

Udbredelsen af 3D print og Additive Manufacturing i dansk industri

Resultaterne fra den danske screening
– 2021

Kristina Vaarst Andersen
Nanna Meilbak
Ian Stampe
Mette Præst Knudsen

Syddansk Universitet, februar 2022

Forord

Dansk AM Hub kortlægger hver år udbredelsen af 3D print / additive manufacturing (AM) i Danmark. En væsentlig del af kortlægningen for 2021 er resultaterne af Syddansk Universitets nationale screening og spørgeskemaundersøgelse af danske fremstillingsvirksomheders brug af AM. Det er den tredje screening, som er foretaget af Dansk AM Hub og Syddansk Universitet. Den første blev offentliggjort i januar 2019.

Siden da har nye teknologier – som f.eks. additive manufacturing – åbnet mange nye muligheder for produktionsvirksomheder, hvor det kan føre til øget vækst, værdiskabelse og innovation. Det kræver høj grad af omstillingsparathed, evnen til at lade sig inspirere, tænke nyt og anderledes samt en konstant stræben efter at tilegne ny viden for at kunne udnytte mulighederne. Netop derfor ser jeg med stor positivisme og glæde tilbage på de seneste tre kortlægninger, der tydeligt viser, at AM bliver mere og mere udbredt i den danske industri. For det er nødvendigt at tage ny teknologi til sig i en tid, hvor Danmark – og verden – udfordres af Coronakrisen, og hvor klimadagsordenen stiller større og nye krav til producenter.

Dette års kortlægning viser tydeligt, at der er en endnu stærkere stigende interesse for og brug af AM-teknologien i Danmark, og at flere virksomheder allerede har oplevet potentialet i form af en produktion med mindre spild, mindre materiale, mindre transport og mindre CO₂-udledning.

Ud over denne screening har vi i Dansk AM Rapport netop fokus på mulighederne i produktion med AM-teknologien i forhold til tid, økonomi, design og bæredygtighed - men også de barrierer og udfordringer, som produktionsvirksomheder kan opleve, når de går i gang. Og endelig kommer vi med flere eksempler og historier fra virksomhederne, som har taget teknologien til sig og fuldt udnytter dens potentiale.

Læs mere i Dansk AM Rapport 2022, som kan downloades på www.am-hub.dk.

God læselyst!

Frank Rosengreen Lorenzen
CEO, Dansk AM Hub

Indhold

FORORD	2
INDHOLD	3
OVERSIGT OVER TABELLER OG FIGURER	5
1 RAPPORTENS HOVEDKONKLUSIONER	7
2 TRENDS OG ANBEFALINGER TIL UDBREDELSE AF AM-TEKNOLOGI I DANMARK	9
3 INTRODUKTION	11
3.1 Baggrund for rapporten og den bagvedliggende undersøgelse	11
3.2 Udbredelse af AM-teknologi	11
3.3 Begrebsafklaring	12
4 UDBREDELSE AF AM-TEKNOLOGI	14
4.1 Udbredelsen af AM	14
4.2 Udvikling i udbredelse af AM fra 2018 til 2021	14
4.3 Virksomhedernes størrelse og teknologiintensitet	16
4.4 Virksomhedernes størrelse og teknologiintensitet fra 2018 til 2021	17
4.5 Anvendelse af forskellige typer AM-teknologier	17
4.6 Anvendelsesdomæne	18
4.7 Opsummering	19
5 MOTIVATION FOR ANVENDELSE AF AM-TEKNOLOGI	21
5.1 Bæredygtighed som motivationsfaktor	24
5.2 Ændringer over tid i virksomhedernes motivation for anvendelse af AM	25
5.3 Opsummering	26
6 EFFEKTER AF ANVENDELSE AF AM-TEKNOLOGI	27

6.1	Sammenligning af motivationsfaktorer og effekter	30
6.2	Opsummering	31
7	BARRIERER FOR ANVENDELSE AF AM-TEKNOLOGI	32
7.1	Barrierer oplevet af virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi	32
7.2	Barrierer for virksomheder, der allerede anvender teknologien	33
7.3	Ingen udvikling i virksomhedernes barrierer for anvendelse af AM-teknologi	35
7.4	Opsummering	35
8	AM-KOMPETENCER	36
9	AM-TEKNOLOGI OG BÆREDYGTIG PRODUKTION	40
9.1.	Sammenhænge mellem AM-teknologi og bæredygtighed	41
10	INDUSTRI 4.0 OG FREMTIDEN	44
10.1	AM-teknologiens indflydelse på forretningsmodellen	45
10.2	Fremtidig investering i AM-teknologi	45
10.3	AM-teknologi, produktinnovation og procesinnovation	46
10.4	Opsummering	47
11	METODE	48
11.1	Spørgeskema 2021	48
11.2	Beskrivelse af datagrundlaget og dets repræsentativitet	49
11.3	Udvælgelse af cases i undersøgelsen	50
11.4	Datagrundlag for udvikling over tid i virksomhedernes anvendelse af teknologien	53

