kapital.

Både produktivitet og antal ansatte stiger i de virksomheder, der automatiserer, mens lønkvoten falder. Stigningen i antal ansatte kan afspejle, at virksomhederne udvider produktionen, fordi de vinder markedsandele.

III.1

INDLEDNING

Kapitlet omhandler automatisering – dvs. når teknologi overtager arbejdsopgaver

Den teknologiske udvikling betyder, at robotter, computere og andre maskiner i stigende omfang overtager visse arbejdsopgaver i samfundet. Udviklingen er en konsekvens af, at maskinerne dels bliver mere sofistikerede og kan udføre mere komplekse opgaver, dels bliver billigere. Derfor bliver det med tiden mere profitabelt for virksomheder at lade maskinerne udføre bestemte arbejdsopgaver. Denne omstilling kaldes automatisering og er emnet for nærværende kapitel.

Automatisering øger produktiviteten, men kan også øge ulighed og mindske realløn

Automatisering giver produktivitetsvækst, fordi de samme varer kan produceres med færre ressourcer. Det særlige ved automatisering i forhold til andre typer af teknologiske fremskridt er, at det kan have negative konsekvenser i form af lavere realløn eller beskæftigelse for de personer, som mister arbejdsopgaver til den nye teknologi. Selvom automatisering typisk er en gevinst for samfundet som helhed, kan gevinsterne altså være ulige fordelt.

Automatisering er ikke et nyt fænomen, ...

Automatisering er ikke et nyt fænomen. Automatiseringen af særligt tekstilproduktionen under den industrielle revolution medførte store aggregerede produktivetsfremskridt, men ledte tilsyneladende ikke til en tilsvarende markant lønvækst før anden halvdel af det 19. århundrede, jf. Allen (2009). Sædvanligvis ses denne udvikling som en væsentlig del af baggrunden for maskinstormerbevægelsen i byerne, jf. Hobsbawm (1952). Tilsvarende ledte introduktionen af tærskemaskinen, der automatiserede høstarbejdet, til uro i landområderne i samme periode, jf. Caprettini og Voth (2020).

... men studier fra andre lande tyder på, at det har taget fart de senere år

En række studier fra USA og andre lande har påpeget, at fremkomsten af en række nyere teknologier, såsom robotter, computerstyrede maskiner og visse typer af software, har øget omfanget af automatisering de senere år. Studierne finder, at dette har øget produktiviteten, men at det også kan have haft negative konsekvenser i form af øget ulighed og muligvis mindsket beskæftigelse og realløn for de grupper i samfundet, som bestrider job, der udskiftes af den nye teknologi.

Hvad er konsekvenserne for Danmark?

I dette kapitel undersøges, om der er konsekvenser af disse nyere teknologier på produktivitet, lønkvote mv. i Danmark. Fokus i kapitlets analyse er på effekten af automatiserende maskiner i fremstillingssektoren.

Afsnit III.2: Teoretisk definition af automatisering og diskussion af dets effekter

I afsnit III.2 gives en definition af automatisering, som den proces hvorved kapital overtager menneskers arbejdsopgaver. Desuden diskuteres de teoretiske effekter af automatisering på fordeling, realløn og beskæftigelse. En af konklusionerne er, at automatisering adskiller sig fra andre teknologiske fremskridt ved, at det under visse forudsætninger kan mindske reallønnen og dermed potentielt beskæftigelsen. Under andre forudsætninger kan effekten på realløn og beskæftigelse imidlertid være positiv, og dermed er effektens fortegn et empirisk spørgsmål. En anden konklusion er, at automatisering kan mindske lønnens andel af den samlede indkomst. Dette øger uligheden og kan også forværre de offentlige finanser, fordi kapitalindkomst generelt beskattes lempeligere end lønindkomst. Effekterne på fordeling og lønandel modvirkes dog af, at automatiserende teknologier også skaber behov for nye jobtyper, eller at der er dele af økonomien, som er vanskelige at automatisere.

Afsnit III.3: Hvad finder eksisterende studier af automatisering?

I afsnit III.3 gennemgås nogle af de nyere empiriske analyser af effekten af automatiserende teknologier på produktivitet, beskæftigelse mv. Først forklares de forskellige typer af automatiserende teknologier, som undersøges i litteraturen. Det mest udbredte mål er robotter og lignende computerstyrede maskiner i industrien, men der er også en nyere og mindre litteratur om forskellige typer af software, såsom kunstig intelligens. Konklusionerne fra litteraturen er overordnet set i tråd med de teoretiske forventninger fra afsnit III.2.

I afsnit III.4 undersøges udbredelsen af automatisering i Danmark

I afsnit III.4 undersøges omfanget af automatisering i Danmark. Kortlægningen afgrænses til de teknologier, som identificeres i litteraturgennemgangen i afsnit III.3. Her undersøges størrelsen af investeringerne i robotter og lignende industrimaskiner på samfundsniveau samt udbredelsen af kunstig intelligens og softwarerobotter.

I afsnit III.5 analyseres virksomheders køb af automatiserende maskiner i fremstillingssektoren

Afsnit III.5 præsenterer en analyse af effekten af automatisering i fremstillingsvirksomheder i Danmark. Analysen bidrager med ny viden i to henseender: For det første estimeres produktivetsgevinsterne for de automatiserende virksomheder i Danmark. For det andet anvendes en mere inkluderende definition af automatiserende maskiner, der ikke har været anvendt på danske data før. Konklusionen er i tråd med den teoretiske forventning: Investeringer i disse maskiner er forbundet med øget produktivitet og lavere lønandele i de automatiserende virksomheder. I afsnittet diskuteres desuden størrelsen af produktivetsgevinsterne i relation til investeringernes omfang på virksomheds- og samfundsniveau.

III.2

PRINCIPPER

Afsnittet omhandler de teoretiske effekter af automatisering

I dette afsnit gennemgås forskellige teorier for, hvordan automatisering påvirker produktivitet, beskæftigelse og fordeling. Afsnittet danner grundlag for de efterfølgende empiriske afsnit om, hvilke teknologier der i praksis virker automatiserende, og hvordan de har påvirket Danmark og andre lande.

Ny litteratur peger på øget omfang af automatisering

Selvom automatisering ikke er et nyt fænomen, peger en række nyere studier på, at omfanget af automatisering er øget de seneste årtier. For det første er robotter og andre computerstyrede maskiner blevet mere avancerede og har overtaget en række rutineprægede arbejdsopgaver på fabrikkerne. For det andet har software overtaget kalenderstyring, tekstbehandling, beregninger, revision og andre kontoropgaver.

Afsnittets opbygning

Først defineres forskellige typer af teknologisk udvikling, og det forklares, hvordan automatisering kan siges at have særegne egenskaber sammenlignet med andre typer teknologisk fremskridt. Dernæst diskuteres effekterne af automatisering på produktivitet, antal ansatte og lønkvote på virksomhedsniveau. Efterfølgende gennemgås effekterne på samfundsniveau. Disse kan være forskellige fra effekterne på virksomhedsniveau, fordi automatisering også kan påvirke sammensætningen af virksomheder og sektorer, hvilket har betydning for udviklingen i produktivitet og andre variable på samfundsniveau. Derefter følger en diskussion af, hvordan automatisering kan påvirke forskellige dele af arbejdsstyrken, hvilket har betydning for lønforskelle. Til slut diskuteres, om der er samfundsøkonomiske argumenter for at regulere omfanget af automatisering, eksempelvis gennem skattesystemet.

INNOVATIONSTYPER

Tre forskellige slags innovationer

Teknologiske innovationer kan inddeles efter, i hvor høj grad de erstatter eller komplementerer arbejdskraft. Dette har betydning for påvirkningen af økonomien. I det følgende ses nærmere på tre typer af innovationer: arbejdskraftsudvidende, kapitaludvidende og funktionserstatende innovationer i form af automatisering.

Arbejdskraftsudvidende innovationer øger typisk lønnen

Arbejdskraftsudvidende innovationer øger arbejdskraftens effektivitet, således at en ansat bliver mere effektiv til at løse en bestemt arbejdsopgave. Disse innovationer er ikke indlejret i fysisk kapital eller i arbejderens dygtighed (dvs. human kapital), men kan eksempelvis bestå af

forbedringer i arbejdsgange, processer og organisationsformer. Når arbejdskraften bliver mere effektiv til at udføre opgaver, vil virksomhederne typisk ønske at udvide produktionen og dermed øge behovet for arbejdskraft. På samfundsniveau vil dette som hovedregel give udslag i højere løn, jf. boks III.1.

Det samme gælder kapitaludvidende innovationer

Kapitaludvidende innovationer gør maskiner og anden kapital mere effektiv. De kan være indlejret i kapitalen – eksempelvis i form af en ny, hurtigere og mere driftssikker motor eller et mere præcist svejseapparat. Disse innovationer gør også arbejdskraften mere effektiv og vil således også øge lønnen.

Innovationerne kan være kompetenceudvidende og øge lønnen mere for dem med bestemte kompetencer

Nogle gange øger arbejdskrafts- eller kapitaludvidende innovationer primært effektiviteten for medarbejdere med bestemte kompetencer, og dette kan øge lønforskellene. I det tilfælde er der tale om såkaldt kompetenceudvidende innovationer (på engelsk: *skill-biased technological change*). Et eksempel er den øgede brug af computere, som primært kan have øget effektiviteten, og dermed lønnen, for beskæftigede med længere uddannelser, jf. Katz og Murphy (1992) og Krueger (1993).

Automatisering kan derimod mindske løn og beskæftigelse

Funktionserstattende innovationer virker ved automatisering i den forstand, at maskiner eller anden kapital erstatter menneskelig arbejdskraft i udførelsen af en arbejdsopgave. Det kan eksempelvis være en ny type robot, som kan udføre svejsearbejde, der tidligere blev udført af mennesker. Det adskiller sig fra de andre typer af innovationer ved, at det i visse tilfælde kan mindske behovet for den type af arbejdskraft, som erstattes. Derfor kan det potentielt mindske lønnen. I det følgende gennemgås effekterne af automatisering på produktivitet, løn og beskæftigelse på virksomhedsniveau og i samfundet.

BOKS III.1 TYPEN AF INNOVATIONER

Denne boks beskriver effekterne af forskellige typer af teknologisk udvikling på lønnen. Først beskrives en neoklassisk produktionsfunktion med faktorudvidende teknologisk vækst. Dernæst beskrives en produktionsfunktion med funktionserstattende teknologisk vækst (automatisering).

Faktorudvidende teknologisk vækst

Produktionen Y er givet ved

$$Y = F(A_K K, A_L L),$$

hvor K og L er hhv. kapital og arbejdskraft, som begge udbydes inelastisk. A_K er kapitaludvidende teknologi, A_L er arbejdskraftudvidende teknologi og $F(\cdot)$ er kontinuert differentiabel, konkav og udviser konstant skalaafkast (det kan eksempelvis være CES produktionsfunktion). Acemoglu og Restrepo (2018b) viser, at under antagelse af kompetitive arbejdsmarkeder er effekterne på lønniveauet W af ændringer i A_K og A_L henholdsvis:

$$\frac{d \ln W}{d \ln A_K} = \frac{s_K}{\varepsilon_{KL}} > 0 \quad \text{og} \quad \frac{d \ln W}{d \ln A_L} = 1 - \frac{s_K}{\varepsilon_{KL}} \geq 0,$$

hvor s_K er kapitalens aflønningsandel, og ε_{KL} er substitutionselasticiteten mellem kapital og arbejdskraft. Heraf følger, at kapitaludvidende innovationer altid øger lønnen, og arbejdskraftudvidende innovationer øger lønnen, hvis $\varepsilon_{KL} > s_K$. Da substitutionselasticiteten typisk estimeres til at være et sted mellem 0,5 og 1, og kapitalens aflønningsandel typisk er mindre end 0,5 på samfundsniveau, vil dette generelt være opfyldt. Det kan ydermere vises, at faktorudvidende innovationer øger (mindsker) aflønningsandelen til den pågældende faktor, når $\varepsilon_{KL} > 1$ ($\varepsilon_{KL} < 1$).

Funktionserstattende teknologisk vækst

Acemoglu og Restrepo (2018b) og Acemoglu og Restrepo (2022b) viser, at funktionserstattende teknologisk vækst kan have negative effekter på lønnen i en generel ligevægtsmodel. I det følgende anvendes et forenklet specialtilfælde af samme produktionsfunktion fra Bonfiglioli mfl. (2020) til at illustrere mekanismerne i partiel ligevægt. Produktionsfunktionen består af summen af et kontinuum af produktionen fra arbejdsopgaver, hvoraf andelen κ enten kan løses af automatiserende kapital k eller arbejdskraft l , og de resterende kun kan løses af arbejdskraft. Forfatterne viser, at under antagelse om, at automatiserende kapital altid er mest effektivt, kan produktionsfunktionen skrives som:

$$y = \varphi \left(\frac{k}{\kappa} \right)^\kappa \left(\frac{l}{1-\kappa} \right)^{1-\kappa}$$

Fortsættes

BOKS III.1 TYPER AF INNOVATIONER, FORTSAT

Automatisering består af forøgelse i κ , hvilket resulterer i, at flere opgaver løses af kapital. Efterspørgslen efter arbejdskraft kan skrives som

$$wl = (1 - \kappa)y$$

Her er w lønnen. Heraf ses, at en forøgelse i κ har to modsat rettede effekter på efterspørgslen efter arbejdskraft: Dels erstattes arbejdskraft, hvilket mindsker efterspørgslen gennem $(1 - \kappa)$. Dels øges produktiviteten og dermed produktionen, hvilket øger efterspørgslen efter arbejdskraft gennem y . Den positive effekt på y vises i Bonfiglioli mfl. (2020) og skyldes en antagelse om, at automatisering altid er mere omkostningseffektivt, så når flere opgaver kan løses med kapital, øges produktiviteten. Dermed er effekten af automatisering på efterspørgslen ikke entydig.

Aflønningsforholdet mellem kapital og arbejdskraft kan skrives som:

$$\frac{kr}{lw} = \frac{\kappa}{1 - \kappa} \left(\frac{w}{r} \right),$$

hvor r er kapitalleje. Heraf ses, at øget κ altid øger kapitalens aflønning relativt til arbejdskraftens og dermed mindsker lønandelen.

EFFEKTER PÅ VIRKSOMHEDSNIVEAU

Automatisering øger produktiviteten ...

Når en virksomhed vælger at automatisere arbejdsopgaver, øges timeproduktiviteten, fordi der i højere grad bruges kapital i stedet for arbejdstimer i virksomhedens produktion. Samtidig øges produktionen pr. omkostningskrone. Det skyldes, at virksomheder netop vælger at automatisere, fordi det er mere omkostningseffektivt at anvende kapital end arbejdskraft til at udføre den pågældende arbejdsopgave. Beslutningen om at automatisere kan være drevet af den teknologiske udvikling, som gør maskinerne billigere og i stand til at udføre mere komplekse opgaver – i dette tilfælde er automatisering forbundet med større totalfaktorproduktivitet. Et højere lønniveau kan også tilskynde til automatisering for at spare udgifter til arbejdskraft.

... og mindsker lønandelen

Automatisering mindsker samtidig lønandelen, jf. boks III.1. Det skyldes, at virksomhedernes lønomkostninger falder i forhold til kapitalomkostningerne, fordi maskinerne erstatter arbejdskraft.¹ Derfor stiger kapitalejernes andel af indkomsten, hvorimod lønmodtagernes falder. Lønandelen kan også blive påvirket negativt, hvis den automatiserende virksomhed øger markedsmagten, fordi den får lavere omkostninger og dermed en konkurrencefordel relativt til virksomheder, som ikke automatiserer, jf. diskussionen i *Produktivitet 2022*. Større markedsmagt gør virksomheden i stand til at øge profitten gennem en højere markup, hvorved en mindre andel af indkomsten går til de ansatte.

Automatisering kan enten mindske eller øge behov for arbejdskraft

Automatisering påvirker virksomhedernes efterspørgsel efter arbejdskraft gennem to modsatrettede effekter, jf. boks III.1. Når de ansattes arbejdsopgaver erstattes, mindskes behovet for arbejdskraft. Denne effekt kan imidlertid modvirkes af, at produktiviteten stiger, således at virksomheden ønsker at udvide produktionen og ansætte flere. Hvis erstatningseffekten er større end produktivitetseffekten, falder virksomhedens behov for arbejdskraft og dermed antallet af ansatte.

Selv om antallet af ansatte øges i virksomheden, kan det falde på brancheniveau

Selv i en situation hvor produktivitetseffekten dominerer, så antallet af ansatte stiger i de automatiserende virksomheder, kan beskæftigelsen på brancheniveau alligevel falde, jf. Acemoglu mfl. (2020) og Bonfiglioli mfl. (2020). Det skyldes en såkaldt *business stealing* effekt, som opstår, fordi øget produktivitet og lavere priser betyder, at den automatiserende virksomhed vinder markedsandele fra konkurrerende virksomheder. Hvis reduktionen i beskæftigelse i de konkurrerende virksomheder er større end stigningen i de automatiserende virksomheder, kan den samlede effekt på beskæftigelsen i branchen være negativ.

EFFEKTER PÅ SAMFUNDSNIVEAU

Automatisering øger produktivitet og er som hovedregel en samfundsøkonomisk gevinst

Ligesom andre typer af teknologiske fremskridt øger automatisering produktiviteten og mindsker priserne på samfundsniveau. Det er som hovedregel en velfærdsgevinst for samfundet, omend der kan være særlige tilfælde, hvor det ikke er. De særlige tilfælde diskuteres senere i underafsnittet om samfundsøkonomiske gevinster ved automatisering.

1) Den negative effekt på lønandelen er ikke unik for automatisering. Kapitaludvidende innovationer og arbejdskraftudvidende innovationer kan også mindske lønandelen under visse forudsætninger, jf. boks III.1. Effekterne afhænger af, om substitutionselastiteten mellem kapital og arbejdskraft er større eller mindre end 1.

Hvis automatisering mindsker behovet for arbejdskraft, kan det sænke realløn og beskæftigelse på samfundsniveau

Som nævnt kan automatisering reducere behovet for arbejdskraft i de enkelte virksomheder, hvis reduktionen i efterspørgslen grundet erstatning af arbejdsopgaver overstiger stigningen i efterspørgslen grundet øget produktivitet. Det indebærer, at automatisering kan lede til lavere realløn på samfundsniveau. En konsekvens af lavere realløn kan være en reduktion i den strukturelle beskæftigelse, jf. Acemoglu og Restrepo (2020) og diskussionen i afsnit II.4. Det skyldes, at en lavere realløn kan mindske gevinsten ved at arbejde og dermed arbejdsudbuddet.

Men gevinsterne er ikke ligeligt fordelt, da lønkvoten kan mindskes, ...

Uanset om effekterne på realløn og beskæftigelse er positive eller negative, vil automatisering som hovedregel lede til lavere lønkvote på samfundsniveau. Dette kan skyldes, at virksomhederne øger udgifterne til kapital relativt til arbejdskraft, eller at automatisering som nævnt ovenfor kan lede til større markedsmagt og højere markupper. Dermed får medarbejderne altså en mindre andel af produktivetsgevinsterne ved automatisering end ejerne af kapitalen.

... hvilket kan øge uligheden og forværre de offentlige finanser

En lavere lønkvote betyder typisk øget indkomstulighed, da personer med høje indkomster i gennemsnit får en større del af deres indkomst fra kapital og dermed oplever en relativ indkomstfremgang, når kapitalens andel af indkomsten stiger. En lavere lønkvote kan desuden forværre de offentlige finanser, fordi kapitalindkomst typisk beskattes mere lempeligt end lønindkomst, jf. *Dansk Økonomi, efterår 2022*.

Business stealing kan forstærke effekter på lønkvote og produktivitet

Som nævnt ovenfor kan *business stealing* effekter betyde, at effekterne af automatisering er stærkere på samfundsniveau end i de enkelte virksomheder. Hvis automatiserende virksomheder med høj produktivitet og lave lønkvoter tager markedsandele fra andre virksomheder, vil disse virksomheder fylde mere i økonomien. Det trækker i retning af højere produktivitet og lavere lønkvote på samfundsniveau.

Sektorskift kan begrænse effekterne på produktivitet og lønkvote

Automatisering kan også give anledning til, at beskæftigelse flytter mellem brancher, og det kan begrænse de langsigtede produktivetsgevinster, jf. Aghion mfl. (2018). Hvis automatisering i højere grad øger produktiviteten i fremstillingssektoren end i servicesektoren, kan der flytte beskæftigede fra fremstilling til service for at imødekomme en øget efterspørgsel på serviceydelse. Hvis produktivetsvæksten også fremover er lavest i servicesektoren, vil dette sektorskift lægge en dæmper på den fremtidige samlede produktivetsvækst, da service nu udgør en større andel af beskæftigelsen, jf. Baumol og Bowen (1965) og Baumol (1967). Dette kaldes Baumols omkostningssyge. Den samme mekanisme kan begrænse faldet i lønkvoten på samfundsniveau, jf. Autor og Solomons (2018). Hvis beskæftigelsen flytter fra automatiserende virksomheder med lave lønkvoter mod andre virksomheder med høje lønkvoter, vil det således mindske faldet i lønkvoten på samfundsniveau.

BAUMOLS OMKOSTNINGSSYGE

Baumols omkostningssyge opstår, fordi produktivitetsvæksten er større i nogle brancher (f.eks. fremstilling) end i andre (f.eks. service). Hvis forbrugerne samtidig har et ønske om, at forbruget af serviceprodukter til en vis grad skal følge forbruget af fremstillingsvarer, vil beskæftigelsen flytte fra fremstilling til service. Dermed kompenseres for den lavere produktivitetsvækst i servicesektoren, således at produktionen i service holder trit med produktionen i fremstillingssektoren. Tilpasningen sker via markedskræfterne, idet priserne stiger mere på serviceydelser, så det bliver muligt at øge lønnen for at tiltrække flere beskæftigede til sektoren.

Rutineprægede jobs er lettere at automatisere

Nogle typer af arbejdsopgaver er lettere at automatisere end andre, og derfor kan automatisering have forskellige effekter på forskellige grupper af beskæftigede. Det er lettere for computere, robotter og andre maskiner at løse rutineprægede arbejdsopgaver, som kan sættes på formel, jf. Autor mfl. (2003). Opgaver af mere uforudsigelig og varierende karakter er derimod vanskeligere at automatisere, fordi det er svært at programmere maskinerne til at håndtere de mange mulige situationer. Derfor er det generelt lettere at automatisere rutineprægede opgaver.

RUTINEPRÆGEDE ARBEJDSOPGAVER

Hvis en arbejdsopgave er forudsigelig og let at sætte på formel, er den rutinepræget. Det betyder, at det er lettere at programmere en computer til at udføre opgaven eventuelt ved at styre en robot eller en anden maskine. Rutineprægede opgaver kan eksempelvis være samlebåndsarbejde, lagerarbejde, indtastning, beregning og visse typer af bogholderiopgaver.

Opgaver, som ikke er rutineprægede, er omvendt svære at sætte på formel. Det er typisk, fordi de stiller krav til sociale kompetencer (f.eks. tjener eller pædagogmedhjælper), evne til at tilpasse sig forskellige vilkår i arbejdsopgaven (f.eks. stilladsarbejder eller kok) eller analytisk evne (f.eks. advokat eller ingeniør).

Lønforskellene øges, hvis job, der bestrides af kortuddannede, automatiseres, ...

Automatisering kan øge lønforskellene i samfundet, hvis rutineprægede job i højere grad bestrides af personer med kortere uddannelser. Acemoglu og Restrepo (2022) argumenterer for, at robotter, computere og andre maskiner har overtaget mange rutineprægede arbejdsopgaver i USA i løbet af de seneste 40 år, hvilket har øget uligheden. Ifølge forfatterne har automatisering bidraget til at reducere indkomsterne for kortuddannede med mellemindkomstjob. Automatisering har således mindsket antallet af mellemindkomstjob på fabrikker og kontorer, så en større del af arbejdsstyrken arbejder i høj- og lavindkomstjob, som i mindre grad har kunnet automatiseres. Til kategorien af lavindkomstjob, som har været vanskelige at automatisere, hører en række servicejob, såsom salgsassistenter, rengøringsassistenter og pleje- og omsorgspersonale. Dermed kan automatisering have skabt øget polarisering i indkomstfordelingen, så en større del af arbejdsstyrken enten har høje eller lave indkomster, jf. Manning mfl. (2014).

... eller hvis produktiviteten stiger mere for dem med længere uddannelser

Som nævnt kan computere og andre teknologier også være forbundet med kompetenceudvidende tekniske fremskridt og derved øge produktiviteten og lønnen mere for beskæftigede med lange uddannelser. Dette kan også bidrage til at øge lønforskellene, men vil ikke nødvendigvis skabe øget polarisering i indkomstfordelingen.

Globalisering har betydning for konsekvenserne af automatisering

Udenrigshandel og internationale kapitalbevægelser kan have betydning for, hvordan automatisering påvirker økonomien. Hvis de automatiserende virksomheder, som vinder markedsandele, opererer på et internationalt marked, så markedsandelene primært tages fra udenlandske konkurrenter, kan det indenlandske fald i beskæftigelsen grundet *business stealing* være begrænset, jf. Aghion mfl. (2020). Omvendt kan automatisering i andre lande også påvirke den indenlandske økonomi og indebære lavere beskæftigelse i de dele af økonomien, der udsættes for øget konkurrence og potentielt lavere løn. Desuden kan de førnævnte effekter på lønkvoten afhænge af, i hvor høj grad de indenlandske kapitalmarkeder er forbundet til udlandet. I det omfang at afkastet på kapital er bestemt af det internationale renteniveau, og dermed ikke påvirkes af indenlandske virksomheders automatisering, kan påvirkningen på indenlandske kapitalejeres indkomst være begrænset. I stedet er det omfanget af automatisering på globalt plan, som har betydning for lønkvoten.

AUTOMATISERING PÅ LANG SIGT

Vil den teknologiske udvikling på sigt gøre mennesker overflødige?

De langsigtede effekter af automatisering afhænger i høj grad af, om der er grænser for, hvilke arbejdsopgaver teknologien kan overtage. I litteraturen er der således en diskussion om, hvorvidt den teknologiske udvikling på lang sigt vil gøre mennesker overflødige i produktionen, jf. Acemoglu og Restrepo (2018a). På den ene side argumenterer Brynjolfsson og McAfee (2014) for, at kunstig intelligens og anden software bliver bedre til at udføre komplekse og mindre rutineprægede opgaver og dermed på sigt kan erstatte læger, advokater, journalister og lignende job. På den anden side argumenterer Gordon (2018) for, at den teknologiske vækst er aftaget, og at tidligere forudsigelser om, hvor mange arbejdsopgaver ny teknologi kan overtage, har vist sig at være overvurderet.

Nye arbejdsopgaver kan modvirke langsigtede, negative effekter af automatisering

Eventuelle negative konsekvenser af automatisering på fordeling og beskæftigelse kan blive modvirket af, at den teknologiske udvikling også skaber nye arbejdsopgaver, som øger behovet for arbejdskraft, jf. Acemoglu og Restrepo (2018a) og Héroux og Olsen (2020). Dette kan f.eks. skyldes nye produkter eller serviceydelser, som er vanskelige at automatisere, herunder arbejdsopgaver relateret til vedligeholdelse, programmering og installation af de automatiserende teknologier.

Uddannelse kan modvirke effekt på ulighed og beskæftigelse, ...

De langsigtede konsekvenser afhænger også af, om arbejdsstyrkens kompetencer tilpasser sig, så den bliver bedre til at varetage opgaver, der er vanskelige at automatisere. Denne tilpasning kan ske gennem uddannelse, så færre uddanner sig til job, som er nemme at automatisere, jf. Grossmann og Oberfield (2022). Her kan både være tale om ændringer i indholdet på de enkelte uddannelser og ændringer i, hvor mange personer, der læser forskellige uddannelser.

... men iboende evner og ønsker kan begrænse stigninger i uddannelsesniveau

På sigt er det dog ikke sikkert, at tilpasninger af befolkningens uddannelsesniveau fuldt ud kan modvirke konsekvenserne for ulighed, jf. Prettnner og Strulik (2019). Det skyldes, der kan være forskelle i iboende evner og lyst til at tage bestemte uddannelser. Det kan afholde dele af befolkningen fra at tage en uddannelse, som svarer til de ændrede kompetencekrav, der stilles af den nye teknologi.

ER DER SAMFUNDSØKONOMISKE GEVINSTER FORBUNDET MED REGULERING AF AUTOMATISERING?

Ingen samfundsøkonomisk gevinst ved regulering i fravær af markedsfejl

I fravær af markedsfejl vil de samfundsøkonomiske gevinster ved automatisering svare til den enkelte virksomheds afkast. Dermed er der ikke samfundsøkonomiske gevinster ved regulering, som mindsker eller sænker virksomhedernes investeringer i automatisering. Således er der ikke et samfundsøkonomisk argument for at subsidiere, beskatte eller på anden vis regulere virksomhedernes investeringer i automatiserende maskiner, omend der selvfølgelig kan være fordelingsmæssige hensyn, hvis automatisering øger uligheden, jf. Costinot og Werning (2019) og Guerreiro mfl. (2022).

Andre forvriddinger i økonomien kan i princippet tilsige regulering af automatisering ...

Hvis der er forvriddinger i økonomien, som giver virksomhederne et for stærkt incitament til at automatisere produktionen, kan der i princippet være et argument for at begrænse automatisering. F.eks. kan fagforeninger eller offentlig understøttelse betyde, at lønniveauet er højere end i en markedsligevægt, jf. Acemoglu (2021) og Acemoglu og Restrepo (2018a). Hvis lønnen er for høj i forhold til markedsligevægten, giver det virksomhederne et uhensigtsmæssigt stort incitament til at begrænse brugen af arbejdskraft for eksempel gennem automatisering.

... for eksempel imperfekte forsikringsmarkeder

En anden type af forvriddning er imperfekte forsikringsmarkeder, som gør det vanskeligt for medarbejdere at forsikre sig mod et midlertidigt indkomsttab som følge af automatisering, jf. Beraja og Zorzis (2022). Dette indebærer et velfærdstab, som kan modvirkes med en statsstøttet forsikringsordning, såsom dagpenge.

Handel kan mindske de afbødende effekter af skatter og anden indenlandsk regulering

International handel kan betyde, at skatter og anden indenlandsk regulering ikke er et virkningsfuldt instrument til at afbøde de eventuelle negative konsekvenser af automatisering, jf. Aghion mfl. (2020). Det skyldes, at udenlandske automatiserende virksomheder, som ikke er begrænset af regulering, kan udkonkurrere indenlandske virksomheder, hvilket alt andet lige vil sænke efterspørgslen efter arbejdskraft. Dermed kan det være vanskeligt at undgå de eventuelle negative konsekvenser af automatisering udelukkende ved brug af indenlandsk regulering.

SAMMENFATNING

I afsnittet gennemgås teorier for, hvordan automatisering påvirker produktivitet, beskæftigelse og fordeling.

Automatisering øger produktiviteten

Når maskinerne overtager arbejdsopgaver, øges timeproduktiviteten. Automatisering indebærer også en produktivetsgevinst i den forstand, at den samme mængde produktion kan tilvejebringes med et mindre ressourceforbrug. Det skyldes, at virksomhederne vælger at automatisere, fordi de vurderer, at maskinerne er billigere end den arbejdskraft, de erstatter. Produktivetsgevinsten kan imidlertid være lille i forhold til omfanget af arbejdsopgaver, der erstattes.

Lønkvoten kan sænkes, hvilket kan øge ulighed og forværre den offentlige saldo

Automatisering kan også have konsekvenser for fordeling. Lønkvoten kan mindskes, fordi en større del af omsætningen går til aflønning af maskiner relativt til arbejdskraft. Dette kan øge uligheden, fordi kapitalejerne får mere indkomst relativt til lønmodtagerne. Det kan også forværre den offentlige saldo, fordi kapitalindkomst i gennemsnit er lempeligere beskattet end lønindkomst.

Automatisering kan sænke løn og beskæftigelse samt øge lønforskelle

Under visse omstændigheder kan automatisering sænke reallønnen for de grupper, som bliver erstattet af den nye teknologi. Det skyldes, at automatisering kan sænke behovet for arbejdskraft, hvilket trækker reallønnen ned. Hvis denne negative effekt overstiger gevinsten ved automatisering i form af lavere priser på varer, fordi produktiviteten er øget, kan reallønnen falde. Her adskiller automatisering sig fra anden teknologisk vækst, som øger reallønnen. En lavere realløn vil resultere i lavere beskæftigelse, hvis arbejdsudbuddet afhænger positivt af lønnen. Automatisering kan også øge lønforskellene, hvis det i højere grad er arbejdsopgaver for lavindkomstgrupper, som automatiseres.

Effekter på virksomheds-, branche- og samfundsniveau kan være forskellige

Effekterne af automatisering kan være forskellige på virksomheds-, branche- og samfundsniveau. Det skyldes, at automatisering kan påvirke den relative størrelse af virksomheder og brancher, hvilket har betydning for den samlede produktivitet, løn og beskæftigelse i økonomien. Eksempelvis er højere beskæftigelse i en automatiserende virksomhed ikke ensbetydende med større beskæftigelse på brancheniveau. Der kan således være en *business stealing* effekt, hvor virksomheden tager markedsandele fra konkurrenter i samme branche, som dermed må reducere antallet af ansatte.

Effekterne på lang sigt afhænger af, hvordan teknologien og arbejdsstyrkens kompetencer udvikler sig

De langsigtede konsekvenser af automatisering for produktivitet, fordeling og beskæftigelse afhænger af, hvorvidt den teknologiske udvikling ændrer behovet for forskellige typer af arbejdskraft, og i hvor høj grad det ændrede behov modsvares af ændringer i arbejdsstyrkens kompetencer. For det første afhænger de langsigtede effekter i høj grad af, om automatisering kan udbredes til alle dele af økonomien, eller om der er grænser for, hvilke arbejdsopgaver teknologien kan overtage. Derudover kan eventuelle negative konsekvenser for beskæftigelsen og indkomstfordelingen blive modvirket af, at den teknologiske udvikling også kan skabe nye arbejdsopgaver og dermed øge behovet for arbejdskraft. Det kan for eksempel være til produktion af nye produkter eller til installation og programmering af de automatiserende teknologier. Det kan også mindske konsekvenserne af automatisering, hvis arbejdsstyrkens kompetencer tilpasser sig, så den i højere grad kan udføre opgaver, der er vanskelige at erstatte med maskiner. Dette kan ske gennem uddannelse og efteruddannelse af arbejdsstyrken. Tilpasningen afhænger af, om arbejdsstyrken har lyst og evnerne til at tage den nødvendige uddannelse.

III.3

RESULTATER FRA LITTERATUREN

Afsnittet beskriver måling og metoder samt resultater fra litteraturen

Førrige afsnit afdækkede konsekvenserne af automatiseringen set fra et teoretisk perspektiv. Dette afsnit præsenterer resultaterne fra en række empiriske undersøgelser, som evaluerer, hvorvidt de teoretiske forudsigelser holder i virkeligheden. I afsnittet redegøres først for, hvordan automatisering måles i litteraturen. Dernæst beskrives de mest anvendte metoder til at undersøge effekterne af automatisering på produktivitet, beskæftigelse og lønkvote. Sidst i afsnittet opsummeres resultaterne fra den empiriske litteratur. Afsnittet afspejler litteraturen ved primært at have fokus på effekterne af automatisering i fremstillingssektoren.

Empiriske undersøgelser verificerer teoretiske forudsigelser

I det seneste årti er adgangen til mikrodata om automatiseringen blevet mere udbredt, jf. Raj og Seamans (2018). Det har medført et væld af studier, der analyserer, hvad der sker indenfor den enkelte virksomhed efter den begynder at anvende automatiserende teknologi. Dette afsnit har derfor særlig fokus på studier, som estimerer effekterne på virksomhedsniveau. Generelt finder litteraturen, at automatiserende fremstillingsvirksomheder øger timeproduktiviteten og beskæftigelsen, mens lønkvoten i virksomhederne falder.

MÅLING AF AUTOMATISERING

Automatiserende teknologier kan være industrirobotter og kunstig intelligens

Som nævnt i forrige afsnit er automatisering defineret som maskiners overtagelse af menneskers arbejdsopgaver. Litteraturen giver en række bud på forskellige teknologier, som har overtaget menneskers arbejdsopgaver. De fleste undersøgelser fokuserer på industrirobotter. Nyere studier anvender en bredere definition, som udover industrirobotter inkluderer andre typer af kapital, f.eks. computerstyrede produktionsmaskiner til standardiseret fremstilling af produkter i metal, træ og plastik. Der er også nyere studier, som undersøger effekterne af kunstig intelligens og anden software.

Det er et empirisk spørgsmål, om en teknologi er automatiserende

I sidste ende er det et empirisk spørgsmål, i hvor høj grad en given teknologi erstatter menneskers arbejde og dermed kan betegnes som automatiserende. Eksempelvis peger de få empiriske studier, som sammenligner robotter og kunstig intelligens, på, at de to teknologier har forskellige effekter. Robotter erstatter typisk arbejdskraft i de mest standardiserede opgaver, jf. Acemoglu mfl. (2022). Kunstig intelligens skaber i højere grad nye opgaver i virksomheden og dermed nye jobs på lang sigt. Det kan skyldes, at kunstig intelligens i visse tilfælde er et værktøj, som gør medarbejderne i stand til at udføre nye opgaver, mens robotter ikke nødvendigvis kræver menneskelig interaktion. Effekterne af kunstig intelligens på produktivitet og beskæftigelse kan desuden være tvetydige, fordi kategorien dækker over mange forskellige teknologier, som oftest er udviklet til forskellige formål, f.eks. forudsigelse, målefejlskorrektion og tekstgenkendelse, jf. Agrawal mfl. (2019).

Måling af automatisering ved spørgeskemaer eller importdata

Desværre er det sjældent, at der indsamles data, som indeholder en detaljeret beskrivelse af virksomhedernes investeringer i forskellige typer kapital, herunder automatisering. Litteraturen anvender i fraværet af detaljeret investeringsdata to forskellige typer information til at måle automatisering. Det drejer sig om henholdsvis spørgeskemaer og importdata. Ingen af tilgangene er perfekte, og der er fordele og ulemper ved dem begge.

Måling ved spørgeskemaer

Nogle studier anvender spørgeskemaer, hvor virksomhederne har svaret på, om de bruger automatiserende teknologier i produktionsprocessen. Eksempler på studier der anvender denne tilgang er Bessen mfl. (2023), Cheng mfl. (2019), Genz mfl. (2021), Koch mfl. (2021) og Acemoglu mfl. (2022). Oplysningerne er mere eller mindre detaljerede afhængig af undersøgelsen, men det er sjældent, at virksomhederne svarer på, hvor mange teknologier de har installeret, og hvor meget de har investeret i teknologierne. Svarene på spørgeskemaerne siger der-

med ikke noget om omfanget af automatisering i virksomhederne. Typisk spørges der til, om virksomheden har installeret en række specifikke teknologier: robotter, kunstig intelligens, maskinlæring (*machine learning*) osv. Virksomheden indikerer for hver teknologi, om den direkte bidrager til virksomhedens produktionsproces.

Måling ved importdata sætter kroner på automatisering, ...