Oversigt over tabeller og figurer

Tabeller

- Tabel 4.1: Virksomhedens størrelse og anvendelse af AM-teknologi
Tabel 4.2: Virksomhedens teknologiintensitet og anvendelse af AM-teknologi
Tabel 4.3: Udvikling i antal anvendelsesdomæner 2018, 2019 og 2021
- Tabel 7.1: Antal virksomheder, der angiver barriere som væsentlige begrænsninger for udbredelse af AM-teknologi til domænet produktudvikling
Tabel 7.2: Antal virksomheder, der angiver barriere som væsentlige begrænsninger for udbredelse af AM-teknologi til domænet produktion
Tabel 7.3: Antal virksomheder, der angiver barriere som væsentlige begrænsninger for udbredelse af AM-teknologi til domænet produktionsstøtte
- Tabel 8.1: AM printkompetencer og ejerskab over teknologien
Tabel 8.2: Anvendelsesdomæner for AM-teknologi
- Tabel 9.1: Fokus på reduktion af energi- og materialeforbrug
Tabel 9.2: Fokus på bæredygtige produkter og cirkulær økonomi
- Tabel 10.1: Effekter på virksomhedens forretningstilgang
Tabel 10.2: Virksomhedernes forventet fremtidig investering i AM-teknologi
Tabel 10.3: Udvikling af nye produkter
Tabel 10.4: Udvikling af nye processer
- Tabel 11.1: Fordeling af de deltagende produktionssteder efter størrelse

Figurer

- Figur 3.1: De fire industrielle revolutioner
- Figur 4.1: Udbredelsen af AM-teknologi blandt de deltagende virksomheder
Figur 4.2: Anvendte teknologityper
Figur 4.3: Anvendelsesdomæner for AM-teknologi
- Figur 5.1: Betydningen af muligheder for udvikling af produkter og komponenter som motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi
Figur 5.2: Betydningen af muligheder for øget hastighed i udvikling og produktion som motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi
Figur 5.3: Betydningen af muligheder for reduktion af omkostninger som motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi
Figur 5.4: Betydningen af muligheder for simplificering af produktionsproces og anvendelse som motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi
Figur 5.5: Betydningen af muligheder for mere bæredygtig produktion som motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi
- Figur 6.1: Effekter af anvendelse af AM - udvikling af produkter og komponenter

- Figur 6.2: Effekter af anvendelse af AM - hastighed i udvikling og produktion
- Figur 6.3: Omkostningsrelaterede effekter af anvendelse af AM-teknologi
- Figur 6.4: Effekter af anvendelse af AM - simple produkter og komponenter
- Figur 6.5: Effekter af anvendelse af AM - bæredygtig produktion
- Figur 6.6: Sammenligning af motivation for og effekt af anvendelse af AM-teknologi

Figur 7.1: Barrierer for anvendelse af AM-teknologi

Figur 8.1: Mulige kombinationer af anvendelsesdomæner for AM-teknologi

Figur 8.2: Model for virksomhedernes AM-kompetence sat i forhold til anvendelsesdomæner og udnyttelsesgrad af teknologien

Figur 9.1: Fokusområder i relation til grøn omstilling og bæredygtighed

Figur 10.1: De fire industrielle revolutioner

Figur 10.2: Investeringer i AM-teknologi i 2021

Figur 11.1: Geografisk fordeling af de deltagende produktionssteder

Figur 11.2: Fordeling af de deltagende produktionssteder efter teknologiintensitet

Bokse

Boks 4.1: Definition af anvendelsesdomæner for AM-teknologi

Boks 11.1: Kontakt til virksomheder og opfølgning i forbindelse med spørgeskemaundersøgelsen

Boks 11.2: Kriterier for udvælgelse af case-virksomheder til undersøgelsen

Boks 11.3: Case-virksomheder i undersøgelsen

1 Rapportens hovedkonklusioner

I denne rapport præsenteres en kortlægning af udbredelsen af AM-teknologi blandt danske produktionsvirksomheder i 2021. Rapporten er udarbejdet af Center for Integrerende Innovationsledelse ved Syddansk Universitet for Dansk AM Hub. Rapporten er baseret på en spørgeskemaundersøgelse af danske produktionsvirksomheders anvendelse af AM-teknologi samt interview med otte virksomheder om deres anvendelse af teknologien.