Alternativt anvender litteraturen importdata til at måle automatisering. Eksempler på denne tilgang er Acemoglu mfl. (2020), Aghion mfl. (2020), Bonfiglioli mfl. (2020), Dixon mfl. (2021), Domini mfl. (2021), Humlum (2022) og Adachi mfl. (2022). Fordelen ved importdata i forhold til spørgeskemaer er, at der er data for alle importerende virksomheder, hvor spørgeskemaerne typisk omfatter et mindre antal virksomheder. Derudover giver det en indikation af, hvor meget automatisering fylder i virksomheder og samfundet målt i kr. Importdataene er meget detaljerede, hvilket muliggør identifikationen af snævre homogene grupper af forskellige automatiserende teknologier.

... men har også en række ulemper

Ulempen er, at automatiserende kapital ikke fremgår direkte af importdataene. Der observeres kun løbende investeringer, og en række antagelser om nedslidningsraterne er nødvendige, hvis investeringerne skal omregnes til en kapitalbeholdning. Desuden måler importdata ikke automatiserende teknologi købt af indenlandske producenter, hvilket kan føre til, at investeringerne undervurderes. Derudover kan det være svært at vurdere, om virksomheden bruger teknologien i produktionen eller importerer den med henblik på videresalg. Derfor har litteraturen udviklet metoder til at verificere tilgangen, så importdata mere præcist kan bruges til at identificere automatiserende kapital.

Analysen i dette kapitel benytter importdata

Analysen i afsnit III.5 benytter importdata til at måle automatisering og skelne mellem automatiserende og ikke-automatiserende virksomheder. Det vil sige, hvis en fremstillingsvirksomhed importerer en maskine, som kan bruges til at automatisere produktionsprocessen, betragtes denne virksomhed som en automatiserende virksomhed.

METODER TIL EFFEKTANALYSER AF AUTOMATISERING

Event study sammenligner automatiserende virksomheder med andre virksomheder ...

Effekterne af automatisering på for eksempel produktivitet, beskæftigelse og lønkvote estimeres ved hjælp af forskellige metoder. Den mest udbredte og mindst datakrævende metode er det såkaldte *event study*. Denne tilgang anvendes blandt andet af Bessen mfl. (2023) og Domini mfl. (2021) og diskuteres i Aghion mfl. (2022). Humlum (2022) benytter tilgangen på danske data til at undersøge effekterne af automatisering på omsætning og løn, og bruger resultaterne senere som en motivation for og input til yderligere analyser. Metoden kigger på

udviklingen i produktivitet og andre variable før og efter automatiseringen, idet virksomheden sammenlignes med virksomheder, som ikke automatiserer i samme periode. Tilgangen kan anvendes, fordi størstedelen af investeringerne i automatisering ofte afholdes omkring det første år, jf. afsnit III.5. Derfor kan automatisering tolkes som en enkelt diskret begivenhed, som finder sted over en kortere årrække.

... og kombineres i analysen i dette kapitel med *matching*

Som udgangspunkt tager metoden ikke højde for andre faktorer, som kan påvirke virksomhedens produktivitet, beskæftigelse og lønkvote samtidig med automatiseringen, f.eks. virksomhedens størrelse. Derfor kombinerer nogle studier *event study*-tilgangen med *matching*, hvor en automatiserende virksomhed sammenlignes med en ikke-automatiserende virksomhed, hvis karakteristika ligner hinanden før automatiseringen, jf. Koch mfl. (2021) og Humlum (2022). Denne tilgang anvendes i analysen af danske fremstillingsvirksomheder i afsnit III.5.

Effekter kan i nogle tilfælde estimeres ved hjælp af en instrumentvariabel

En anden metode er den såkaldte *instrumentvariabel (IV) estimation*. Med denne metode udnyttes tilfældige stød, som giver nogle virksomheder bedre mulighed for automatisering end andre. Det kan eksempelvis være et fald i priserne på import af robotter fra et bestemt land, som gør det særligt billigere at importere robotter for virksomheder, som i forvejen har gode importkontakter til det pågældende land, jf. Aghion mfl. (2020) og Bonfiglioli mfl. (2020). Udfordringen ved metoden er, at det kan være svært at finde et instrument, som er præcist nok til at estimere effekterne i et givent datasæt.

Strukturelle modeller kan give et bud på makroøkonomiske effekter

En tredje tilgang til estimation af effekter af automatisering er at bruge en strukturel model med henblik på at knytte empirisk evidens til teorien om automatisering. Dette giver sammenhængen mellem automatiseringen, produktionen og beskæftigelsen. Eksempler på denne tilgang er Adachi mfl. (2022) og Humlum (2022). Disse beregninger vil typisk afhænge af de konkrete antagelser i modellen, det undersøgte land og tidsperioden.

EFFEKTER PÅ PRODUKTIVITET

Typisk findes store effekter på produktiviteten

De empiriske analyser finder, at der er en tendens til, at de automatiserende virksomheder vokser hurtigere og producerer mere efter automatisering, end de gjorde før automatisering, jf. tabel III.1.² Langt de fleste undersøgelser beskæftiger sig med industrirobotter i fremstil-

2) Tabellen viser et udvalg af studier, som har fokus på vestlige lande og illustrerer de forskellige analysetilgange.

lingsvirksomheder, som er et af de mest typiske eksempler på en automatiserende teknologi. Et studie fra Danmark finder positive effekter på omsætningen på ca. 20 pct., men estimerer ikke effekterne på produktivitet direkte, jf. Humlum (2022). I stedet beregnes effekterne på produktivitet i en strukturel model ved at gøre en række antagelser om produktionsfunktionen og faste omkostninger ved automatiseringen. I Spanien stiger virksomhedens produktion med 20-25 pct. indenfor de første fire år efter automatiseringen, jf. Koch mfl. (2021). Det skyldes blandt andet en højere totalfaktorproduktivitet (TFP), som stiger med ca. 1,3 pct. årligt. I franske fremstillingsvirksomheder stiger produktionen med ca. 30-35 pct. i løbet af de første otte år efter automatisering, jf. Aghion mfl. (2020), og værditilvæksten er ca. 20 pct. højere, jf. Acemoglu mfl. (2020). Det sker samtidig med en ca. 4 pct. stigning i timeproduktiviteten. En række studier fra andre lande dokumenterer lignende positive effekter på produktivitet, omsætning og værditilvækst, f.eks. i USA, jf. Acemoglu mfl. (2022), Canada, jf. Dixon mfl. (2021), Kina, jf. Cheng mfl. (2019), Japan, jf. Dekle (2020), og Indonesien, jf. Ing og Zhang (2022). Uafhængig af analysetilgangen finder de fleste studier positive effekter af en automatiseringsbegivenhed på fremstillingsvirksomheders timeproduktivitet, som ligger i intervallet 4-9 pct.

Resultater af forskellige studier kan ofte ikke direkte sammenlignes

Undersøgelserne er ret forskellige i forhold til identifikationsstrategi og de anvendte data. Derfor kan de kvantitative estimater ikke altid direkte sammenlignes. Eksempelvis er der forskel på opgørelsen af automatisering afhængig af, hvilke spørgsmål der anvendes i spørgeskemaet, og hvilke maskiner der indgår i de importbaserede definitioner. Desuden afhænger estimaterne af, hvilket mål for produktivitet som er anvendt i analysen. Flere af studierne anvender TFP som produktivitetsmål, men der er forskellige tilgange til at beregne dette, hvilket kan give forskellige resultater. Eksempelvis kan TFP beregnes ud fra omsætningen, værditilvækst eller andre mål for produktion. Det kan være svært at skelne mellem, om den estimerede effekt skyldes en forøgelse i markuppen eller i produktiviteten, hvis TFP er beregnet ud fra omsætningen eller værditilvæksten uden at kontrollere for virksomhedsspecifikke enhedspriser. Flere studier har undersøgt sammenhængen og har fundet, at automatisering fører til højere markupper, jf. Bonfiglioli mfl. (2020) og Jørgensen (2020). Det kan skyldes, at virksomheden har markedsmagt og kan holde priserne på samme niveau, selvom omkostningerne er faldet på grund af automatisering. Dermed stiger markuppen.

TABEL III.1 EFFEKTER AF AUTOMATISERING PÅ PRODUKTIVITET

Uafhængig af analysetilgangen finder de fleste studier positive effekter af en automatiseringsbegivenhed på fremstillingsvirksomheders timeproduktivitet, som ligger i intervallet 4-9 pct.

Studie	Land og periode	Mål	Effekt
Event study			
Acemoglu mfl. (2020)	Frankrig (2010-15)	Import (robotter)	+ 20 pct. BVT + 4 pct. BVT pr. time + 2,4 pct. TFP
Acemoglu mfl. (2022)	USA (2016-18)	Spørgeskema (robotter)	+ 9,1 pct. BVT pr. time
Instrument			
Bonfiglioli mfl. (2020)	Frankrig (1994-2013)	Import (robotter)	+ 13 pct. omsætning +5,1 pct. BVT pr. time + 3 pct. TFP
Dixon mfl. (2021)	Canada (1996-2017)	Import (robotter)	+ 0,02 pct. TFP
Model			
Humlum (2022)	Danmark (1995-2015)	Import (automatisering)	+ 20 pct. omsætning + 6,8 pct. TFP
Koch mfl. (2021)	Spanien (1990-2016)	Spørgeskema (robotter)	+ 20 pct. produktion + 1,3 pct. TFP

Anm.: Tabellen viser et udvalg af studier, som har fokus på vestlige lande og illustrerer forskellige analysetilgange. Alle studier bruger en indikator for automatiseringen som forklarende variabel. Acemoglu mfl. (2022) har separate estimater for servicesektoren, som ikke er vist i tabellen. Dixon mfl. (2021) bruger dog en kontinuert variabel, som afspejler virksomhedens robotkapital. Estimatet er væsentligt mindre end i de andre studier, da det måler effekten af at øge robotkapitalen med 1 pct. Alle effekter er indenfor virksomheder. Humlum (2022) benytter *event study*-tilgangen til at undersøge effekten på omsætningen, mens effekten på TFP er estimeret i en strukturel model. Koch mfl. (2021) kontrollerer for virksomhedsspecifikke input- og outputpriser, hvilket muliggør beregningen af effekten på produktionen målt i antal fysiske enheder.

Effekten er betydelig sammenlignet med forskning og udvikling

Effekten af automatisering på produktiviteten er relativt stor. For eksempel ligger det mest konventionelle estimat af effekten af forskning og udvikling på produktivitet i studier med lignende identifikationsstrategier, dvs. *event study* og *matching*, på ca. 10-20 pct., jf. Mohnen og Hall (2013). Forskning og udvikling betragtes normalt som en af de primære drivkræfter bag produktivetsudviklingen og anvendes ofte som et benchmark. Eksempelvis finder studier, som sammenligner

produktivitetseffekter af forskning og udvikling med eksport og offshoring, at forskning og udvikling kan forklare ca. 60-70 pct. af udviklingen i produktiviteten, mens de resterende 30-40 pct. kan tilskrives øvrige faktorer, jf. Aw mfl. (2011) og Bøler mfl. (2015). Selvom estimaterne kan være svære at fortolke, fordi de forklarende variable er defineret på forskellige måder, er det bemærkelsesværdigt, at de estimerede effekter af automatisering er på niveau med forskning og udvikling.

EFFEKTER PÅ BESKÆFTIGELSE

De fleste finder positiv effekt på beskæftigelsen på virksomhedsniveau

Litteraturen på virksomhedsniveau finder generelt en positiv effekt på beskæftigelsen i virksomheder, som automatiserer, jf. tabel III.2.³ Studierne fokuserer på industrirobotter og fremstillingsvirksomheder, hvor industrirobotter er mest udbredte. Typisk øger automatiserende fremstillingsvirksomheder beskæftigelsen med mellem 2 og 10 pct. Den positive effekt på beskæftigelsen kan skyldes, at virksomhederne udvider produktionen, fordi de mindsker priserne og dermed øger omsætningen.⁴ Dette lader altså til at opveje eventuelle negative effekter på virksomhedens efterspørgsel efter arbejdskraft fra, at visse medarbejdere udskiftes med maskiner.

En undersøgelse fra Danmark viser fald i antal produktionsarbejdere og deres løn

Risikoen for, at ens arbejdsopgave bliver erstattet af en automatiserende teknologi, er højere indenfor de mest standardiserede og rutineprægede opgaver, som eksempelvis montage, skæring og svejsning. Studierne finder således de største negative effekter af automatisering på blandt andet beskæftigelse, lønninger og karriereudvikling for jobfunktioner med mange rutineprægede opgaver. For eksempel viser resultater fra Danmark, at på trods af at den gennemsnitlige ansattes løn stiger med 0,8 pct. som følge af automatiseringen, falder produktionsarbejdernes lønninger med 5,4 pct., jf. Humlum (2022). Derudover viser denne strukturelle tilgang, at velfærdstabet er højest for de ældre produktionsarbejdere, mens de yngre produktionsarbejdere stadigvæk kan nå at skifte job og tilegne sig nye kompetencer.

3) Tabellen viser et udvalg af studier, som har fokus på vestlige lande og illustrerer forskellige analysetilgange.

4) Som nævnt er der også tegn på en positiv effekt på markupperne. Dette er ikke nødvendigvis i uoverensstemmelse en negativ effekt på priserne. Det er således muligt, at marginalomkostningerne reduceres mere end priserne, hvilket vil give en forøgelse i markupperne, jf. *Produktivitet, 2022*.

TABEL III.2 EFFEKTER PÅ BESKÆFTIGELSE OG LØNKVOTE

Litteraturen finder robuste negative effekter på lønkvoten i automatiserende fremstillingsvirksomheder. Et studie peger på, at robotter fører til stigende ulighed (højere variation) i lønninger.

Studie	Land og periode	Mål	Effekt
Event study			
Acemoglu mfl. (2020)	Frankrig (2010-15)	Import (robotter)	- 4,3 pct.point lønkvote + 10,9 pct. beskæftigelse i timer + 0,9 pct. timeløn
Acemoglu mfl. (2022)	USA (2016-18)	Spørgeskema (robotter)	- 2,7 pct.point lønkvote
Bessen mfl. (2020)	Holland (2000-16)	Spørgeskema (automatisering)	+ 10 pct. antal ansatte - 20 pct. daglig løn
Koch mfl. (2021)	Spanien (1990-2016)	Spørgeskema (robotter)	- 5 pct.point lønkvote + 10 pct. beskæftigelse i timer
Instrument			
Bonfiglioli mfl. (2020)	Frankrig (1994-2013)	Import (robotter)	- 10 pct. antal ansatte
Dixon mfl. (2021)	Canada (1996-2017)	Import (robotter)	+ 0,015 pct. antal ansatte
Faia mfl. (2022)	Italien (1995-2017)	Antal robotter i branche	+ 0,2 pct. lønulighed
Model (kun aggregerede effekter)			
Adachi mfl. (2022)	Japan (1978-2017)	Antal robotter i branche	+ 4 pct. timeløn + 2 pct. antal ansatte - 2 pct. arbejdstimer
Humlum (2022)	Danmark (1995-2015)	Import (automatisering)	- 1,5 pct.point lønkvote

Anm.: Tabellen viser et udvalg af studier, som har fokus på vestlige lande og illustrerer forskellige analysetilgange. Alle studier bruger en indikator for automatiseringen som forklarende variabel. Acemoglu mfl. (2022) og Bessen mfl. (2020) har separate estimater for servicesektoren, som ikke er vist i tabellen. Dixon mfl. (2021) bruger dog en kontinuert variabel, som afspejler virksomhedens robotkapital. Derfor er effekten væsentlig mindre sammenlignet med andre studier. Alle *event study* og *instrumentvariabel* måler effekter i den enkelte virksomhed. Adachi mfl. (2022) kigger kun på de aggregerede beskæftigelseseffekter på tværs af brancher. Humlum (2022) beregner kun den aggregerede effekt på lønkvoten i industrien.

Undersøgelser fra andre lande tegner ikke et entydigt billede

I en undersøgelse af canadiske fremstillingsvirksomheder øger automatisering beskæftigelsen indenfor virksomheden, mens antallet af job i ledelsespositioner falder, jf. Dixon mfl. (2021). Det kan være en konsekvens af, at ansvarsområdet for den enkelte leder er blevet større på grund af automatisering. Desuden er det hverken højt eller lavt kvalificeret arbejdskraft, der bliver erstattet af maskiner, men kun de mellemkvalificerede ansatte. Kvalifikationer skal i denne sammenhæng forstås som eksempelvis forskelle i uddannelse og erhvervsrelateret erfaring. I Frankrig øges beskæftigelsen af højt kvalificeret arbejdskraft ved automatiseringen, men der findes ikke nogle signifikante effekter på den gennemsnitlige løn, jf. Bonfiglioli mfl. (2020) og Acemoglu mfl. (2020). Lignende konklusioner dokumenteres i Holland, jf. Bessen mfl. (2023), Spanien, jf. Koch mfl. (2021), og Indonesien, jf. Ing og Zhang (2022). Det kan skyldes, at i modsætning til det danske studie kan lønningerne og kompetencer af de enkelte produktionsarbejdere ikke observeres i de fleste af disse undersøgelser.

Tegn på negative effekter på brancheniveau, som kan skyldes *business stealing*

Effekterne på branche- eller samfunds niveau er ikke nødvendigvis de samme, som effekterne på virksomhedsniveau, jf. afsnit III.2. Eksempelvis finder Acemoglu og Restrepo (2020) negative effekter af industrirobotter på beskæftigelsen på brancheniveau i USA. Graetz og Michaels (2018) kigger på 17 udviklede lande og finder ingen effekt af automatisering på den samlede beskæftigelse, på trods af en reduktion i beskæftigelsesandelen af arbejdere med korte uddannelser. Chiacchio mfl. (2018) undersøger automatiseringen i Finland, Frankrig, Tyskland, Italien, Spanien og Sverige og finder, at en robot erstatter op til 3-4 arbejdere på brancheniveau. I en brancheanalyse fra Frankrig finder Aghion mfl. (2019), at en robot erstatter op til 10 arbejdere. Til gengæld finder Dauth mfl. (2021) ingen beskæftigelseseffekter i Tyskland på brancheniveau. En mulig forklaring på de forskellige effekter er, at beskæftigelsen øges i automatiserende virksomheder på bekostning af beskæftigelsen i konkurrerende virksomheder, jf. Acemoglu mfl. (2020). Denne såkaldte *business stealing* effekt betyder, at den aggregerede effekt på beskæftigelsen af robotter på brancheniveau godt kan være negativ, hvis konkurrenternes beskæftigelsesnedgang overstiger stigningen i de automatiserende virksomheder.

EFFEKTER PÅ LØNKVOTEN

Der findes en negativ effekt på lønkvoten, ...

De fleste undersøgelser finder en negativ effekt på lønkvoten i de automatiserende virksomheder. I Frankrig falder lønkvoten med 4,3 pct.point efter automatiseringen, jf. Acemoglu mfl. (2020). I Spanien er estimatet lidt højere og ligger på ca. 5 pct.point, jf. Koch mfl. (2021). Et studie fra USA finder et fald i lønkvoten på 1,9 pct.point, jf. Acemoglu

mfl. (2022). I en strukturel model for Danmark falder den aggregerede lønkvote med 1,5 pct.point på grund af automatiseringen, jf. Humlum (2022). Alt i alt peger den empiriske litteratur på, at andelen af lønudgifter i værditilvæksten falder efter automatiseringen.

... som er i overensstemmelse med teorien

Dette er i overensstemmelse med teorien, som siger, at automatisering leder til lavere lønkvote, fordi en større del af indkomsten går til kapital, jf. afsnit III.2. En anden mulig forklaring er, at lønkvoten falder, fordi profitten stiger. Således finder Bonfiglioli mfl. (2020) en positiv effekt på virksomhedernes markupper. Det indikerer, at virksomhederne ikke overfører hele gevinsten af automatisering og det medfølgende omkostningsfald til forbrugerne.