Udbredelse af AM-teknologi

Ca. en tredjedel af de deltagende virksomheder anvender AM-teknologi, heraf ejer eller leaser næsten 80 % af virksomhederne teknologien, så de har den stående fysisk i virksomheden. Sammenlignet med tidligere undersøgelser af danske virksomheders anvendelse af AM-teknologi i 2018 og 2019, er der en stigende tendens til at virksomheder, der anvender teknologien, har den internt i virksomheden. Over halvdelen af virksomhederne med 100 eller flere ansatte anvender AM-teknologi. Blandt high tech virksomheder er der en højere andel, der anvender teknologien end blandt de øvrige virksomheder. Ingen af virksomhederne i undersøgelsen anvender AM alene til produktion. De virksomheder, der anvender teknologien til produktion, anvender den også til enten udvikling eller produktionsstøtte fx fremstilling af hjælpeværktøjer. ***Over en tredjedel af de virksomheder, der anvender AM, anvender den til både udvikling, produktionsstøtte og produktion.*** 85 % af de virksomheder, der anvender AM, anvender blandt andet teknologien til produktudvikling. Sammenlignet med tidligere undersøgelser af danske virksomheders anvendelse af AM i 2018 og 2019, er det en stigende tendens til, at teknologien anvendes i produktudvikling.

Virksomhedernes motivation for anvendelse af AM-teknologi

Virksomhedernes anvendelse af AM er motiveret af en forventning om mulig omkostningsreduktion, udvikling af nye produkter, og øget hastighed i afprøvning og udvikling af nye produkter og komponenter. Derimod har simplificering af produkter og bæredygtighed lille eller ingen betydning for virksomhedernes motivation til at anvende teknologien.

Effekter af anvendelse af AM-teknologi

Virksomhederne oplever de største effekter af at anvende AM-teknologi i deres udviklingsarbejde. AM-teknologi har særligt en positiv effekt på udvikling af nye produkter og udvikling af smartere og bedre komponenter. Desuden øger AM-teknologi hastigheden i udviklingsarbejdet såvel som i produktionen. Virksomhederne oplever til gengæld ikke, at AM-teknologi reducerer deres omkostninger, eller at teknologien muliggør simplificering af produkter, komponenter eller processer. Virksomhederne vurderer heller ikke at AM-teknologi øger muligheden for bæredygtig produktion.

Barrierer for anvendelse af AM-teknologi

Af de virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi, begrunder 70% deres fravalg af teknologien med at ***de ikke finder den relevant i forhold til deres forretningsområde.*** I 2018 og 2019 var det ca. samme andel af de virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi, der angav, at deres fravalg skyldtes teknologiens manglende relevans. Det indikerer, at der fortsat er behov for fokus på at udbrede kendskabet til AM-teknologiens muligheder.

AM-kompetencer

Nogle virksomheder anvender AM-teknologi på et domæne, enten udvikling, i produktionen eller som produktionsstøtte, mens andre anvender teknologien på flere domæner. De virksomheder, der alene

anvender AM på ét domæne, anvender teknologien til produktudvikling. Virksomheder, der ejer eller leaser AM printudstyr, har den højeste udnyttelsesgrad, når de anvender teknologien indenfor alle tre domæner. De virksomheder, der både ejer/leaser AM printudstyr og køber AM serviceydelser af underleverandører, udnytter teknologiens muligheder mest, når de anvender den til produktudvikling.

AM-teknologi i relation til Industri 4.0 og fremtiden

De virksomheder, der anvender AM-teknologi, forventer at opretholde deres engagement, og mange af virksomhederne vurderer da også, at AM har indflydelse på deres forretningsmodel. De har et stærkere fokus på bæredygtighed, end virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi, og de er mere innovationsaktive.

Konklusioner

Denne rapport's formål er at afdække udbredelsen af AM-teknologi blandt danske produktionsvirksomheder, identificere udviklingstendenser gennem sammenligning med tidligere kortlægninger og koble virksomheders anvendelse af AM-teknologi med bæredygtig produktion og Industri 4.0 generelt.

Der har siden 2018 været en stigende tendens til at danske virksomheder anvender AM-teknologi. Stigningen er hovedsageligt drevet af store virksomheder og medium/hightech virksomheder. AM-teknologi er først og fremmest et udviklingsværktøj for danske produktionsvirksomheder. Virksomhederne ser ofte først teknologiens potentiale i forbindelse med udvikling, men der er en stigende tendens til at virksomheder breder deres anvendelse af AM-teknologi ud til produktion og produktionsstøtte. Flere casevirksomheder i undersøgelsen beskriver denne gradvise indarbejdelse af AM-teknologi i flere og flere af deres aktiviteter. Det er også, når virksomhederne anvender teknologien bredt, at de oplever de største effekter.

Hastighed i udvikling og produktion er både den primære motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi, og den mest udbredte effekt. Det kvalitative materiale tyder på, at virksomhederne er inde i en udvikling, hvor de løbende udvikler deres kompetencer og fortsat afprøver hvordan AM bedst kan skærpe deres forretningsmodel. Det gælder selv de virksomheder, der har en sofistikeret anvendelse af AM-teknologi.

Virksomheder, der anvender AM-teknologi, står stærkt i forhold til de kommende års udbredelse af Industri 4.0. De har højere innovationsaktivitet, og de arbejder i højere grad med bæredygtige produktionsformer.

2 Trends og anbefalinger til udbredelse af AM-teknologi i Danmark

Nærværende rapport er den tredje i rækken og giver anledning til refleksion over fremdriften i anvendelsen af AM-teknologi i dansk industri. Dette afsnit opsamler de tydeligste udviklingstrends på tværs af rapportens kapitler og formulerer en række anbefalinger.

Anbefaling 1: Gradvis udbredelse af AM-teknologi internt i virksomhederne

De fleste virksomheder fokuserer deres arbejde med AM-teknologi i deres udvikling baseret på de lettest tilgængelige teknologier (fx FDM). Potentialet for at anvende simple teknologier i udviklingsarbejdet er den primære motivation og det område, hvor virksomhederne oplever størst effekter. Der derfor stor forskel på det store potentiale, som teknologien tilskrives og virksomhedernes reelle anvendelse – når vi ser bort fra produktudvikling og de simple teknologier.

Rapportens 1. anbefaling er derfor at sætte endnu mere **fokus på at udbrede kendskabet til flere printformer** til de virksomheder, der allerede er godt i gang med at anvende AM-teknologi, og på at **understøtte virksomhederne i at udbrede deres anvendelse af teknologien til flere domæner**.

Anbefaling 2: Use cases kan afdække AM-teknologiens relevans og potentiale

På trods af den stigende udbredelse af AM-teknologi fra 2018 til 2021 er det fortsat kun knap en tredjedel af virksomhederne, der anvender teknologien. Hovedårsagen er, at de resterende virksomheder ikke mener, at teknologien har relevans for deres forretningsområde. Dette kunne potentielt bero på, at mange virksomheder ikke har den fornødne indsigt, kompetencer og kendskab til at kunne se potentialet i AM-teknologi.

Det er derfor rapportens 2. anbefaling, at der opbygges en langt mere fokuseret indsats for at **øge vidensniveauet hos virksomheder, der ikke før har været i kontakt med teknologien – eller kun har overfladisk kendskab til den**. Et væsentligt argument for anvendelse kan være hastighed, som generelt har stor eller afgørende betydning for de fleste virksomheder. Især har virksomhederne vægtet hurtigere færdiggørelse af prototyper højt. Et centralt værktøj kan være udvikling af use cases, der illustrerer relevans og potentiale af AM-teknologi for en række virksomhedstyper.

Anbefaling 3: Opbygning af viden gennem eksperimenter

De virksomheder, der arbejder indgående med flere typer AM-teknologi på flere domæner udviser stor interesse i at eksperimentere med teknologien. Ved at afprøve forskellige anvendelsesmuligheder for AM-teknologi, finder virksomhederne frem til de teknologier, der har størst potentiale i de konkrete anvendelsesområder. Samtidig viser rapporten, at der er en sammenhæng mellem virksomhedens innovative kompetencer, innovationsevne og anvendelse af AM-teknologi.

Rapportens 3. anbefaling er, at **eksperimenter med udbredelse af teknologien understøttes for at opnå tilstrækkelig indsigt til at fremme og øge anvendelsen af AM-teknologi og dermed at udløse teknologiens og virksomhedens innovative potentiale**. Dette kræver ikke specialiseret viden om teknologien, men snarere viden om hvordan man kan opbygge specifikke eksperimenter i den enkelte

virksomhed, og hvordan den opnåede viden kan spredes til andre dele af virksomheden. Dette vil yderligere kræve større fokus på tværfaglige teams, der involverer produktudvikling, produktion, og forretningsiden.

Anbefaling 4: Bæredygtighed

Bæredygtig produktion er et emne, der står højt på den politiske dagsorden og har potentiale til at begrænse virksomheders tilgang til ressourcer og åbne en lang række nye forretningsmuligheder. Dette års rapport har derfor sat særligt fokus på bæredygtighed.

Omkring 20% af virksomhederne har oplevet, at AM har haft stor eller afgørende effekt på deres mulighed for at producere mere bæredygtigt gennem reduktion af materialespild, og 20% har oplevet nogen effekt i forhold til deres mulighed for at producere mere bæredygtige produkter, der er lettere at genanvende. Samtidig fandt rapporten at 10-15% af virksomhederne uventet fik mere positive effekter af at anvende AM-teknologi end de havde forventet. Disse effekter var ikke forbundet med virksomhedernes initiale motiver og kan derfor ses som afledte og uventede effekter. Et større potentiale kan derfor hentes, såfremt det kan identificeres bedre, hvilke særlige bæredygtighedsrelaterede effekter, virksomhederne kan forvente når de anvender de forskellige printtyper.