Svært at forudsige aggregerede effekter

Afhængigt af andelen af automatiserede virksomheder i økonomien kan den aggregerede lønkvote i fremstillingssektoren også falde. Autor og Salomons (2018) viser dog, at den aggregerede effekt er påvirket af omfanget af de produktivitetstigninger, som kan opnås ved automatisering, samt tilblivelsen af nye opgaver, hvor arbejdskraft er mere produktiv i forhold til maskiner. Nye opgaver kan eksempelvis være computerprogrammering og laparoskopisk kirurgi, som er udført af mennesker, men ikke kunne eksistere uden den teknologiske udvikling. Det betyder, at det ikke er klart, om de makroøkonomiske effekter er lig med effekterne på virksomhedsniveau.

SAMMENFATNING

Virksomheders produktivitet og beskæftigelse stiger, mens lønkvoten falder

Bedre adgang til virksomhedsdata har medført et væld af studier, der analyserer, hvad der sker indenfor den enkelte virksomhed efter den begynder at anvende automatiserende teknologi. Generelt finder litteraturen, at automatiserende fremstillingsvirksomheder øger timeproduktiviteten og beskæftigelsen, mens lønkvoten i virksomhederne falder.

Ingen konsensus om effekten på beskæftigelse på samfundsniveau

Der findes flere empiriske undersøgelser af automatiseringseffekter på branche- og samfundsniveau. Der tegner sig dog ikke et entydigt billede af den samlede effekt på beskæftigelsen. Afhængigt af land og branche finder studierne både negative og positive effekter af automatisering på den samlede beskæftigelse, jf. Aghion mfl. (2022).

Begrænset viden om automatisering i servicesektoren

Afsnittet har fokuseret på fremstillingssektoren, men der findes enkelte studier, som undersøger effekter af automatisering i servicesektoren, jf. Bessen mfl. (2020) og Eggleston mfl. (2021). Studierne finder, at automatiserende teknologier i mindre grad erstatter arbejdskraft i servicesektoren. Det komplicerer vurderingen af de samlede effekter af

automatisering på samfundsniveau. Derudover er der tegn på, at nogle former for teknologi, især kunstig intelligens, i højere grad skaber nye opgaver til medarbejdere i stedet for at erstatte dem.

III.4

AUTOMATISERING I DANMARK

Kortlægning af automatisering i fremstillingssektoren

I dette afsnit beskrives udviklingen i omfanget af automatisering i fremstillingssektoren i Danmark. Afsnittet fokuserer på investeringer i industrirobotter og andre automatiserende maskiner, som i litteraturen forbindes med automatisering i fremstillingssektoren, jf. afsnit III.3. Desuden anvendes et mål for, om den enkelte virksomhed anvender automatiserende maskiner til at belyse udbredelsen af automatisering på tværs af virksomheder. Der er ikke tale om en udtømmende beskrivelse af alle slags automatiserende teknologier. Derfor er det opgjorte omfang af automatisering formentlig et underkantsskøn.

Investeringer i automatiserende teknologier er begrænsede, ...

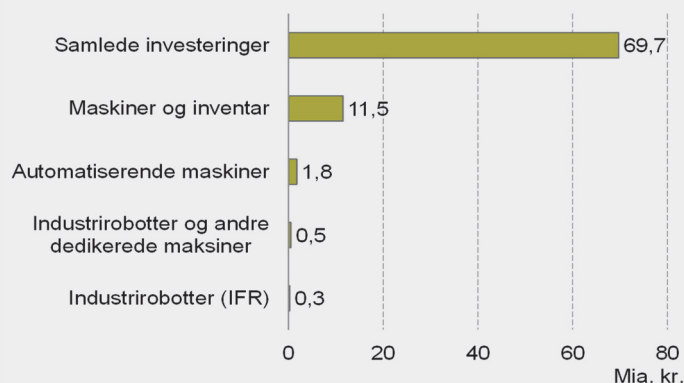
Der anvendes tre forskellige mål for omfanget af investeringerne i automatiserende kapital i fremstillingssektoren: 1) automatiserende maskiner, 2) industrirobotter og dedikerede maskiner og 3) alene industrirobotter. Fælles for de tre mål er, at investeringerne i automatisering er begrænsede relativt til det samlede investeringsomfang og de samlede investeringer i maskiner og inventar i fremstillingssektoren, jf. figur III.1. I 2019 var der således samlet set investeringer for ca. 70 mia. kr. i fremstillingssektoren. Heraf udgjorde investeringer i maskiner og inventar små 12 mia. kroner. Ud af disse investeringer udgjorde investeringer i alle automatiserende maskiner små 2 mia. kr., investeringer i industrirobotter og dedikerede maskiner 0,5 mia. kr. og investeringer i industrirobotter alene 0,3 mia. kr. Disse beløb svarer til henholdsvis 2,5, 0,7 og 0,4 pct. af fremstillingssektorens samlede investeringer.

... men mange virksomheder anvender dem

I afsnittet undersøges også, hvor udbredt brugen af automatiserende maskiner er på tværs af virksomheder. Konklusionen er, at mange især store virksomheder har påbegyndt automatisering. Med andre ord er der mange fremstillingsvirksomheder, som investerer i automatiserende kapital, men omfanget af automatiserende investeringer i den gennemsnitlige virksomhed lader til at være begrænset set i forhold til investeringer i andre typer af kapital.

FIGUR III.1 INVESTERINGER I AUTOMATISERING

I afsnittet anvendes forskellige mål for investeringerne i automatisering i fremstillingssektoren: *Automatiserende maskiner*, *Industrirobotter og andre dedikerede maskiner* og *Industrirobotter (IFR)*. Målt på alle tre måder udgør investeringerne i automatisering en lille andel af de samlede investeringer og investeringerne i maskiner og inventar.



Anm.: Figuren viser skøn over fremstillingssektorens investeringer i forskellige typer kapital i 2019 i løbende priser. Investeringerne i industrirobotter (IFR) er beregnet ud fra antallet af købte robotter fra International Federation of Robotics (IFR) samt et skøn for den gennemsnitlige robotpris og omfatter også køb af industrirobotter i andre sektorer, omend omfanget af dette vurderes at være begrænset.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af nationalregnskabet, DIRA (2021) og International Federation of Robotics.

Afsnittets opbygning

Afsnittet indledes med en kortlægning af den overordnede udvikling i investeringerne i fremstillingssektoren. Herefter undersøges udbredelsen af robotter og andre typer af automatiserende maskiner i fremstillingssektoren. Endelig opgøres omfanget af virksomheder, der har påbegyndt automatisering.

UDVIKLINGEN I DE SAMLEDE INVESTERINGER

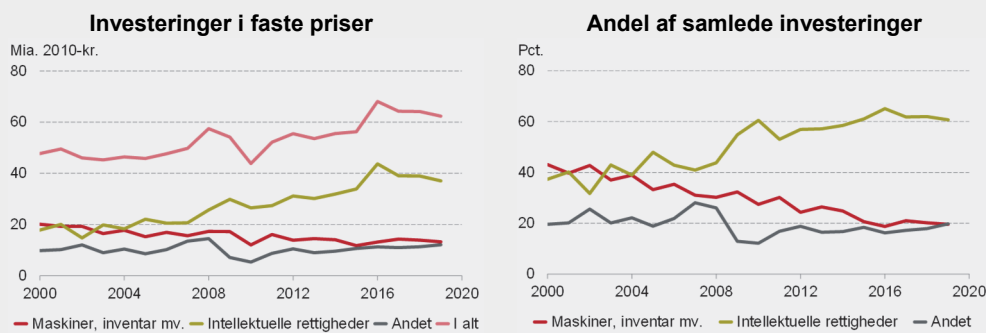
Stigende investeringsomfang i Danmark

De samlede investeringer i fremstillingssektoren i Danmark er steget fra 48 mia. kr. i 2000 til 62 mia. kr. i 2019, jf. figur III.2. Det svarer til en stigning på 30 pct. i perioden. Beregningerne er foretaget i kædede 2010-priser, hvorfor fremgangen kan fortolkes som en fremgang i den

fysiske mængde af investeringer. Når investeringsomfanget stiger, bliver der mere produktiv kapital i produktionen, hvilket bidrager til at øge arbejdskraftens timeproduktivitet.

FIGUR III.2 INVESTERINGER I FREMSTILLINGSSEKTOREN

Fremstillingssektorens investeringer i maskiner, inventar mv. er faldet både i mængder (venstre figur) og som andel af de samlede investeringer (højre figur).



Anm.: Andele er beregnet i løbende priser.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af nationalregnskabet.

Intellektuelle rettigheder bliver mere vigtige relativt til fysisk kapital

Siden 2000 er de årlige investeringer i intellektuelle rettigheder steget mere end de øvrige investeringer, så investeringer i intellektuelle rettigheder er steget fra at udgøre 37 pct. af de samlede investeringer i fremstillingssektoren i år 2000 til at udgøre 60 pct. af de samlede investeringer i år 2019. I samme periode er andelen af investeringerne i maskiner, inventar mv. faldet fra 42 pct. til 21 pct. af de samlede investeringer.

Omstillingen kan mindske potentialet for automatisering af fysisk produktion

Denne udvikling peger i retning af et skifte fra fysisk til en højere grad af immateriel produktion. Dette skifte kan mindske potentialet for automatisering af fysisk produktion gennem robotter og andre maskiner i forhold til automatisering gennem software. Når andelen af fysiske investeringer falder, er det således et tegn på, at fysiske investeringer betyder relativt mindre for produktionen, jf. boks III.2. De fysiske investeringer udgør fortsat en væsentlig del af økonomien, men hvis udviklingen fortsætter, kan automatisering gennem software potentielt få større betydning fremover. Resten af afsnittet har dog fokus på automatisering af fysiske arbejdsopgaver gennem maskiner, som også har fået mest fokus i litteraturen, jf. afsnit III.3.

BOKS III.2 ELASTICITET OG OMKOSTNINGER

Givet nogle relativt generelle antagelser kan det vises, at der er en lineær sammenhæng mellem, hvor stor en andel af omkostningerne et input udgør og samme inputs elasticitet i produktionsfunktionen, jf. De Loecker og Warzynski (2012). Først antages, at produktionen Q er givet ved en funktion $Q(X)$, hvor X er en vektor af variable input, som indeholder forskellige typer af kapital og arbejdskraft. Dernæst antages, at $Q(X)$ er kontinuert og dobbelt differentiabel. Hvis virksomheden omkostningsminimerer, kan det vises, at elasticiteten af input x_i er givet ved:

$$\frac{\partial Q(X)}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{Q} = \frac{x_i p_i}{Q p_Q} / \text{markup}$$

Her er p_i prisen på inputfaktoren og p_Q prisen på output, så $x_i p_i / Q p_Q$ er omkostningerne til det pågældende input relativt til omsætningen. Hvis der samtidig antages konstant skalaafkast, vil det gælde, at $\text{markup} = Q p_Q / C$, hvor C er de samlede omkostninger, jf. *Produktivitet, 2022*. Dermed kan elasticiteten skrives som

$$\frac{\partial Q(X)}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{Q} = \frac{x_i p_i}{C}$$

Med andre ord vil elasticiteten være lig omkostningsandelen. Hvis x_i er et kapitalgode, er $x_i p_i$ de samlede brugeromkostninger ved kapitalen, som bl.a. inkluderer nedslidning, skat og renteudgifter.

INVESTERINGER I AUTOMISERENDE MASKINER**Afsnittet anvender detaljeret investeringsdata**

De ovenfor anvendte opgørelser af investeringer giver et overordnet billede af udviklingen i forskellige investeringstyper. I det følgende ses nærmere på udbredelsen af automatiserende maskiner i fremstillingssektoren, herunder industrirobotter. Derfor anvendes detaljeret information om investeringer på brancheniveau fra nationalregnskabet til at opgøre omfanget af investeringer i automatiserende maskiner.

Definition af automatiserende maskiner

Definitionen af hvilke typer maskiner, som er automatiserende, er baseret på Acemoglu og Restrepo (2021). Det drejer sig eksempelvis om køb af industrirobotter og computerstyrede værktøjer, som kan bore, svejse, fræse, hamre og på anden vis bearbejde metal og træ. Derudover indgår forskellige slags måleinstrumenter, såsom termometre og hygrometre, som kan anvendes som et led i en automatiseringsproces til eksempelvis temperaturstyring, jf. boks III.3.

BOKS III.3 AUTOMATISERENDE MASKINER

Acemoglu og Restrepo (2022a) opdeler import og eksport af maskiner efter, om de virker automatiserende. Inddelingen bygger ikke på tal, men på forfatterens opfattelse af, om de pågældende maskiner potentielt kan overtage arbejdsopgaver. Automatiserende kapital deles op i en række undergrupper. Tabel A beskriver grupperne og giver nogle eksempler på maskiner i hver gruppe.

TABEL A GRUPPER AF AUTOMATISERENDE MASKINER

Gruppe	Eksempler
Dedikerede maskiner	Robotter og andre maskiner, der kan fungere selvstændigt
Numerisk kontrollerede maskiner	Computerstyrede gevindskæremaskiner og fræsere
Automatiske værktøjsmaskiner	Automatiserede maskiner til at bore, høvle, hamre, bukke eller presse
Automatiske svejsemaskiner	Maskiner til lodning og svejsning med laser
Kontrolinstrumenter	Termometre og hygrometer
Maskiner til vævning og tekstiler	Vævemaskiner og symaskiner
Transportører	Samlebånd

Kilde: Acemoglu og Restrepo (2022a).

Koblingen til investeringsdata fra nationalregnskabet

Acemoglu og Restrepos (2022a) kategorisering bygger på de såkaldte HS-koder, som er en international klassifikation af toldvarer, der også anvendes i danske import- og eksportopgørelser. Hver HS-kode kategoriseres som enten automatiserende eller anden maskinkapital. HS-koderne anvendes til at beregne investeringer i automatiserende kapital på et mere aggregeret niveau. Udgangspunktet er data fra nationalregnskabets investeringsmatricer, som beskriver køb af maskiner og anden kapital fordelt på brancher og på investeringsgrupper. Grupperne er relativt grove og dækker typisk over en række HS-koder, hvoraf nogle kan være automatiserende og andre ikke. Derfor er det nødvendigt at splitte investeringerne i hver gruppe op på HS-koder. Det gøres ved at anvende importandelene fra tolldata, som er tilgængelige på det mere detaljerede HS-kodeniveau. Denne inddeling giver anledning til usikkerhed, og der skal tages højde for dette i fortolkningen af resultaterne i indeværende afsnit.

BOKS III.3 AUTOMATISERENDE MASKINER, FORTSAT**Koblingen til registerbaseret virksomhedsdata**

Klassificeringen fra Acemoglu og Restrepo (2022a) kan også anvendes på virksomhedsniveau ved brug af HS-koder i udenrigshandelsregistret (UHDI). Dette register opgør virksomhedernes import og eksport af forskellige varer fra 1995 og frem. Det antages, at en virksomhed har påbegyndt automatisering, hvis den har importeret en maskine, der hører under Acemoglu og Restrepas (2022a) definition af automatiserende maskiner. En lignende tilgang har været anvendt i en dansk kontekst af Humlum (2022). Oplysningerne fra udenrigshandelsregistret kombineres med regnskabsstatistikken (FIRE) i årene 2000-18, og der fokuseres alene på virksomheder med mere end én beskæftiget, hvor regnskabsdata kommer fra skatteoplysninger eller indberettede regnskabsoplysninger. I analysen i afsnit III.5 fokuseres der alene på virksomheder i årene 2005-18, da skatteoplysningerne i denne periode er tilstrækkelige til at lave et præcist mål for værditilvæksten. Yderligere detaljer om udvælgelseskriterier findes i *Baggrundsnotat til kapitel III, Produktivitet 2023*.

For at frasortere virksomheder i brancher, hvor der er høj sandsynlighed for videresalg, anvendes andelen af eksport i underbrancherne som mål for videresalg. Derfor frasorteres virksomheder indenfor underbrancher med en høj eksportandel af automatiserende maskiner. I praksis frasorteres DB2007-brancher, hvor eksportandelen af automatiserende maskiner overstiger 5 pct., mens der i gennemsnit er mindst en eksportbegivenhed om året. Det sidste krav sikrer, at brancher, hvor en enkelt virksomhed på et tidspunkt har afhændet sit kapitalapparat ikke frasorteres, men at brancher med kontinuert videresalg bliver frasorteret. De frasorterede brancher er eksempelvis 262000 *Fremstilling af computere og ydre enheder*, 265100 *Fremstilling af udstyr til måling, afprøvning, navigation og kontrol* og 289900 *Fremstilling af øvrige maskiner med specielle formål i.a.n.* I alt frasorteres virksomheder fra 11 underbrancher i fremstillingssektoren. I analysen i afsnit III.5 anvendes samme metode til at afgøre, om en virksomhed er automatiserende.

Humlum (2022) frasorterer underbrancher, hvor der er stor sandsynlighed for videresalg på baggrund af en liste af virksomheder, der er såkaldte *robotintegratorer*. Da analyserne i nærværende kapitel fokuserer på automatiserende maskiner i en bredere forstand – og ikke blot robotter – er listen ikke anvendt til indeværende analyse.

Automatiserende maskiner udgør en lille andel af de samlede investeringer

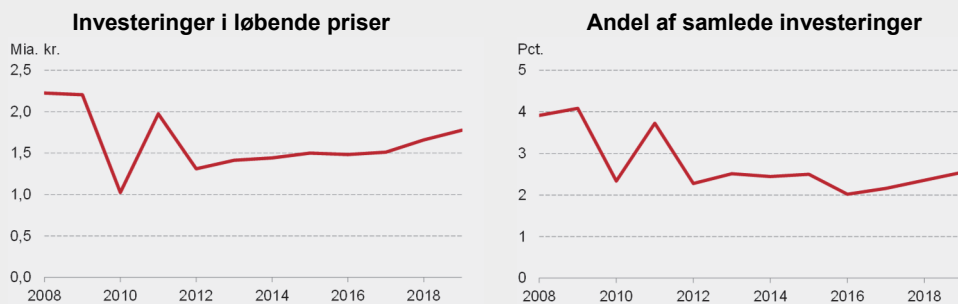
Investeringer i automatiserende maskiner i fremstillingssektoren beløber sig årligt til ca. 1,5 mia. kr. i løbende priser, jf. figur III.3.⁵ I perioden 2008-19 er der ingen tegn på stigninger i investeringer i automatiserende maskiner. Tværtimod falder andelen af virksomhedernes investeringer i automatiserende maskiner som andel af virksomhedernes samlede investeringer fra 4 pct. i 2008 til 2,5 pct. i 2019. En del af forklaringen på dette kan være, at produktionen, som nævnt ovenfor,

5) Beløbene er opgjort i løbende priser, da der ikke er et tilstrækkeligt detaljeret prisoplysninger i de tilgængelige data fra Danmarks Statistik til at beløbene kan beregnes i faste priser.

er blevet mindre fysisk, så de immaterielle aktiver i stigende grad fylder mere relativt til de materielle. Selvom investeringerne i løbende priser er faldet, kan brugen af automatiserende maskiner godt være steget, hvis priserne på disse maskiner er faldet. Opgørelser tyder således på, at der historisk har været et fald i priserne på nogle typer automatiserende maskiner, jf. Graetz og Michaels (2018) og Adachi mfl. (2022).

FIGUR III.3 INVESTERINGER I AUTOMATISERENDE MASKINER

Udgiften til investeringer i automatiserende maskiner udgør en lille andel af de samlede investeringer i fremstillingssektoren, og andelen er ikke steget over tid.



Anm.: Figuren til venstre viser de samlede beregnede investeringer i automatiserende maskiner i løbende priser. Figuren til højre viser investeringerne i automatiserende maskiner som andel af de samlede investeringer i løbende priser.