Det er rapportens 4. anbefaling, at der **opbygges viden om hvordan specifikke teknologier og anvendelser af AM påvirker virksomhedernes muligheder for bæredygtig produktion.**

3 Introduktion

AM er en del af den omfattende forandring af produktionen, der populært kaldes den fjerde industrielle revolution eller Industri 4.0. Industri 4.0 er en betegnelse for den integration af digital information og fysisk produktion, der i stigende grad vokser frem i industrien i disse år. Fokus er på at søge gensidig koordinering mellem mennesker og maskiner så der kan udvikles og produceres på nye måder. AM-teknologi kan åbne nye muligheder for udvikling og produktion for mange virksomheder og dermed understøtte deres fokus på Industri 4.0.

Denne rapport afdækker udbredelsen af AM blandt danske produktionsvirksomheder i 2021. Rapporten er udarbejdet af Center for Integrerende Innovationsledelse ved Syddansk Universitet for Dansk AM Hub, og er en kortlægning af udbredelsen og virksomhedernes anvendelse af denne digitale teknologi. Udbredelsen af AM blandt danske produktionsvirksomheder blev også afdækket i 2018 og 2019, og denne rapport er dermed den tredje i rækken, hvilket giver mulighed for at se på udviklingstendenser i anvendelsen af og overvejelser omkring AM. Derudover indeholder rapporten i år også et afsnit, der afdækker virksomhedernes kobling mellem AM og bæredygtighed i produktionen.

3.1 Baggrund for rapporten og den bagvedliggende undersøgelse

Rapporten er baseret på en spørgeskemaundersøgelse af danske virksomheders anvendelse af AM-teknologi og otte cases baseret på interview med virksomheder, der anvender AM-teknologi. Undersøgelsen er afgrænset til at omfatte produktionsvirksomheder i Danmark (NACE 10-39) med 20 eller flere ansatte.

Formålet med spørgeskemaundersøgelsen er at kortlægge virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi, deres motivation for at anvende teknologien og de effekter og barrierer, de oplever i forhold til implementering af AM-teknologi. Spørgeskemaundersøgelsen afdækker også virksomhedernes kompetenceniveau i forhold til anvendelse af AM samt deres fremtidige planer for investering i teknologien. Dette års rapport sætter et særligt fokus på, hvordan virksomhederne kobler anvendelse af AM-teknologi med deres tilgang til bæredygtig produktion, deres fremtidsplaner, og anvendelse af nye teknologier generelt (Industri 4.0). Endelig er det muligt at sammenholde udbredelsen og anvendelsen af AM-teknologi i 2021 med 2018 og 2019. Det giver mulighed for at undersøge udviklingstendenser over en fireårig periode, hvor AM-teknologi har været i fokus både politisk, forskningsmæssigt og i virksomhederne.

Surveyen suppleres med otte virksomhedscases. Casevirksomhederne er udvalgt på baggrund af deres besvarelse af spørgeskemaet i år eller tidligere år eller på baggrund af deres anvendelse af AM-teknologi. Interviewene har særligt fokuseret på at identificere udviklingen i virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi, og deres kobling af teknologien med bæredygtig produktion og nye teknologier generelt.

3.2 Udbredelse af AM-teknologi

Spørgeskemaundersøgelsen, der ligger til grund for denne rapport, viser at 32% af de adspurgte danske produktionsvirksomheder (NACE koder 10-39) anvender AM. Fordi AM-teknologi har stået højt på dagsordenen de seneste år, er der gennemført en række forskellige undersøgelser af teknologiens udbredelse, og det er derfor muligt, at sætte resultaterne fra spørgeskemaet, der ligger til grund for denne rapport, i relation til andre opgørelser af danske virksomheders anvendelse af AM-teknologi.

Danmarks Statistiks opgørelser af virksomhedernes brug af AM-teknologi viser, at det i 2017 var 6 % af alle danske virksomheder, der anvendte AM-teknologi, og i 2019 var det 8 % af virksomhederne. Hvis vi

ser på Danmarks Statistiks opgørelse af anvendelse af AM-teknologi specifikt for de produktionsvirksomheder, der er fokus i denne rapport, så ligger anvendelsen af AM-teknologi højere, og der er tendens til stigende anvendelse over tid: I 2017 havde 16 % af danske produktionsvirksomheder ifølge Danmarks Statistik anvendt AM-teknologi i det foregående kalenderår, i 2019 var det steget til 23 %.

Parallelt med spørgeskemaundersøgelsen, der ligger til grund for denne rapport, har Dansk AM Hub bedt Jysk Analyse opdatere Danmarks Statistiks opgørelse af danske virksomheders anvendelse af AM-teknologi. Denne analyse viser, at det i efteråret 2021 var 13 % af et repræsentativt udsnit af danske virksomheder, der anvender AM-teknologi, og blandt produktionsvirksomheder var det 32%, der anvendte AM-teknologi.

Ud fra sammenligningen med disse andre opgørelser af danske produktionsvirksomheders anvendelse af AM-teknologi kan der udledes to indsigter: For det første, anvender danske produktionsvirksomheder AM-teknologi i højere grad end danske virksomheder generelt. Og for det andet, forventer vi, at den faktiske udbredelse af danske produktionsvirksomheders anvendelse af AM-teknologi ligger lavere end en tredjedel, da erfaring viser at virksomheder er mere tilbøjelige til at besvare spørgeskemaer om emner, der er en del af deres hverdag.

3.3 Begrebsafklaring

I rapporten anvendes en række begreber, der enten ikke er alment kendt eller kan forstås på forskellig vis, og de defineres derfor nedenfor.

AM – Additive Manufacturing

3D printning er en additive teknologi, hvor en 3D tegning (såkaldt STL-fil) anvendes til at styre printerens. I den mest gængse printproces opbygges et produkt gennem udlægning af råmateriale i en lag på lag konstruktion. Forskellige procesmetoder kan anvendes til at udlægge materialelagene. Disse metoder giver det endelige produkt forskellige egenskaber og karakteristika. Der skelnes typisk ikke imellem termerne 3D printning og additive manufacturing. I rapporten anvendes terminologien AM og AM-teknologi, men der refereres også til 3D-print, 3D printere og 3D printudstyr, der hvor det er forståelsesfremmende. De mest gængse AM-teknologier er:

- Selective laser sintering (SLS)
- Selective laser melting (SLM)
- Electron beam melting (EBM)
- Stereolithography (SLA)
- Fused deposition modelling (FDM)
- Binder Jetting (3DP)

AM-teknologierne kan opdeles efter, hvordan råmaterialet tilføres opbygningen af lag. Der anvendes typisk enten flydende materiale, pulver, ekstrudering eller fast materiale. Desuden kan der printes i forskellige materialer fx plast, metal, keramik og komposit.

Anvendelsesdomæner

Der er tre primære anvendelsesdomæner for AM: produktudvikling, produktionsstøtte og selve produktionen. Disse betegnes i rapporten som de tre anvendelsesdomæner for AM-teknologi.

Ejerskab til AM-teknologi

I undersøgelsen sondres mellem tre former for ejerskab og adgang til AM-teknologi. Virksomheder kan købe eller lease 3D-printere. Virksomheder kan få adgang til teknologien ved at købe AM serviceydelser fra eksterne leverandører. Og endelig kan virksomheder også kombinere de to former for ejerskab og både indkøbe/lease printere og købe serviceydelser fra en ekstern leverandør.


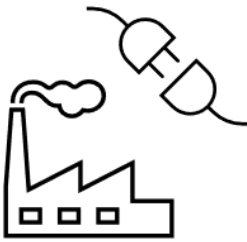
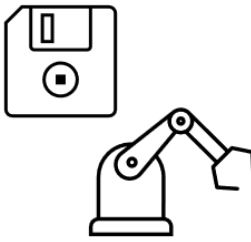
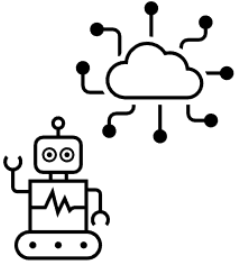
Bæredygtighed

Bæredygtighed er en meget omfattende dagsorden, der i sin nuværende form ofte kobles med FN's 17 verdensmål. Siden lanceringen i 2015 har de 17 verdensmål fungeret som politisk ramme for den globale debat for hvordan man kan sikre, at fremtidige generationers muligheder ikke begrænses af vor tids vækst og velstand. Spørgeskemaundersøgelsen indeholder i 2021 en række spørgsmål til virksomhedernes fokus på grøn omstilling og bæredygtig produktion. Der er desuden gennemført interview med en række virksomheder, der både anvender AM-teknologi og har særlig fokus på bæredygtig produktion.

Industri 4.0

AM-teknologi er en del af den omfattende forandring af produktionen, der populært kaldes den fjerde industrielle revolution eller Industri 4.0. Den første industrielle revolution var 1500-tallets introduktion af mekanisering drevet af eksempelvis vandmøller. Den anden industrielle revolution var 1800 og 1900-tallets industrialisering, hvor produktion blev organiseret omkring samlebånd, og den tredje industrielle revolution i 1980'erne og 1990'erne bragte robotter og computere ind på fabrikker og kontorer. Med den fjerde industrielle revolution er fokus på at koble digitale teknologier med den fysiske verden, på kollaborative maskiner og samarbejde mellem mennesker og maskiner. Industri 4.0 er en integration af digital information og fysisk produktion, hvor mennesker og maskiner ved gensidig koordinering kan udvikle og producere på nye måder. Industri 4.0 er et centralt tema, og undersøgelsen er i 2021 derfor suppleret med en række spørgsmål om, hvordan virksomhedernes anvendelse AM-teknologi har påvirket deres investering og forretning generelt.