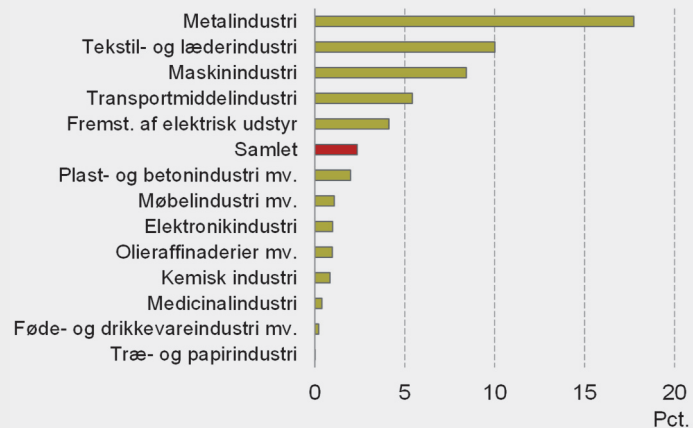
Kilde: Egne beregninger på baggrund af data fra nationalregnskabet..

**Store
brancheforskelle i
investeringsomfang**

Der er stor forskel på omfanget af investeringer i automatiserende maskiner i de forskellige brancher i fremstillingssektoren, jf. figur III.4. I branchen *metalindustri* udgør investeringer i automatiserende maskiner 17 pct. af de samlede investeringer i 2018, mens de i flere brancher i fremstillingssektoren udgør under 1 pct. af de samlede investeringer. Der kan altså være store forskelle i forhold til, hvor automatiseringsegnet fremstillingsprocessen er i forskellige brancher.

FIGUR III.4 BRANCHERNES INVESTERINGER I AUTOMATISERENDE MASKINER

Investeringer i automatiserende maskiner udgør 17 pct. af de samlede investeringer i *metalindustri*, men i mange brancher udgør disse investeringer under 1 pct. af de samlede investeringer.



Anm.: Figuren viser investeringerne i automatiserende maskiner som andel af de samlede investeringer i brancher i fremstillingssektoren målt i løbende priser. Bemærk at andelen er opgjort i 2018 fremfor 2019, da de samlede bruttoinvesteringer i branchen *kemisk industri* er negative i 2019.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af nationalregnskabet.

DETALJEREDE MÅL FOR INDUSTRIROBOTTER

Industrirobotter er et populært mål for automatisering

Et af de mest udbredte mål for automatisering i litteraturen er brugen af industrirobotter, som er en undergruppe af de automatiserede maskiner beskrevet i forrige afsnit. I dette afsnit beskrives udviklingen i investeringerne i industrirobotter i Danmark i forhold til andre lande. Der anvendes to tilgange: For det første udnyttes et mere detaljeret mål for automatiserende maskiner nemlig *dedikerede maskiner og industrirobotter* med baggrund i samme metode som i foregående afsnit. Det gør det muligt at sammenligne brugen af henholdsvis *dedikerede maskiner og industrirobotter* og automatiserende maskiner generelt i Danmark. For det andet anvendes opgørelsen over antallet af industrirobotter i forskellige lande fra International Federation of Robotics (IFR). Opgørelsen er baseret på salgsdata fra forskellige robotproducenter, og gør det muligt at følge investeringerne og beholdningen af industrirobotter på brancheniveau i en række lande.

INDUSTRIROBOT

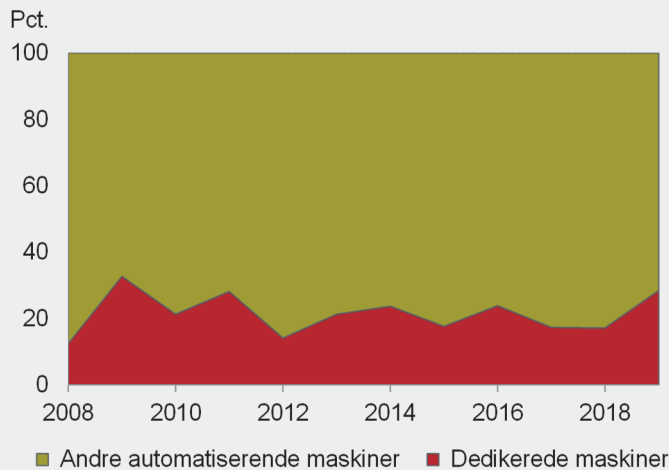
International Organization of Standardization definerer en industrirobot som en automatisk styret, omprogrammerbar manipulator, til flere formål og programmerbar i tre eller flere akser. Denne definition anvendes af IFR til at opgøre antallet af industrirobotter i en række lande.

Investeringer i robotter udgør en femtedel af automatiserende investeringer

En del af de automatiserende maskiner er, som nævnt, industrirobotter og beslægtede maskiner, der samlet set betegnes som *dedikerede maskiner*, jf. boks III.3. Denne gruppe udgør ca. en femtedel af de samlede investeringer i automatiserende maskiner i perioden 2008-19, jf. figur III.5. Gruppen har desuden ikke været i vækst, hverken relativt til den brede kategori af automatiserende maskiner eller i forhold til de samlede investeringer.

FIGUR III.5 INVESTERINGER I AUTOMATISERENDE MASKINER

Dedikerede maskiner udgør i gennemsnit lidt over en femtedel af investeringerne i automatiserende maskiner i perioden 2008-19.



Anm.: Figuren viser, hvor stor en andel af investeringerne i automatiserende maskiner, der kommer fra investeringer i dedikerede maskiner og industrirobotter.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af tal fra Danmarks Statistik.

Stigning i antal robotter i Danmark

Med baggrund i data fra IFR ses det, at beholdningen af industrirobotter er steget i Danmark siden 2000, jf. figur III.6. Investeringerne steg fra 2008 til 2016, men har efterfølgende ligget på et omtrent konstant niveau. Til sammenligning er robotinvesteringerne i gennemsnit steget med 6 pct. årligt i vesteuropæiske lande fra 2016 til 2021, jf. DIRA (2021). Når beholdningen stiger på trods af konstante investeringer, skyldes det, at investeringerne overstiger afskrivningerne. Investeringerne i industrirobotter er steget kraftigt på verdensplan og er mere en tredoblet fra 2011 til 2021. To tredjedele af de nye robotter er blevet installeret i Asien, hvor Kina udgør mere end halvdelen af alle nye installationer, jf. IFR (2022). En af årsagerne til forøgelsen i antallet af robotter er, at prisen er faldet.⁶

Den gennemsnitlige robot er blevet bedre

Opgørelser af antallet af robotter tager ikke højde for ændringer i sammensætningen af robotter. Kvaliteten af robotter er generelt set blevet bedre, hvilket taler for, at udviklingen i antallet af robotter undervurderer den reelle stigning i deres produktive effekt.⁷

6) For eksempel var de reale priser på en robot allerede i 2005 fem gange lavere end i 1990, jf. Graetz og Michaels (2018). Et fald på 1 pct. i den gennemsnitlige robotpris har medført en ca. 1,5 pct. stigning i antallet af robotter i industrien i Japan, jf. Adachi mfl. (2022). Samme studie viser, at priserne på forskellige typer robotter udvikler sig forskelligt. En svejsningsrobot er næsten to gange billigere i 2012-17 i forhold til 1992-96 og koster ca. 30.000 dollars i 2012-17. Imidlertid blev en materialehåndteringsrobot ca. dobbelt så dyr i 2012-17 i forhold til 1992-96 og koster omkring 40.000 dollars i 2012-17.

7) I 1975 havde en gennemsnitlig robot 5 akser, en kapacitet på 6 kg og en rækkevidde på 1 meter. Disse tal var steget til 21 akser, en kapacitet på mere end 120 kg og en rækkevidde på 2 meter i 1995 og til 32 akser, en kapacitet på mere end 1.000 kg og en rækkevidde på mindst 3 meter i 2015, jf. Tilley (2017) og Kromann mfl. (2020). Det betyder, at maskiner installeret i 2015 i gennemsnit kan udføre flere og mere krævende opgaver end maskiner installeret i 1995.

FIGUR III.6 UDVIKLINGEN I ANTAL INDUSTRIROBOTTER I DANMARK

Beholdningen af robotter er steget siden 2000, mens investeringerne i robotter er steget fra 2008 til 2016 og derefter ligget på et nogenlunde konstant niveau.



Anm.: Figuren til venstre viser antallet af installerede industrirobotter i Danmark. Figuren til højre viser de årlige investeringer i industrirobotter.

Kilde: Dansk Metal (2022), DIRA (2021) og International Federation of Robotics.

Robottætheden i Danmark er høj sammenlignet med andre lande

Danmark er et af de lande, hvor antallet af industrirobotter pr. beskæftiget i fremstillingssektoren er højest, jf. figur III.7.⁸ Danmark ligger på en 12. plads på listen, og i den henseende er fremstillingssektoren i Danmark altså mere automatiseret end andre lande. Den internationale rangering er blandt andet påvirket af, at landene har forskellig branchesammensætning. Eksempelvis har Danmark ingen bilindustri, som internationalt set har en høj robottæthed. Til gengæld har Danmark en stor maskin- og metalindustri, som også typisk hører til blandt de mere automatiserede brancher. Det er derfor umiddelbart ikke muligt at sige, hvordan branchesammensætningen påvirker Danmarks placering.

8) Industrirobotter anvendes også i andre sektorer end fremstillingssektoren, men i betydeligt mindre omfang, jf. Erhvervsministeriet (2021).

FIGUR III.7 TOP 15: ROBOTTER PR. BESKÆFTIGET

Danmark ligger på en 12. plads, hvad angår antallet af industrirobotter pr. 10.000 beskæftigede i fremstillingssektoren.



Anm.: International top 15, hvad angår beholdningen af industrirobotter pr. 10.000 beskæftiget i fremstillingssektoren i 2021. Danmark er markeret med rød, mens gennemsnittet på verdensplan er markeret med grå.

Kilde: Dansk Metal (2022) og International Federation of Robotics.

Omregning indikerer, at investeringerne i industrirobotter er små

Benmelech og Zator (2022) omregner antallet af købte robotter til et beløb og finder, at de i gennemsnit udgør 0,5 pct. af de samlede investeringer i maskiner og udstyr i en række udviklede lande i 1995 til 2015, jf. boks III.4.⁹ Hvis den samme metode anvendes på danske tal, fås, at investeringerne i industrirobotter fra 2008 til 2019 udgør ca. 0,3 pct. af de samlede investeringer i fremstillingssektoren samme periode, jf. figur III.8. Det indikerer, at investeringerne i robotter i både Danmark og andre lande er små.¹⁰ Investeringer i industrirobotter udgør en relativt begrænset andel af de samlede investeringer, både når disse omgøres med data fra IFR og med baggrund i nationalregnskabet, jf.

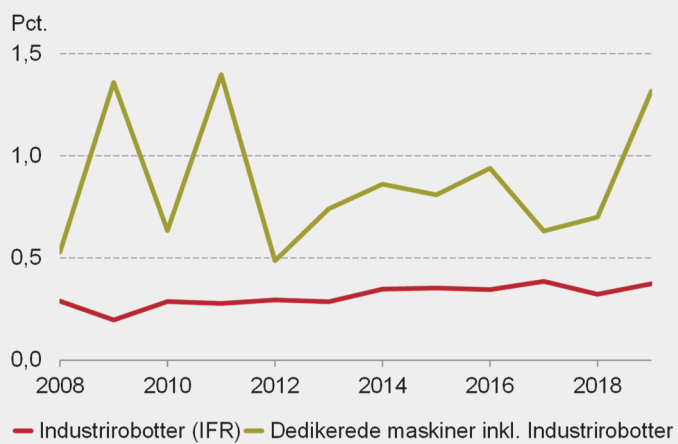
9) Forfatterne anvender en konstant pris i beregningen, da de ikke har fundet brugbare tidsserier for den gennemsnitlige pris. Som nævnt tidligere i indeværende afsnit er robotpriserne imidlertid faldet. Når investeringerne i antallet af industrirobotter har været konstant siden 2016, tyder det derfor på, at de nominelle investeringer er faldet.

10) Den lavere andel i Danmark skal ses i sammenhæng med et generelt højt investeringsniveau. Derfor kan Danmark godt have mange industrirobotter pr. beskæftiget i en international sammenhæng og samtidig have en lavere investeringsandel af industrirobotter.

figur III.8. Investeringsandelen baseret på nationalregnskabet er højere, hvilket skyldes, at gruppen af dedikerede maskiner indeholder andre maskiner end industrirobotter.

FIGUR III.8 INVESTERINGER I IDUSTRIROBOTTER

Investeringerne i industrirobotter udgør en lille andel af de samlede investeringer ved forskellige opgørelser.



Anm.: Investeringsandelen for industrirobotter (IFR) er beregnet med baggrund i installationsdata fra IFR og en fast pris pr. industrirobot. Dedikerede maskiner er beregnet med baggrund i nationalregnskabs detaljerede investeringsdata.

Kilde: Beregninger baseret på data fra DIRA (2021), International Federation of Robotics og Danmarks Statistik.

BOKS III.4 HVOR STORE ER INVESTERINGERNE I ROBOTTER I ANDRE LANDE?

Benmelech og Zator (2022) anslår ved hjælp af data fra International Federation of Robotics, at den gennemsnitlige pris på industrirobotter er 45.000 euro. Denne pris anvendes til at omregne antallet af robotter til en købesum i årene fra 1995 til 2015. Der anvendes en konstant pris henover årene, idet det ikke har været muligt at finde pålidelige data for udviklingen i priserne over tid.

De finder, at for 23 europæiske lande og i perioden 2013-15 udgør robotkøbene under 0,5 pct. af maskininvesteringerne mv. indenfor de lette fremstillingsbrancher (fødevarer, tekstiler, træ, papir og kemisk industri). For de tunge fremstillingsbrancher (metal, elektronik og maskiner) er andelen 1 pct., mens den for bilindustrien er knap 4 pct. Opgjort for hele økonomien er tallene noget mindre, da industrirobotterne stort set kun findes indenfor fremstillingsbrancherne.

Opgørelsen baseret på metoden fra Benmelech og Zator (2022) er formentlig ikke præcis, da den antager en konstant pris over tid. Men udviklingen i andelen af investeringerne baseret på salgsdata fra IFR er faktisk formentligt et overkantsskøn over de faktiske investeringer i selve robotterne, hvis prisen er faldet i perioden.

De samlede udgifter til investeringer i industrirobotter kan overstige købsprisen

Udover udgifterne til køb af maskinerne kan der også være udgifter til installation, oplæring af medarbejdere og vedligeholdelse. Sirkin mfl. (2015) undersøger svejserobotter i den amerikanske bilindustri og finder, at selve maskinen kun udgør en tredjedel af de samlede omkostninger forbundet med installationen og vedligeholdelse. Selv hvis noget lignende skulle gøre sig gældende i Danmark, vil investeringerne i industrirobotter dog fortsat udgøre en begrænset andel af de samlede investeringer.

VIRKSOMHEDERNES BRUG AF AUTOMATISERENDE MASKINER

Automatisering på den intensive ...

Den foregående del af afsnittet har fokuseret på at finde aggregerede mål for de investeringer, der kan klassificeres som automatiserende maskiner. Opgørelsen belyser udbredelsen af automatisering gennem intensiteten af automatisering i fremstillingssektoren, men siger ikke noget om, hvor mange virksomheder der anvender automatisering.

... og ekstensive margin

Det er dog også muligt at lave klassificeringen af automatisering på virksomhedsniveau. Ved brug af importdata betegnes virksomheder på et givent tidspunkt som automatiserende, hvis de i perioden fra 1995 og frem til tidspunktet har importeret automatiserende maskiner, jf. boks III.3. Denne tilgang benyttes også i afsnit III.5, hvor

tilgangen er nærmere beskrevet. I dette afsnit anvendes den til at undersøge omfanget af automatisering på den ekstensive margin i økonomien. Tilgangen bidrager ikke til kvantificere graden af automatisering i den enkelte virksomhed, men kan belyse, hvor stor en del af virksomhederne, hvor automatiserende teknologier anvendes i et eller andet omfang.¹¹

Flere virksomheder automatiserer, ...

Andelen af automatiserende virksomheder stiger fra under 20 pct. i 2000 til ca. 32 pct. i 2018, jf. figur III.9.¹² Dermed udgøres fremstillingsbranchen i stigende grad af virksomheder, der i et vist omfang har påbegyndt en automatiseringsproces. Andelen af beskæftigelsen, der arbejder i automatiserede virksomheder, stiger i samme periode fra ca. 60 pct. til 82 pct. Figuren skal dog tolkes med det forbehold, at der ikke er informationer om, hvorvidt virksomheder holder op med at anvende automatiserende maskiner – eksempelvis fordi de automatiserede dele af produktionen nedlægges eller udflyttes til andre lande. I den forstand er opgørelsen af automatiserende virksomheder et overkantsskøn.

... og det er især de store

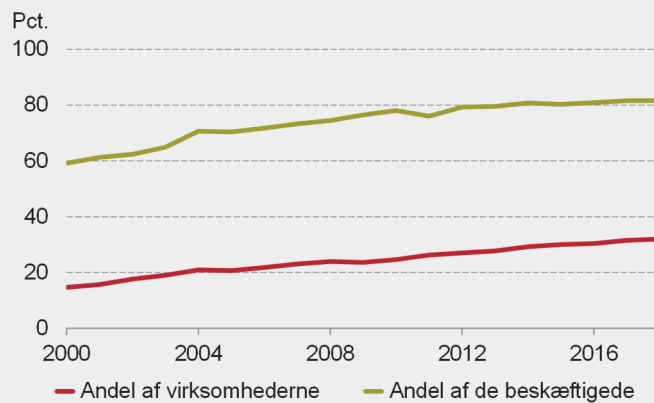
Forskellen mellem andelen af automatiserende virksomheder og andelen af de beskæftigede, der arbejder i automatiserende virksomheder, understreger, at det især er de store virksomheder, der automatiserer. Forskellene er dog i et vist omfang forventede, da større virksomheder, alt andet lige, har en større sandsynlighed for at anvende en given teknologi et eller andet sted i produktionen, alene fordi den er større.

11) Det skyldes, at importen er et relativt støjfuldt mål for investeringerne. Dels kan virksomhederne importere med henblik på videresalg, og dels kan virksomhederne investere gennem danske udbydere. Det kan give anledning til hhv. ekstremt høje og ekstremt lave mål for investeringer på virksomhedsniveau. Det kan også føre til misklassificering af, om virksomhederne overhovedet er automatiserede, men kun hvis nogle virksomheder enten *udelukkende* importerer til videresalg eller *udelukkende* investerer gennem danske udbydere.

12) Til sammenligning finder Erhvervsministeriet (2021) ved brug af en spørgeskemaundersøgelse, at omkring 40 pct. af fremstillingsvirksomhederne anvender fysiske robotter. Når dette tal er lidt højere end de 32 pct. i nærværende opgørelse, kan det eksempelvis skyldes forskelle i, hvilke virksomheder der indgår i de to opgørelser eller, at den nærværende opgørelse er baseret på importdata, og derfor, som nævnt ovenfor, kan være et underkantsskøn.

**FIGUR III.9 FREMSTILLINGSVIRKSOMHEDERNES
AUTOMATISERING OVER TID**

Andelen af automatiserende virksomheder i fremstillingssektoren stiger over tid. Det samme gælder andelen af de beskæftigede, der arbejder i en automatiserende virksomhed.



Anm.: Figuren angiver andelen af virksomheder, der har påbegyndt automatisering, og andelen af de beskæftigede, der arbejder i virksomheder, som har påbegyndt automatisering.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata fra Danmarks Statistik.

**Datagrundlag
dækker 83 pct. af
beskæftigelsen**

I denne opgørelse indgår virksomheder med regnskabsoplysninger fra skatteindberetninger eller årsregnskaber. Virksomhederne opererer desuden ikke i underbrancher, hvor der er stor sandsynlighed for videresalg, jf. boks III.3. I 2018 drejer det sig samlet set om 5.484 virksomheder, der tilsammen udgør ca. 83 pct. af beskæftigelsen i fremstillingssektoren. Udvælgelsen betyder, at der er en overrepræsentation af store virksomheder, hvilket betyder, at andelen af automatiserende virksomheder er et overkantsskøn, fordi store virksomheder oftere er automatiserende. En del af de udeladte virksomheder er dog reelt ikke økonomisk aktive og bør ikke medregnes.