Figur 3.1: De fire industrielle revolutioner

Den første industrielle revolution: mekanisering	Den anden industrielle revolution: elektrisk samlebåndsproduktion	Den tredje industrielle revolution: automatisering og IT	Den fjerde industrielle revolution: digitalisering og connectivity
			

4 Udbredelse af AM-teknologi

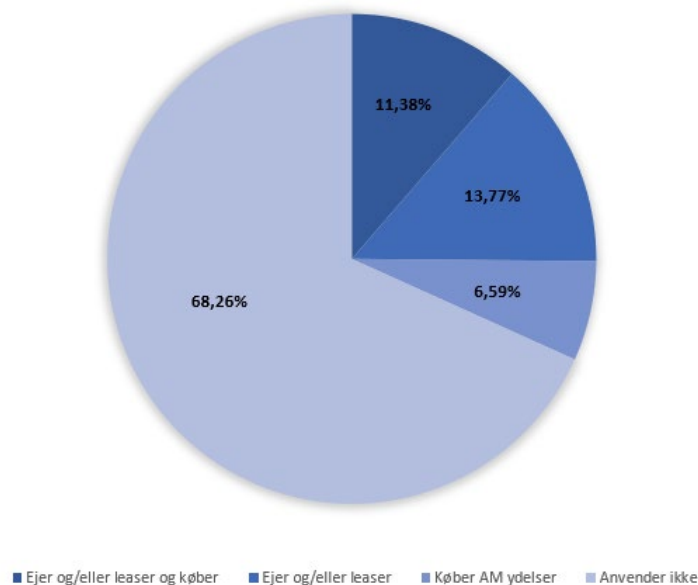
Dette afsnit giver en oversigt over udbredelsen af AM-teknologi i danske produktionsvirksomheder. De følgende afsnit fokuserer på, hvor stor en andel af virksomhederne, der anvender AM-teknologi, om de, der anvender teknologien, har eget udstyr eller køber serviceydelser, og på hvor udbredt anvendelse af AM-teknologi er blandt virksomheder af forskellig størrelse og med forskellig teknologiintensitet.

4.1 Udbredelsen af AM

Af de 167 virksomheder, der har besvaret spørgeskemaet, **anvender knap en tredjedel (32%) AM-teknologi**. Figur 4.1 viser både udbredelsen af AM-teknologi blandt virksomhederne i undersøgelsen, og hvordan de, der anvender teknologien, fordeler sig på ejerskabsformer. Hvis vi kun ser på den tredjedel af virksomhederne, der anvender AM-teknologi, har 41% AM udstyr på produktionsstedet, mens 22% køber AM services af andre, og 37% har både eget AM udstyr på produktionsstedet og køber AM services af andre.

Figur 4.1: Udbredelsen af AM-teknologi blandt de deltagende virksomheder

Note: første tal henviser til antal, næste tal til % af besvarelser.



4.2 Udvikling i udbredelse af AM fra 2018 til 2021

Andelen af virksomheder, der køber AM serviceydelser, ligger over alle tre år på 6-8% af de adspurgte virksomheder. **Andelen, der selv har AM udstyr i virksomhederne, men ikke køber serviceydelser, er steget fra 6% i 2018, til 11% i 2019 og 14% i 2021.** Andelen af virksomheder, der både køber AM serviceydelser og har AM printudstyr i virksomheden, har varieret for de 3 kortlægninger, fra 11% i 2018,

til 7% i 2019 og 11% i 2021. **Tendensen går derfor mod, at en større andel af de virksomheder, der anvender AM-teknologi, har 3D printudstyr internt i virksomheden.**

Flere af de virksomheder, der har arbejdet med AM-teknologi igennem en årrække oplever, at deres anvendelse af teknologien udvikler sig. De virksomheder, vi har talt med, eksperimenterer med teknologien for at afprøve muligheder og grænser for dens implementering og værdi for virksomheden. Det typiske mønster er en gradvis større udbredelse af teknologien internt i virksomheden, hvor flere medarbejdere løbende og gradvist involveres og teknologien indtænkes og afprøves i flere sammenhænge. Jørgensen Engineering er et eksempel på denne udvikling. Virksomheden har arbejdet med AM-teknologi i en årrække og har selv 3D printere. Gennem gradvis udbredelse af kendskab til teknologien i virksomheden, og afprøvning af teknologiens muligheder, har virksomheden formået at engagere flere medarbejdere i anvendelsen af AM-teknologi i udviklingsarbejdet.

Jørgensen Engineering: Stigende anvendelse af AM

Jørgensen Engineering har anvendt AM siden 2016/2017. Virksomheden ejer selv FDM-teknologi, som anvendes til udvikling og test fx ved at printe prototyper. Printkapaciteten er de senere år blevet stadig mere udnyttet, da flere medarbejdere kender til muligheden for at 3D-printe. Virksomheden anvender underleverandører til 3D-print af hjælpeværktøjer og fiksturer til produktionen, som printes i nylonmateriale ved brug af MJF-teknologi. Det er vurderingen, at også virksomhedens anvendelse af underleverandører er blevet større, da MJF-teknologi kan levere billigere hjælpeværktøjer end traditionelle produktionsmetoder.