SAMMENFATNING

Investeringer i automatisering udgør knap 3 pct.

Investeringer i automatiserende maskiner har i perioden 2008 til 2019 udgjort knap 3 pct. af alle investeringer i fremstillingssektoren. Heraf udgør investeringer i industrirobotter og andre maskiner, der kan fungere selvstændigt, ca. en femtedel. Der er ikke tegn på, at andelen af investeringer i automatiserede maskiner har været dramatisk stigende i Danmark. Det samme gælder for investeringer i industrirobotter.

Betydning af fysisk kapital er aftaget

Denne udvikling skal ses i lyset af, at investeringer i fysisk kapital generelt udgør en faldende andel af alle investeringer i fremstillingssektoren, mens investeringer i immaterielle kapitalformer, som eksempelvis forskning og software, har været stigende i Danmark. Det tyder på, at fysiske investeringer generelt set er blevet mindre vigtige for produktionen.

Men flere virksomheder påbegynder automatisering, ...

Der er dog samtidig indikationer af, at stadigt flere fremstillingsvirksomheder har påbegyndt automatisering. Sammenholdes dette med det begrænsede investeringsomfang, betyder det, at de automatiserende teknologier anvendes i flere virksomheder, men at udgifterne til investeringer i den gennemsnitlige virksomhed er lave.

... og antallet af industrirobotter er steget

Derudover er der sket en stigning i beholdningen af installerede industrirobotter. De årlige investeringer i antallet af industrirobotter er desuden vokset fra 2008 til 2016, men har ligget konstant de senere år.

Samlet set bliver automatisering mere udbredt, men der er ikke tale om en dramatisk udvikling

Samlet set er der altså tegn på en stigende udbredelse af robotter og andre automatiserende maskiner, men der er næppe tale om et dramatisk skift i produktionsformer. Der er således ikke tegn på, at de automatiserende maskiner er blevet markant vigtigere i produktionen relativt til andre typer af kapital, idet de automatiserende maskiner udgør en lille og ikke stigende andel af de samlede investeringer.

Andre typer automatisering kan også være vigtig

Afsnittet har et snævert fokus på automatisering gennem fysiske maskiner i fremstillingssektoren, som eksempelvis industrirobotter. Men det er meget muligt, at der er tale om et underkantsskøn, i den forstand at der kan være maskiner, der virker automatiserende, men som ikke indgår i den anvendte definition. Derudover kan en del automatisering både historisk og i fremtiden ske ved eksempelvis anvendelsen af *softwarerobotter* og kunstig intelligens eller gennem automatisering i servicesektoren. Der er fortsat ikke en udbredt empirisk litteratur om disse emner, men de forskellige teknologier kan blive vigtige for fremtidig produktivitetsudvikling og fremtidens arbejdsmarked.

III.5

ANALYSE AF FREMSTILLINGS- VIRKSOMHEDER

I afsnittet estimeres effekten af automatisering i danske fremstillingsvirksomheder

Analysens hovedbidrag: Effekt på både lønkvote og produktivitet med bredt mål

Automatisering er forbundet med øget produktivitet og beskæftigelse ...

... og en lavere lønkvote

Afsnittets indhold

I dette afsnit foretages en empirisk analyse af konsekvenserne for produktivitet, beskæftigelse og lønkvote af automatisering i fremstillingssektoren. Automatisering defineres som anvendelsen af automatiserende maskiner, der erstatter fysiske arbejdsopgaver. I analysen indgår industrirobotter, som overtager opgaver med eksempelvis svejsning eller pakning, men også andre typer af automatiserende maskiner, såsom computerstyrede maskiner til forarbejdning af metal, træ og tekstiler.

Analysen har to primære bidrag i forhold til den eksisterende litteratur, jf. gennemgangen i afsnit III.3. For det første påvises for første gang effekter af automatisering på henholdsvis lønkvoten og timeproduktiviteten for danske fremstillingsvirksomheder. For det andet anvendes et bredt mål for automatiserende maskiner, som ikke har været anvendt før til at undersøge effekter af automatisering på virksomhedsniveau. En tidligere undersøgelse af automatisering i Danmark har anvendt smallere mål for automatisering, som omfatter industrirobotter og relaterede maskiner med selvstændig funktion, jf. Humlum (2022). Men nærværende analyse anvender et bredere mål og viser, at automatisering dækker over flere forskellige slags maskiner, der samlet set udgør en større del af investeringerne i Danmark, jf. afsnit III.4.

Analysen viser, at timeproduktiviteten stiger samtidig med beskæftigelsen i de automatiserende virksomheder. Det indikerer, at automatiseringen har øget disse virksomheders produktivitet. Når antallet af ansatte i virksomhederne også stiger, skyldes det givetvis, at den højere produktivitet betyder, at virksomhederne kan sænke prisen og derved øge salget og produktionen.

Samtidig med at timeproduktivitet og beskæftigelsen stiger, falder lønkvoten i de automatiserende virksomheder. Det stemmer overens med den forventede effekt af automatisering, hvor kapital overtager arbejdsopgaver fra lønmodtagerne, så disse udgør en mindre del af produktionen.

Afsnittet indledes med en beskrivelse af datagrundlag og metode. Herefter følger analysen af effekterne af automatisering samt en diskussion af effektstørrelser og investeringsomfang.

DATAGRUNDLAG OG METODE

Dette underafsnit gennemgår det anvendte mål for automatisering, datagrundlaget og den anvendte metode.

Mål for automatisering

Import af automatiserende maskiner anvendes som mål

I denne analyse anvendes import af robotter og andre automatiserende maskiner som mål for, om virksomheden har investeret i automatiserende teknologier. Konkret betegnes en virksomhed som automatiserende fra det tidspunkt i perioden 1995 til 2018, hvor den første gang har importeret en maskine, der er kategoriseret som automatiserende. Kategoriseringen følger Acemoglu og Restrepo (2022a) og er beskrevet i nærmere detaljer i afsnit III.4.

Fordele og ulemper ved at anvende importdata

En fordel ved at anvende importen af maskiner som mål for automatisering er, at det er muligt at få viden om automatisering i de fleste virksomheder, hvorimod data fra spørgeskemaer typisk kun dækker over et mindre antal virksomheder. Derfor er denne tilgang udbredt i litteraturen. Ulempen er, at importen af automatiserende maskiner ikke i alle tilfælde er et præcist mål for, om en virksomhed faktisk investerer i automatiserende maskiner. For det første kan virksomhederne også investere i automatisering gennem køb fra danske virksomheder. I det tilfælde bliver nogle virksomheder, som faktisk er automatiserende, fejklassificeret som ikke-automatiserende. For det andet er det muligt, at virksomhederne ikke importerer automatiserende maskiner med det formål at anvende dem som kapital i produktionen, men snarere importerer maskinerne til videresalg. I det tilfælde er virksomhederne muligvis slet ikke automatiserende, selvom de importerer automatiserende maskiner. Derfor ser analysen bort fra underbrancher i fremstillingssektoren, hvor der er en indikation af et betydeligt omfang af videresalg, jf. boks III.3 i afsnit III.4.

Datagrundlag

Analysens datagrundlag

For at undersøge effekten af automatisering på fremstillingsvirksomhedernes produktivitet og lønkvote fokuserer analysen på 167 virksomheder, der på et tidspunkt i perioden 2008-15 begynder at automatisere, jf. boks III.5. Det vil sige, at virksomhederne i perioden fra 1995-2007 ikke har importeret automatiserende maskiner, men importerer første gang på et tidspunkt i perioden 2008-15. For at isolere effekten af automatisering sammenlignes virksomhederne, der automatiserer, med en kontrolgruppe af virksomheder, som ikke har importeret automatiserende maskiner fra 1995 og frem til det sidste år, de observeres.

BOKS III.5 DATAGRUNDLAG

Analysen fokuserer på virksomheder, der automatiserer på et tidspunkt i perioden 2005-18. Disse sammenlignes med virksomheder, der aldrig automatiserer. Udgangspunktet for analysen er de virksomheder med gyldige regnskabsoplysninger beskrevet i boks III.3 i afsnit III.4. Men der stilles to yderligere krav:

1. For virksomheder, der faktisk automatiserer, kræves det, at de observeres i mindst tre år inden og efter året med den første investering, altså i alt syv sammenhængende år. For virksomheder, der aldrig automatiserer, kræves det, at disse observeres i minimum syv sammenhængende år, da de dermed kan parres med en virksomhed, som automatiserer i midten af syvårsperioden.
2. For virksomheder, der automatiserer, kræves det, at de har mindst ti årsværk i året inden den første investering. For virksomheder, der aldrig automatiserer, kræves det, at de har mindst én observation med 10 årsværk, der har tre års tilgængeligt data både før og efter. Hvis en virksomhed har flere observationer, der lever op til dette, kan den indgå flere gange i analysen, jf. boks. III.3.

Disse kriterier giver et balanceret panel med 167 automatiserende virksomheder og 935 potentielle kontrolvirksomheder, der i alt har 3.338 sammenhængende forløb af syv års gyldige observationer.

Automatiserende virksomheder er større ...

De automatiserende fremstillingsvirksomheder er i udgangspunktet større målt på beskæftigelse, omsætning og værditilvækst end kontrolgruppen, jf. tabel III.3. Den gennemsnitlige automatiserende virksomhed har for eksempel ansat 56 årsværk året inden den første automatisering mod 32 årsværk i kontrolgruppen. Automatiserende virksomheder er også væsentligt større målt på omsætning og værditilvækst.

... og mere produktive end kontrolgruppen

De automatiserende virksomheder har desuden en markant højere timeproduktivitet i gennemsnit. Den gennemsnitlige værditilvækst i automatiserende virksomheder er 600.000 2010-kr. pr. beskæftiget mod 502.000 2010-kr. i kontrolgruppen. Det betyder, at den værditilvækst, der skabes pr. time, er ca. 20 pct. større i de virksomheder, der investerer i automatiserende maskiner. For at estimere effekten af automatisering er det nødvendigt at tage højde for disse eksisterende forskelle.

TABEL III.3 AUTOMATISERENDE VIRKSOMHEDER OG KONTROLGRUPPEN

Automatiserende virksomheder er større og mere produktive end kontrolgruppen, før den genvægtes.

	Automatiserende	Kontrolgruppe	
	virksomheder	uvægtet	vægtet
Beskæftigelse (årsværk)	56	32	56
Omsætning (1.000 2010-kr.)	110.983	50.104	112.701
Værditilvækst (1.000 2010-kr.)	32.476	17.048	31.568
- pr. beskæftiget (1.000 2010-kr.)	600	502	600
Lønkvote (pct.)	73	77	72
Produktionsarbejderes lønandel (pct.)	52	56	52
Antal begivenheder	167	3.338	3.338
Antal unikke virksomheder	167	935	935

Anm.: Tabellen angiver gennemsnittet af en række variable for hhv. automatiserende virksomheder og kontrolgruppen opgjort året inden automatisering. Alle monetære beløb er målt i 1000 kr. i faste 2010-priser. For kontrolgruppen opgøres både de uvægtede og vægtede gennemsnit, hvor vægtene er beskrevet i boks III.6.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata fra Danmarks Statistik.

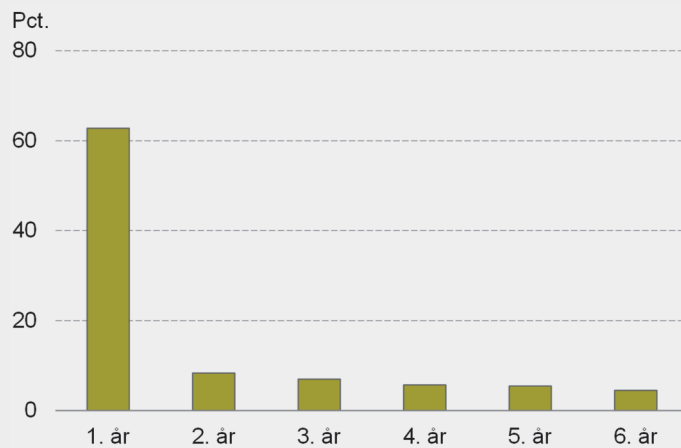
Metode

Fokus på diskret investeringsbeslutning

Analysen er et såkaldt *event study* og undersøger effekten af den diskrete beslutning om at automatisere, hvilket er en udbredt tilgang i litteraturen, jf. afsnit III.3. Selvom der kan være forskelle i investeringsomfanget, er dette fokus attraktivt, fordi virksomhedernes investeringer i automatiserende kapital er tidsmæssigt sammenklumpede. Når virksomhederne påbegynder automatisering, foretager de i gennemsnit mere end 60 pct. af den samlede investering allerede i det første år, jf. figur III.10. I årene efter foretages følgeinvesteringer, der øger det samlede investeringsomfang, men omfanget af følgeinvesteringerne er begrænset i forhold til den initiale investering. Det understreger, at beslutningen om at automatisere i høj grad er en diskret beslutning for de danske fremstillingsvirksomheder. En lignende konklusion finder Humlum (2022) for industrirobotter.

FIGUR III.10 INVESTERINGSFORLØB OMKRING AUTOMATISERING

Virksomheder, der automatiserer, foretager ca. 60 pct. af den samlede investering allerede i det første år.



Anm.: Figuren angiver den gennemsnitlige andel på tværs af virksomheder af den samlede import af automatiserende maskiner det første år, samt de følgende år efter at automatiseringen er påbegyndt.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata fra Danmarks Statistik.

Der bruges *matching* til at konstruere en kontrolgruppe, ...

Det er nødvendigt at kontrollere for eksisterende forskelle mellem virksomhederne for at isolere effekten af automatisering, da automatiserende og ikke-automatiserende virksomheder er forskellige i udgangspunktet, jf. tabel III.3. Konkret anvendes *entropy balancing*, der er en type *matching* og fungerer ved at finde en kontrolgruppe af virksomheder, som aldrig har automatiseret, men som ligner de automatiserende virksomheder, jf. boks III.6. Metoden indebærer, at nogle virksomheder vejer tungere end andre i kontrolgruppen. Hvis kontrolgruppen eksempelvis indeholder for mange små virksomheder relativt til gruppen af automatiserende virksomheder, vil en lille virksomhed i kontrolgruppen tælle mindre end en mellemstor og stor virksomhed.

... og efter *matching* ligner kontrolgruppen de automatiserende virksomheder

Kontrolgruppen genvægtes, så gennemsnit og spredning af en række variable svarer til gennemsnit og spredning for automatiserende virksomheder. Det gælder logaritmen til omsætning, værditilvækst, beskæftigelse, timeproduktivitet og lønkvote samt lønandelen for produktionsarbejdere. Der er ingen betydelige forskelle mellem de to grupper,

når de beregnede vægte anvendes, jf. tabel III.3. Tilgangen sikrer desuden, at den branchemæssige fordeling af virksomheder i kontrolgruppen ligner branchefordelingen i de automatiserende virksomheder indenfor hvert enkelt kalenderår. Disse resultater, samt resultaterne for spredningen, er ikke vist i tabellen, men kan findes i *Baggrundsnotat til kapitel III i Produktivitet, 2023*.¹³

BOKS III.6 ANALYSE AF EFFEKTEN AF AUTOMATISERING

I analysen antages det, at det er muligt at konstruere en relevant kontrolgruppe for de automatiserende virksomheder ved at kombinere alle virksomheder, der aldrig automatiserer. Antagelsen er, at de automatiserende virksomheder ville have udviklet sig som kontrolgruppen, hvis de ikke havde automatiseret.

En udfordring er, at der ikke findes et naturligt referencetidspunkt for virksomhederne, der aldrig automatiserer. Tag to virksomheder, der observeres i perioden 2010 til 2018. Den ene af dem automatiserer i 2015. Det giver et naturligt referencetidspunkt. Den anden automatiserer aldrig. Dermed er der intet naturligt referencetidspunkt. Løsningen er at sammenligne virksomhederne, der automatiserer i 2015, med alle virksomheder, der observeres i både 2014 og 2015, men som aldrig automatiserer. Det samme gøres i de øvrige år i perioden 2008-15. Dermed indgår de automatiserende virksomheder kun en gang i samplet, mens de ikke-automatiserende virksomheder kan indgå flere gange. I praksis kræves det, at virksomhederne observeres i tre år før og efter automatiseringsbegivenheden, så det er muligt at beregne effekter på længere sigt i en balanceret stikprøve. For en virksomhed, der aldrig automatiserer, betyder det, at den skal observeres i minimum syv sammenhængende år for at være med i kontrolgruppen. Hvis den derimod observeres i otte sammenhængende år, kan den anvendes som kontrol to gange, osv. Tag eksempelvis en virksomhed, der aldrig automatiserer, men som observeres i perioden 2010-18. Den vil indgå i kontrolgruppen tre gange med tre referencetidspunkter: 2013, 2014 og 2015. Derfor laves tre kopier af virksomheden med forskellige referencetidspunkter. I analysen antages det, at effekten af at automatisere i gennemsnit er den samme på tværs af brancher og over tid. Derfor samles alle virksomhederne i en beregning, hvor effekterne beregnes relativt til referenceåret, f.eks. 2015.

Analysen anvender en type matching kaldet *entropy balancing* til at kontrollere for observerbare forskelle, jf. Hainmueller (2012). Metoden går ud på at genvægte alle de ikke-automatiserende virksomheder, så gruppen ligner automatiserende virksomhederne på en række momenter, f.eks. gennemsnittet af logaritmen til omsætning.

13) I praksis vægtes så gennemsnittet og spredningen af *logaritmen* til variablene er ens. I tabellen vises imidlertid gennemsnit af niveauerne (uden logaritmer), og det fremgår, at forskellene er små. I baggrundsnotatet fremgår, at forskellene til logaritmen af variablene er endnu mindre.

BOKS III.6 ANALYSE AF EFFEKTEN AF AUTOMATISERING, FORTSAT

Metoden garanterer, at alle de valgte momenter balancerer i de to grupper. Metoden forsøger dog samtidigt at opnå denne balancering ved at sprede vægtene ud på så mange kontrolobservationer som muligt. På den måde anvendes mest muligt information, hvilket giver mest mulig præcision i den videre analyse.

Metoden består i at minimere en funktion, der straffer for at samle vægtene ved en enkelt observation under betingelse af, at hver de vægtede momenter i kontrolgruppen svarer til de tilsvarende momenter i gruppen af automatiserende virksomheder. Hvis $m_j(X)$ er et givet moment i gruppen af automatiserende virksomheder, der er beregnet som $\sum_{i \in \text{auto}} a_{ij}(X)/N$, hvor N er antallet af automatiserende virksomheder, så er $m_j^k(X)$ det tilsvarende vægtede moment i kontrolgruppen beregnet som $\sum_{i \in \text{kontrol}} w_i a_{ij}(X)/N$, hvor w_i er vægten.

Hvis momentet eksempelvis er gennemsnittet af omsætning, bliver $a_{ij}(X) = oms_i$. Hvis der derimod er tale om variansen af omsætning, bliver $a_{ij}(X) = (oms_i - \overline{oms})^2$, hvor \overline{oms} er (det vægtede) gennemsnit af omsætning. Det giver anledning til minimeringsproblemet:

$$\min_{\{w_i\}} w_i \log\left(\frac{w_i}{q_i}\right) \text{ s. t. } m_j^k(X) = m_j(X) \text{ for alle momenter } j$$

Der stilles desuden krav til, at alle vægte er positive, og at de summerer til antallet automatiserende virksomheder (N). q_i er en på forhånd valgt referencevægt, der sættes til 1. Kontrolvirksomheder, der indgår som kopier med flere referencetidspunkter, vægtes mindre, så kopierne samlet set indgår med vægt 1. Dermed straffer minimeringsproblemet løsninger, der lægger meget vægt på forskellige kopier af den samme kontrolvirksomhed, hvilket minimerer standardfejlene, da der i analysen clustres på virksomhedsniveau.

Valget af momenter er beskrevet i hovedteksten. Tabel III.3 og *Baggrundsnotat til kapitel III i Produktivitet, 2023* viser, at momenterne i kontrolgruppen og gruppen af automatiserende virksomheder er ens i referenceåret, når de beregnede kontrolvægte anvendes.

Med baggrund i de beregnede kontrolvægte (w_i), beregnes effekten af automatisering på logaritmen til en given variabel (y) p år efter automatisering som

$$\text{Effekt i år } p = \sum_{i \in \text{auto}} \frac{y_{i,p} - y_{i,-1}}{N} - \sum_{i \in \text{kontrol}} w_i \frac{y_{i,p} - y_{i,-1}}{N}$$

Den umiddelbare effekt i året for automatisering findes ved at sætte $p = 0$, men det er også muligt at beregne effekten i perioder, der ligger før kontroltidspunktet ($p = -1$), hvilket gør det muligt at vurdere, om der er forskelle i udviklingen mellem grupperne i årene før automatisering.

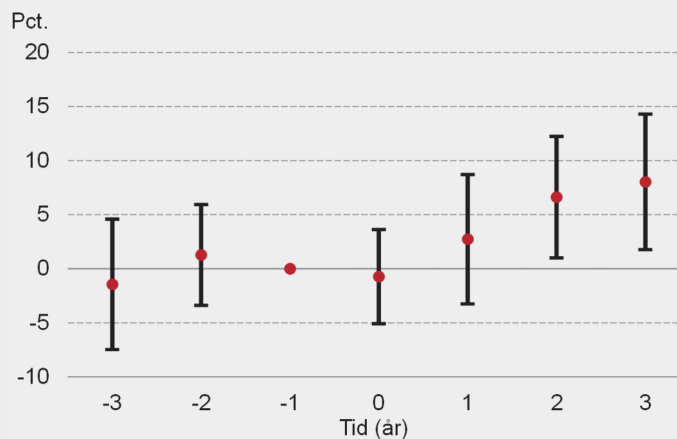
RESULTATER

Efter automatisering øger virksomhederne timeproduktiviteten med ca. 7 pct.

Når virksomhederne automatiserer, øges timeproduktiviteten i årene efter med ca. 7 pct. i forhold til et scenarie uden automatisering, jf. figur III.11. Tilpasningen sker gradvist, men stabiliseres omkring på ca. 5-10 pct. to år efter beslutningen om at automatisere. Den gradvise tilpasning kan eksempelvis skyldes, at der de første år efter automatiseringen sker træning af medarbejdere og omstrukturering af produktionsprocessen, som øger omkostningerne og forsinker produktionsstigningen. Den kan dog også skyldes, at der er følgeinvesteringer i årene efter den første investering, der dog må antages at være af begrænset betydning, jf. figur III.10.

FIGUR III.11 EFFEKT PÅ TIMEPRODUKTIVITET

Virksomheder, der automatiserer, øger timeproduktiviteten med ca. 7 pct. i forhold til en situation uden automatisering.



Anm.: Figuren viser de estimerede effekter på timeproduktiviteten af at automatisere målt i årene før og efter automatisering. De røde cirkler angiver effektestimater, mens pindene angiver den statistiske usikkerhed målt ved 95 pct. konfidensintervaller.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata fra Danmarks Statistik.

Ingen tegn på forskelle inden automatisering

Der er ingen tegn på, at virksomheder, som automatiserer, har større stigninger i timeproduktiviteten i årene inden automatisering, hvilket ses af, at estimaterne inden automatiseringen er tæt på nul, jf. figur III.11. Det bestyrker fortolkningen af, at de estimerede effekter faktisk

skyldes automatisering og ikke eksempelvis, at automatiserende virksomheder i forvejen var i vækst af andre årsager.

Lignende resultater i litteraturen

Resultatet stemmer overens med lignende studier fra andre lande, jf. afsnit III.3. Acemoglu mfl. (2020) finder stigninger i timeproduktiviteten på 4 pct. i Frankrig, og Acemoglu mfl. (2022) finder stigninger i timeproduktiviteten på 9 pct. i USA. Endelig finder Bonfiglioli mfl. (2020) en effekt på timeproduktiviteten på ca. 5 pct. Derfor er resultaterne fra indeværende analyse ikke overraskende, men bekræfter, at den positive produktivitetseffekt også gør sig gældende i Danmark. Desuden udbreder analysen resultatet til en bredere gruppe af automatiserende maskiner, der udgør en større andel af de samlede investeringer, jf. afsnit III.4.

Automatiserende virksomheder øger beskæftigelsen

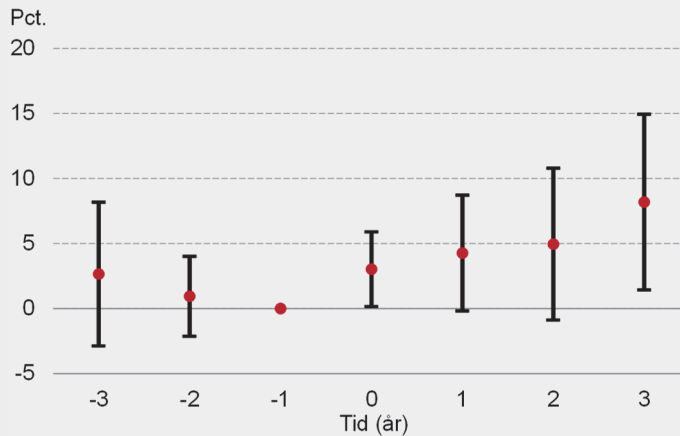
På trods af at virksomhederne investerer i automatiserende maskiner, er der ikke tegn på, at beskæftigelsen falder i årene efter den første investering, jf. figur III.12. Tværtimod stiger beskæftigelsen med mere end 5 pct. i virksomhederne, der automatiserer.

Effekten på beskæftigelsen på samfundsniveau er ukendt

De positive effekter på beskæftigelsen findes også i eksisterende undersøgelser af virksomheder i andre lande. Eksempelvis finder Acemoglu mfl. (2020), at beskæftigelsen stiger med 11 pct. i Frankrig efter automatisering. Estimerne af effekterne på virksomhedsniveau er dog svære at overføre til samfundsniveau på grund af sammensætningseffekter, der teoretisk set opstår som følge af *business stealing*, jf. afsnit III.2.

FIGUR III.12 EFFEKT PÅ BESKÆFTIGELSE

Beskæftigelsen stiger med mere end 5 pct. årene efter virksomheden automatiserer.



Anm.: Figuren viser effekterne på beskæftigelsen målt i årsværk af at automatisere målt i årene før og efter automatisering. De røde cirkler angiver effektestimater, mens pindene angiver konfidensintervaller på 95 pct.

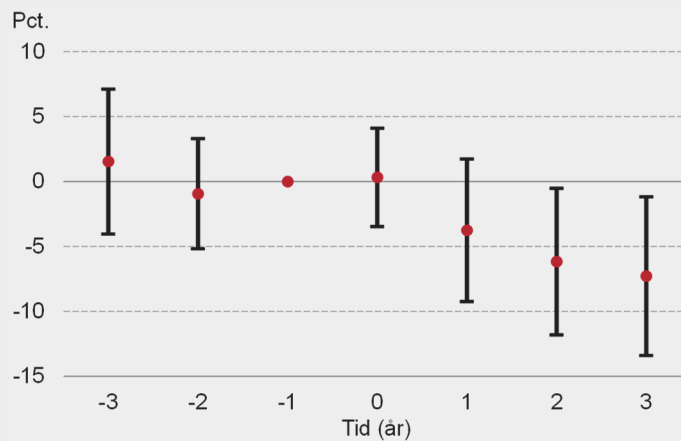
Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata fra Danmarks Statistik.

Lønkvoten mindskes med mere end 5 pct. efter automatisering

Efter virksomhederne automatiserer, sker der et fald i lønkvoten, og tre år efter er den faldet med ca. 7 pct. i forhold til en situation, hvor virksomhederne ikke havde automatiseret, jf. figur III.13. Omregnet til pct.point betyder det, at automatisering isoleret set bidrager med et fald i lønkvoten på ca. 5 pct.point i den gennemsnitlige virksomhed, hvor lønkvoten i året før automatisering er ca. 73 pct. Dermed kan automatisering have bidraget til at reducere lønkvoten generelt. Som i tilfældet med timeproduktiviteten, er der ingen tegn på effekter, der opstår før automatisering, hvilket styrker tilliden til, at effekterne skyldes automatisering.

FIGUR III.13 EFFEKT PÅ LØNKVOTEN

Lønkvoten mindskes på sigt med mere end 5 pct. i de automatiserende virksomheder i forhold til situationen, hvor de ikke havde automatiseret.



Anm.: Figuren viser effekterne på lønkvoten af at automatisere målt i årene før og efter automatisering. De røde cirkler angiver effektestimater, mens pindene angiver konfidensintervaller på 95 pct.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata fra Danmarks Statistik.

Effekter på lønkvote som i andre lande

De beregnede effekter på lønkvoten stemmer overens med estimater fra lignende studier i andre lande. Acemoglu mfl. (2020) finder et fald i lønkvoten på 4,3 pct.point i Frankrig, Acemoglu mfl. (2022) finder et fald i lønkvoten på 2,7 pct.point i USA, og endelig finder Koch mfl. (2021) et fald i lønkvoten på 5 pct.point i Spanien. Den beregnede effekt på lønkvoten er lidt større, end den effekt Humlum (2022) beregner i en strukturel model for Danmark. Humlum (2022) anvender dog en generel ligevægtsmodel, og det er muligt, at ligevægtseffekterne på den aggregerede lønkvote er anderledes.

Resultaterne stemmer overens med teorien om automatisering

Kombinationen af stigende timeproduktivitet og faldende lønkvote stemmer overens med den forventede effekt af automatisering, jf. afsnit III.2. Det må forventes, at timeproduktiviteten stiger, da automatiseringen kun foretages, hvis virksomheden finder det omkostningseffektivt. Samtidig betyder automatisering, at færre arbejdsopgaver nu løses af medarbejderne og flere af maskiner. Det mindsker andelen af værditilvæksten, som tilfalder arbejdskraften, og øger andelen, der tilfalder kapitalen.

Faldende lønkvote kan også skyldes stigende markupper

Udover egentlig automatisering af arbejdsopgaver kan lønkvoten også være faldet, fordi de automatiserende virksomheder har fået en konkurrencefordel gennem produktivitetstigninger og dermed øget markedsmagt. Hvis automatiserende virksomheder udnytter denne markedsmagt til at øge deres markupper, vil det i sig selv medføre, at lønkvoten falder, jf. *Produktivitet, 2022*. I det tilfælde vil selv en lille grad af automatisering give anledning til store fald i lønkvoten, uden at kapitalens aflønning stiger markant.

Stigende timeproduktivitet kan have flere årsager

Det er teoretisk muligt, at automatisering kan have store negative konsekvenser for beskæftigelsen, uden at den samlede produktion i virksomheden stiger nævneværdigt. Det sker, hvis de automatiserende maskiner kun er marginalt mere omkostningseffektive, end den arbejdskraft der erstattes, jf. Acemoglu og Restrepo (2022b). I det tilfælde vil timeproduktiviteten stige, men omkostningsbesparelsen og dermed den målte TFP-gevinst vil være lille, da virksomhedens omkostninger blot forskydes fra aflønning af ansatte til aflønning af kapital. Hvis der derimod opnås store omkostningsreduktioner pr. produceret enhed i forbindelse med automatiseringen, vil virksomheden kunne reducere sine priser mere end konkurrenterne og dermed vinde markedsandele. I det tilfælde modvirkes den direkte negative effekt på beskæftigelsen fra automatiseringen af arbejdsopgaver, fordi virksomheden øger produktionen og dermed beskæftigelsen generelt.

Analysen peger på lavere omkostninger og priser

I analysen stammer effekten på timeproduktiviteten fra, at værditilvæksten stiger mere end beskæftigelsen. Det ses ved, at automatisering faktisk øger beskæftigelsen. Det indikerer, at automatisering er forbundet med egentlige produktivetsgevinster, altså en sænkning af de samlede omkostninger, og ikke blot en flytning af omkostninger fra ansatte til kapital. Det ville nemlig ikke påvirke virksomhedens priser og dermed produktion, hvis de samlede omkostninger var upåvirkede. Når den samlede produktion og beskæftigelse stiger, indikerer det tværtimod, at virksomheden har sænket priserne og øget afsætningen, hvilket igen er tegn på, at de samlede omkostninger er faldet.

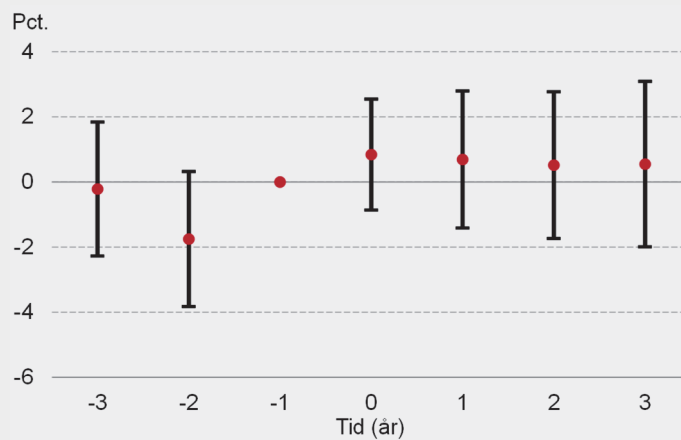
Ikke tegn på ændret beskæftigelses-sammensætning

Der er ingen umiddelbare indikationer af, at beskæftigelses-sammensætningen ændres i de automatiserende virksomheder, jf. figur III.14. Der er således ikke tegn på, at den andel af den samlede løn, der tilfalder produktionsarbejdere i forhold til andre beskæftigede, mindskes i årene efter automatisering. Humlum (2022) finder til gengæld effekter på beskæftigelses-sammensætningen af industrirobotter og beslægtede maskiner i Danmark ved en lignende analyse. Denne forskel kan skyldes, at der i nærværende analyse anvendes et bredere mål for automatisering, som omfatter flere forskellige slags maskiner. En anden

mulig forklaring er usikkerhed forbundet med medarbejdernes stillingsbetegnelser eller forskelle i den anvendte metode.

FIGUR III.14 LØNANDEL TIL PRODUKTIONSARBEJDERE

Der er ingen tegn på, at andelen af lønnen, der går til produktionsarbejdere, falder i årene efter automatisering.



Anm.: Figuren viser effekterne på produktionsarbejdernes andel af den samlede løn af at automatisere målt i årene før og efter automatisering. De røde cirkler angiver effektestimater, mens pindene angiver konfidensintervaller på 95 pct.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata fra Danmarks Statistik.

STØRRELSEN AF EFFEKTERNE AF AUTOMATISERING

Estimerede effekter som i litteraturen

I det foregående underafsnit blev effekterne af automatisering på en række variable beregnet. Effekterne på timeproduktivitet, beskæftigelse og lønkvoten er, som beskrevet, i overensstemmelse med den eksisterende litteratur, og i den forstand er effekterne ikke store relativt set.

Litteraturen sammenholder ikke investeringer og gevinster

Litteraturen diskuterer generelt set ikke effekternes størrelse relativt til de påkrævede investeringer. Det kan skyldes, at en del undersøgelser baserer sig på spørgeskemaer, der ikke indeholder information om investeringsomfang, men kun en indikator for, om virksomheden anvender robotter. I det følgende sammenlignes effekternes størrelse med de observerede investeringer.

Tre år efter automatisering opnås gevinst på 2,7 mio. kr., ...

Tre år efter automatisering kan de akkumulerede forøgelse i værditilvækst, som tilfalder ejerne i en gennemsnitlig virksomhed, opgøres til 2,7 mio. kr., jf. tabel III.4. Først beregnes effekten på værditilvækst i procent som summen af effekten på timeproduktiviteten og effekten på beskæftigelsen. Alternativt kan effekten på værditilvækst estimeres direkte, hvilket giver samme resultat, jf. *Baggrundsnotat til kapitel III i Produktivitet, 2023*. Herefter omregnes effekten i procent til et kronebeløb ved at tage udgangspunkt i en gennemsnitlig værditilvækst på 32 mio. kr. Det giver en stigning på 0,7 mio. kr. i automatiseringsåret og 5,2 mio. kr. tre år efter automatisering. For at finde den akkumulerede gevinst på et givent tidspunkt fraregnes den del af værditilvæksten, der tilfalder lønmodtagerne, altså lønkvoten. I automatiseringsåret giver det ejerne en gevinst på 0,2 mio. kr., og i det tredje år fås en gevinst på 1,1 mio. kr. Samlet set giver det en akkumuleret gevinst på 2,7 mio. kr. tre år efter automatisering.

... hvilket er ti gange større end den samlede investering

Virksomhedsejernes estimerede gevinster sammenlignes med den samlede akkumulerede investering i automatiserende kapital for den gennemsnitlige virksomhed, som efter tre år er på 255.000 kr. Dermed er gevinsten efter tre år ca. ti gange større end den rene investering, og allerede efter et år overstiger den samlede gevinst den samlede investering. Selv med udgifter til at finansiere investeringen og med diskontering af fremtidige indtægter, må dette betegnes som en stor effekt, også set i lyset af, at de automatiserende maskiner ikke er fuldt afskrevet efter tre år og kan forventes at give et afkast igennem en længere periode.

TABEL III.4 EFFEKTER AF AUTOMATISERING

Tre år efter automatisering er den samlede gevinst for virksomhedsejerne 2,7 mio. kr. af den gennemsnitlige virksomhed. De samlede investeringer er 255.000 kr.

	Gennemsnit	Efter 0 år	Efter 1 år	Efter 2 år	Efter 3 år
	----- Pct.point -----				
Lønkvote	72,7	0,2	-2,7	-4,5	-5,3
	----- 1.000 2010-kr. -----				
Værditilvækst	32.475,7	695,7	2.206,7	3.684,1	5.188,9
Akkumuleret gevinst		191,3	732,8	1.572,2	2.712,3
Akkumuleret investering		117,3	136,9	215,8	255,1

Anm.: Tabellen angiver ændringen i værditilvækst og lønkvoten for den gennemsnitlige virksomhed i 0 til 3 år efter automatisering. Desuden angives den gennemsnitlige akkumulerede investering og gevinst. Gevinsten er defineret som kapitalens andel af værditilvæksten ganget med ændringen i værditilvæksten. Alle monetære beløb er deflateret med forbrugerprisindekset og målt i 1000 kr. i 2010. Estimerne af effekterne på værditilvækst og de tilhørende standardfejl er ikke vist i de ovenstående figurer, men kan findes i *baggrundsnotat til kapitel III i Produktivitet, 2023*.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af registerdata fra Danmarks Statistik.

Der er flere mulige forklaringer på, at de målte investeringer er små relativt til effekterne.

Investeringer i automatiserende maskiner kan være undervurderet

For det første er investeringerne i automatisering formentlig undervurderede, da de alene er beregnet på baggrund af importen. Det er således muligt, at virksomhederne køber flere automatiserende maskiner gennem danske importører, og at de reelle investeringers størrelse dermed er større. Derudover kan der være omkostninger til installation og konsulentbistand, som ikke er inkluderet i købsprisen – en amerikansk undersøgelse konkluderer således, at købsprisen kun udgør omkring en tredjedel af de samlede investeringsudgifter, jf. Sirkin mfl. (2015).

Automatisering kan kræve komplementære investeringer

For det andet kan de automatiserende virksomheder have investeret i komplementære input, som skal være til stede for at få det fulde udbytte af automatisering. Det kan eksempelvis være andre maskiner, en bestemt ledelsesform, organisering, forskellige typer af software og kunstig intelligens eller medarbejdere med særlige kompetencer til at

Automatisering er ikke egnet til alle slags produktion

bruge maskinerne. Det kan betyde, at de reelle omkostninger ved automatisering er større end observeret.

For det tredje er der den mulighed, at der reelt er tale om et stort afkast af automatisering. Når de direkte investeringsudgifter i automatiserende maskiner ikke fylder mere i virksomhederne, kan det skyldes, at det kun er bestemte produktionsprocesser, som er egnet til automatisering. Det kan begrænse mulighederne for udbredelsen af automatisering både indenfor og mellem virksomheder. Denne tolkning underbygges af, at der er store forskelle på, hvor meget der investeres i automatisering i forskellige brancher, jf. afsnit III.4.

SAMMENFATNING

I afsnittet analyseres effekten af automatisering på produktivitet, beskæftigelse og lønkvote på virksomhedsniveau.

Produktiviteten øges og lønkvoten mindskes ved automatisering

Ved at fokusere på virksomheder, der påbegynder deres automatisering, er det muligt at afdække effekten af at automatisere på virksomhedens produktivitet, beskæftigelse og lønkvote. Analysen viser, at danske fremstillingsvirksomheder samtidigt øger deres produktivitet og beskæftigelse, men mindsker deres lønkvote, når de automatiserer. Disse resultater er både i overensstemmelse med resultater fra andre lande og teorien om automatisering.

Effekterne gælder for en bred gruppe automatiserende maskiner

I analysen anvendes et bredt mål for automatiserende maskiner, der ikke tidligere har været anvendt i studier af effekter på virksomhedsniveau. Det brede mål for automatiserende maskiner udgør en større andel af de samlede investeringer i maskiner end eksempelvis industrirobotter alene. Dermed udbreder analysen den eksisterende viden om effekterne af automatisering på virksomhedsniveau til en bredere gruppe kapital.

III.6

SAMMENFATNING

Automatiserende teknologier i fremvækst

En række nyere, internationale undersøgelser peger i retning af, at automatisering af produktionen har taget fart de senere årtier. Automatisering er, når teknologier, såsom robotter, computerstyrede maskiner og kunstig intelligens, erstatter menneskers arbejdsopgaver. I modsætning til andre teknologiske fremskridt er automatisering kendetegnet ved at erstatte arbejdsfunktioner, og derved kan det potentielt betyde lønfald for de berørte medarbejdergrupper, som mister arbejdsopgaver.

Kapitlet undersøger effekterne af automatisering

Kapitlet gennemgår resultater fra den internationale litteratur om konsekvenserne af automatisering og beskriver udviklingen i automatisering i fremstillingssektoren i Danmark. Endvidere er der udført en empirisk analyse af, hvad der sker med f.eks. produktivitet og beskæftigelse i de danske fremstillingsvirksomheder, som har automatiseret dele af produktionen.

Automatisering øger produktiviteten

Først i kapitlet gennemgås effekterne af automatisering med afsæt i økonomisk teori. Når maskinerne overtager arbejdsopgaver, øges timeproduktiviteten. Samtidig øges den såkaldte totalfaktorproduktivitet i den forstand, at den samme mængde produktion kan tilvejebringes med et mindre samlet ressourceforbrug til kapital og arbejdskraft. Det skyldes, at virksomhederne vælger at automatisere, fordi de vurderer, at maskinerne er billigere end den arbejdskraft, de erstatter. Derfor øger automatisering som udgangspunkt den samfundsøkonomiske effektivitet.

Men det kan også øge uligheden ...

Automatisering kan imidlertid også have konsekvenser for indkomstfordelingen, fordi en større del af omsætningen går til aflønning af kapital relativt til arbejdskraft. Dermed falder lønkvoten, hvilket kan øge uligheden, fordi kapitalejerne får mere indkomst relativt til lønmodtagerne. Automatisering kan også øge lønforskellene mellem forskellige grupper på arbejdsmarkedet. Da robotter og lignende maskiner har lettere ved at udføre rutinepræget arbejde, som typisk udføres af personer med kortere uddannelse, kan det i særlig grad være denne gruppe, som oplever en ufordelagtig lønudvikling. Under visse omstændigheder kan automatisering ligefrem sænke reallønnen for de grupper, som bliver erstattet af den nye teknologi. Her adskiller automatisering sig fra anden teknologisk vækst, som øger reallønnen.

... og forværre den offentlige saldo

Når en større del af indkomsten tilfalder kapitalejerne frem for lønmodtagerne kan det forværre den offentlige saldo, fordi kapitalindkomst i gennemsnit er lempeligere beskattet end lønindkomst.

Negative effekter kan blive modvirket, hvis der skabes nye arbejdsopgaver og gennem uddannelse

På sigt kan de negative konsekvenser af automatisering blive begrænset af, at der skabes nye arbejdsopgaver i økonomien, som ikke er automatiserbare. De nye opgaver vil øge behovet for arbejdskraft, hvilket vil modvirke tabet af arbejdsopgaver grundet automatisering. Konsekvenserne kan også blive begrænset af, at arbejdsstyrkens kompetencer ændres gennem uddannelse og efteruddannelse, så de i højere grad kan udføre opgaver, som er vanskelige for teknologien at erstatte.

Empiriske undersøgelser fokuserer på industrirobotter, ...

De fleste empiriske undersøgelser af automatisering beskæftiger sig med effekten af industrirobotter og lignende maskiner, der typisk anvendes i fremstillingssektoren. Det er muligt, at der kan være andre teknologier, såsom kunstig intelligens og anden software, der også kan overtage arbejdsopgaver indenfor fremstilling, men dette er der begrænset viden om i litteraturen.

... og resultaterne er i tråd med den teoretiske forventning

De empiriske undersøgelser finder typisk, at automatisering øger produktiviteten og mindsker lønkvoten både på virksomhedsniveau og samfundsniveau, hvilket er i overensstemmelse med den teoretiske forventning. De fleste studier undersøger effekten af at påbegynde automatisering, eksempelvis målt ved købet af den første robot. Derimod er der mindre viden om, hvordan intensiteten af automatisering, eksempelvis målt ved antallet af robotter, påvirker de enkelte virksomheder.

Effekt på beskæftigelse på samfundsniveau er usikker

Mens der typisk findes positive effekter af automatisering på antallet af ansatte i automatiserede virksomheder, er det ikke sikkert, at dette resulterer i øget beskæftigelse på branche- eller samfundsniveau. Effekterne kan være forskellige, fordi en forøgelse i beskæftigelsen i de automatiserende virksomheder kan ske på bekostning af fald i beskæftigelsen andre steder i økonomien. Den samlede effekt på beskæftigelsen er derfor usikker og vanskelig at afgøre rent empirisk.

Automatiserende maskiner er blevet mere udbredte, ...

I kapitlet opgøres investeringerne i robotter og andre automatiserende maskiner, såsom automatiske fræse-, skære- og svejsemaskiner i danske fremstillingsvirksomheder. Antallet af fremstillingsvirksomheder, som investerer i disse maskiner, er i vækst. Samtidig er der også sket en forøgelse i antallet af installerede industrirobotter.

... men der er ikke tale om en dramatisk udvikling

Der er imidlertid ikke tegn på, at de automatiserende maskiner i et betydeligt omfang har vundet indpas relativt til andre produktionsteknologier. Således udgør investeringer i de målte automatisende maskiner en nogenlunde konstant andel på knap 3 pct. af de samlede investeringer i

fremstillingssektoren i perioden 2008-19. En af forklaringerne på, at andelen ikke er i stigning, kan være, at maskiner i det hele taget fylder mindre i fremstillingssektoren. Således er der de seneste årtier sket en vækst i immaterielle investeringer, navnlig i software samt i forskning og udvikling, på bekostning af de materielle investeringer. Det kan afspejle en omstilling af fremstillingssektoren fra traditionel produktion til et øget fokus på forskning, design og andet kontorarbejde.

Analyse om effekter af automatiserende maskiner på virksomheder

I kapitlet er fortaget en analyse af effekterne af automatisering på produktiviteten, beskæftigelsen og lønkvoten i danske fremstillingsvirksomheder. I analysen ses på automatiserende investeringer for både robotter og computerstyrede maskiner, hvor de eksisterende udenlandske studier anvender et snævrere mål ved kun at se på robotter.

Produktivitet og antal ansatte stiger, lønkvoten falder

I analysen findes, at virksomhedernes timeproduktivitet øges med ca. 7 pct., efter at de begynder at investere i automatiserende teknologier. Samtidig øges antallet af ansatte og lønkvoten falder. Dermed er resultaterne i tråd med, hvad der findes i litteraturen fra andre lande.

Samfundsøkonomiske hensyn kan ikke begrunde støtte eller anden regulering af automatisering

Regulering af automatisering kan i princippet begrundes ud fra samfundsøkonomiske hensyn, hvis der er markedsfejl, som betyder, at den enkelte virksomhed ikke indregner den fulde gevinst eller omkostning for samfundet ved at investere. Der er ikke nogen oplagte principielle argumenter for, at automatisering indebærer gevinster for samfundet udover de enkelte virksomheders og dermed heller ingen begrundelse for at støtte automatisering. Under visse omstændigheder kan der imidlertid være samfundsøkonomiske omkostninger ved automatisering, som kan begrunde, at omfanget begrænses gennem regulering. Det kan eksempelvis skyldes fagforeninger eller andre forhold, som presser lønnen op og giver en u hensigtsmæssig stærk tilskyndelse til at automatisere og dermed et u hensigtsmæssigt stort fald i beskæftigelsen, som udgør et samfundsøkonomisk tab. Der er imidlertid ikke sikre tegn på, at automatisering forårsager et fald i beskæftigelsen, hverken i analysen i kapitlet eller i undersøgelser fra andre lande. Dermed er der hverken overbevisende samfundsøkonomiske argumenter for at øge eller begrænse omfanget af automatisering gennem subsidier, afgifter eller anden regulering.

LITTERATUR

Acemoglu, D. (2021): Harms of AI (No. w29247). National Bureau of Economic Research.

Acemoglu, D., G.W. Anderson, D.N. Beede, C. Buffington, E.E. Childress, E. Dinlersoz, L.S. Foster, N. Goldschlag, J.C. Haltiwanger, Z. Kroff, P. Restrepo og N. Zolas (2022): Automation and the workforce: A firm-level view from the 2019 Annual Business Survey (No. w30659). National Bureau of Economic Research.

Acemoglu, D., C. Lelarge og P. Restrepo (2020): Competing with robots: Firm-level evidence from France. *AEA Papers and Proceedings*, 110, s. 383-388.

Acemoglu, D. og P. Restrepo (2018a): The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment. *American Economic Review*, 108 (6), s. 1488-1542.

Acemoglu, D og P. Restrepo (2018b): Modeling automation. *AEA Papers and Proceedings*, 108, s. 48-53.

Acemoglu, D. og P. Restrepo (2020): Robots and jobs: Evidence from US labor markets. *Journal of Political Economy*, 128 (6), s. 2188-2244.

Acemoglu, D. og P. Restrepo (2022a): Demographics and Automation, *The Review of Economic Studies*, 89 (1), January 2022, s. 1-44.

Acemoglu, D. og P. Restrepo (2022b): Tasks, Automation, and the Rise in U.S. Wage Inequality. *Econometrica*, 90, s. 1973-2016.

Adachi, D., D. Kawaguchi og Y.P. Saito (2022): Robots and Employment: Evidence from Japan, 1978-2017. Arbejdsrapport. Udkommer i: *Journal of Labor Economics*.

Aghion, P., B.F. Jones og C.I. Jones (2018): Artificial intelligence and economic growth. *The economics of artificial intelligence: An agenda*. s. 237-282. University of Chicago Press.

Aghion, P., C. Antonin og S. Bunel (2019): Artificial intelligence, growth and employment: The role of policy. *Economie et Statistique*, 510 (1), s. 149-164.

Aghion, P., C. Antonin, S. Bunel og X. Jaravel (2020): What are the labor and product market effects of automation? New evidence from France. Arbejdspapir.

Aghion, P., C. Antonin, S. Bunel og X. Jaravel (2022): The Effects of Automation on Labor Demand. I Ing, L.Y. og G.M. Grossman (red.): *Robots and AI: A New Economic Era*. Routledge-ERIA Studies in Development Economics.

Agrawal, A., J.S. Gans og A. Goldfarb (2019): Artificial intelligence: the ambiguous labor market impact of automating prediction. *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2), s. 31-50.

Allen, R.C. (2009): Engels' pause: Technical change, capital accumulation, and inequality in the british industrial revolution. *Explorations in Economic History*, 46 (4), s. 418-435.

Autor, D. og A. Salomons (2018): Is Automation Labor-Displacing? Productivity Growth, Employment, and the Labor Share. *Brookings Papers on Economic Activity*, 49 (1), s. 1-87.

Autor, D., F. Levy og R. Murnane (2003): The skill content of recent technological change: An empirical exploration. *The Quarterly Journal of Economics*, 118 (4), s. 1279-1333.

Aw, B.Y., M.J. Roberts og D.Y. Xu (2011): R&D investment, exporting, and productivity dynamics. *American Economic Review*, 101 (4), s. 1312-1344.

Baumol, W.J. og W.G. Bowen (1965): On the performing arts: The anatomy of their economic problems. *American Economic Review*, 55 (1/2), s. 495-502.

Baumol, W.J. (1967): Macroeconomics of unbalanced growth: The anatomy of urban crisis. *American Economic Review*, 57 (3), s. 415-426.

Benmelech, E. og M. Zator (2022): Robots and Firm Investment (No. w29676). National Bureau of Economic Research.

Beraja, M. og N. Zorzi (2022): Inefficient automation (No. w30154). National Bureau of Economic Research.

Bessen, J., M. Goos, A. Salomons og W. Van den Berge (2020): Firm-level automation: Evidence from the Netherlands. *AEA Papers and Proceedings*, 110, s. 389-93.

Bessen, J., M. Goos, A. Salomons og W. Van den Berge (2023): What Happens to Workers at Firms that Automate? Arbejdsrapport. Udkommer i: *The Review of Economics and Statistics*.

Brynjolfsson, E., og A. McAfee (2014): *The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. New York, W.W. Norton & Company.

Bonfiglioli, A., R. Crinò, H. Fadinger og G. Gancia (2020): Robot imports and firm-level outcomes. CEPR Discussion Paper, 14593.

Bøler, E.A., A. Moxnes og K.H. Ulltveit-Moe (2015): R&D, international sourcing, and the joint impact on firm performance. *American Economic Review*, 105 (12), s. 3704-3739.

Caprettini, B. og H. Voth (2020): Rage against the machines: Labor-saving technology and unrest in industrializing England. *American Economic Review: Insights*, 2 (3) s. 305-320.

Cheng, H., R. Jia, D. Li og H. Li (2019): The rise of robots in China. *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2), s. 71-88.

Chiacchio, F., G. Petropoulos og D. Pichler (2018): The impact of industrial robots on EU employment and wages: A local labour market approach (No. 2018/02). Bruegel working paper.

Costinot, A. og I. Werning (2022): Robots, trade, and Luddism: A sufficient statistic approach to optimal technology regulation. *The Review of Economic Studies*.

Dansk Metal (2022): Industrien i sløj udvikling - Danmark investerer mere i robotter.

Dauth, W., S. Findeisen, J. Suedekum og N. Woessner (2021): The adjustment of labor markets to robots. *Journal of the European Economic Association*, 19 (6), s. 3104-3153.

Dekle, R. (2020). Robots and industrial labor: Evidence from Japan. *Journal of the Japanese and International Economies*, 58, 101108.

De Loecker, J. og F. Warzynski (2012): Markups and firm-level export status, *American Economic Review*, 102(6), s. 2437-71.
De Økonomiske Råds Formandskab (2022): *Produktivitet, 2022*.

DIRA (2021). Dansk Robot Netværks (DIRA) vidensbank – Statistik fra 2021.

Dixon, J., B. Hong og L. Wu (2021): The robot revolution: Managerial and employment consequences for firms. *Management Science*, 67 (9), s. 5586-5605.

Domini, G., M. Grazzi, D. Moschella og T. Treibich (2021): Threats and opportunities in the digital era: automation spikes and employment dynamics. *Research Policy*, 50 (7), 104137.

Eggleston, K., Y.S. Lee og T. Iizuka (2021): Robots and labor in the service sector: Evidence from nursing homes (No. w28322). National Bureau of Economic Research.

Erhvervsministeriet (2021): Robotter, automatisering og kompetencer.

Faia, E., G. Ottaviano og S. Spinella (2022): Robot Adoption, Worker-Firm Sorting and Wage Inequality: Evidence from Administrative Panel Data. CEPR Discussion Paper No. 17451.

Genz, S., T. Gregory, M. Janser, F. Lehmer og B. Matthes (2021): How Do Workers Adjust When Firms Adopt New Technologies? Arbejdsrapport, IZA DP No. 14626.

Goos, M., A. Manning og A. Salomons (2014): Explaining job polarization: Routine-biased technological change and offshoring. *American Economic Review*, 104 (8), s. 2509-2526.

Gordon, R.J. (2018): Declining American economic growth despite ongoing innovation, *Explorations in Economic History*, 69 (C), s. 1-12.

Graetz, G. og G. Michaels (2018): Robots at work. *Review of Economics and Statistics*, 100 (5), s. 753-768.

Grossman, G. og E. Oberfield (2022): The elusive explanation for the declining labor share, *Annual Review of Economics*, 14, s. 93-124.

Guerreiro, J., S. Rebelo, og P. Teles (2022): Should robots be taxed? *The Review of Economic Studies*, 89 (1), s. 279-311.

Hainmueller, J. (2012): Entropy Balancing for Causal Effects: A Multivariate Reweighting Method to Produce Balanced Samples in Observational Studies, *Political Analysis*, 20 (1), s. 25-46.

Hémous, D. og M. Olsen (2022): The rise of the machines: Automation, horizontal innovation, and income inequality, *American Economic Journal: Macroeconomics*, 14 (1) s. 179-223.

Hobsbawm, E.J. (1952). The Machine Breakers. *Past & Present*, 1, 57–70

Humlum, A. (2022). Robot Adoption and Labor Market Dynamics. The ROCKWOOL Foundation Research Unit, Study Paper No. 175.

Ing, L.Y. og R. Zhang (2022): Automation in Indonesia: Productivity, Quality, and Employment. I Ing, L.Y. og G.M. Grossman (red.): *Robots and AI: A New Economic Era*. Routledge-ERIA Studies in Development Economics.

International Federation of Robotics (2022): Executive Summary World Robotics 2022 – Industrial Robots.

Jørgensen, P.P. (2020): Automation, Productivity and Markups – Evidence from Danish Manufacturing Firms. *Speciale*.

Katz, L.F. og K.M. Murphy (1992): Changes in relative wages, 1963–1987: supply and demand factors. *The Quarterly Journal of Economics*, 107 (1), s. 35-78.

Koch, M., I. Manuylov og M. Smolka (2021): Robots and firms. *The Economic Journal*, 131 (638), s. 2553-2584.

Kromann, L., N. Malchow-Møller, J.R. Skaksen og A. Sørensen (2020): Automation and productivity – a cross-country, cross-industry comparison. *Industrial and Corporate Change*, 29 (2), 265-287.

Krueger, A.B. (1993): How computers have changed the wage structure: evidence from microdata, 1984–1989. *The Quarterly Journal of Economics*, 108 (1), s. 33-60.

Mohnen, P. og B.H. Hall (2013): Innovation and productivity: An update. *Eurasian Business Review*, 3 (1), s. 47-65.

Prettner, K. og H. Strulik (2020): Innovation, automation, and inequality: Policy challenges in the race against the machine, *Journal of Monetary Economics*, 116 (C), s. 249-265.

Raj, M. og R. Seamans (2018): Artificial intelligence, labor, productivity, and the need for firm-level data. I Agrawal, A., J.S. Gans og A. Goldfarb (red.): *The economics of artificial intelligence: An agenda*. University of Chicago Press.

Sirkin, H.L., M. Zinser og J.R. Rose (2015): *The Robotics Revolution – The Next Great Leap in Manufacturing*. The Boston Consulting Group.

Tilley, J. (2017): *Automation, robotics, and the factory of the future*. McKinsey Insights.