Til tider viser det sig, at en anvendelsesmulighed ikke skaber værdi, men med en bred anvendelse af AM-teknologi i virksomheden, er det ikke et problem at tilbagerulle implementering på enkelte område. De virksomheder, vi har talt med, der har arbejdet med AM-teknologi over flere år, har typisk en nuanceret tilgang til teknologien. De anvender forskellige printteknologier, der komplementerer hinanden og anvendes indenfor forskellige domæner og med forskellige ejerskabsformer. Nogle teknologier anvendes af virksomhedens egne medarbejdere til produktudviklingen, mens andre anvendes til produktionsstøtte ex i form af fremstilling af hjælpeværktøjer, eller de købes hos underleverandører.

Hasle Refractories' anvendelse af AM-teknologi er et eksempel på, hvordan en sådan reflekteret tilgang til teknologien kan lede til eksperimenter med forskellige anvendelsesmuligheder. Virksomheden afprøvede, 3Dprintede modeller i salgssituationen, men fandt ud af at kunderne foretrak 3D computertegninger. Derfor gik virksomheden bort fra at anvende 3D printede modeller i salgssituationen. Men virksomheden anvender fortsat AM-teknologi i deres udvikling, og har derfor ikke investeret forgæves i AM-teknologi.

HASLE Refractories: Eksperimenter med anvendelse af AM

HASLE Refractories producerer ildfast beton (refractories) til virksomheder med højtemperatur-processer fx cementfabrikker, affaldsforbrændinger og kraftvarmeværker. Virksomheden har anvendt AM-teknologi i begrænset omfang til prototyper af støbeforme og test af geometri i formene. Det var ledelsens forventning for et par år siden, at teknologien kunne anvendes yderligere fx som supplement til sælgerens 3D-tegninger, hvor sælgeren i tillæg til det normale materiale kunne fremvise 3D-printede elementer til præsentation hos kunden. Det har imidlertid vist sig, at kunderne foretrækker 3D-tegninger og produktsimuleringer ved brug af CAD-software til at vurdere fx geometri i nye produkter, og de efterspørger derfor ikke 3D-printede elementer på nuværende tidspunkt.

Endelig er der enkelte eksempler på virksomheder, der anvender AM-teknologi på helt andre måder, end man kunne forestille sig for bare 10 år siden, til eksempelvis produktion af bygninger. COBOD er et

eksempel på en virksomhed, hvor AM-teknologi ikke blot er en anvendt teknologi, men udgør fundamentet for virksomhedens forretningsmodel.

COBOD: Vækst baseret på AM-teknologi i stor skala

Virksomheden *Construction Of Buildings On Demand* (COBOD) blev etableret i 2016 som en startup-virksomhed, der udsprang af 3D Printhuset. Virksomheden har efter kraftig vækst nu mere end 70 ansatte. Virksomheden har lavet Europas første 3D-printede bygning i Nordhavnen i København (The BOD) i 2017. The BOD er mindre end 50 m² og anvendes som kontorhotel og som showcase bygning for nye kunder. At bygge med AM giver både økonomiske og arkitektoniske fordele, eksempelvis er det muligt at printe arkitektur med organiske former og buede vægge.

4.3 Virksomhedernes størrelse og teknologiintensitet

Tabel 4.1 viser, hvordan virksomheder af forskellig størrelse varierer i deres anvendelse af AM-teknologi. Der er en statistisk signifikant forskel på hvor stor en andel af virksomheder med hhv. under og over 100 ansatte, der anvender AM-teknologi: Omkring en fjerdedel af virksomhederne med under 100 ansatte anvender AM-teknologi, mens halvdelen eller mere af virksomhederne med over 100 ansatte anvender teknologien.

Tabel 4.1: Virksomhedens størrelse og anvendelse af AM-teknologi

	Virksomheder, der <i>ikke</i> anvender AM	Virksomheder, der anvender AM	I alt
20-49 ansatte	71 73,2%	26 26,8%	97 100%
50-99 ansatte	24 77,4%	7 22,6%	31 100%
100-149 ansatte	14 51,9%	13 48,1%	27 100%
150+ ansatte	5 41,7%	7 58,3%	12 100%
I alt	114 68,3%	53 31,7%	167 100%

Tabel 4.2: Virksomhedens teknologiintensitet og anvendelse af AM-teknologi

	Virksomheder, der <i>ikke</i> anvender AM	Virksomheder, der anvender AM	I alt
High tech	3 30,0%	7 70,0%	10 100%
Medium high tech	31 56,4%	24 43,6%	55 100%
Medium low tech	37 72,5%	14 27,5%	51 100%
Low tech	43 84,3%	8 15,7%	51 100%
I alt	114 68,3%	53 31,7%	167 100%

Virksomheder i forskellige brancher anvender teknologi forskelligt, og selvom der er store forskelle på virksomheder i samme branche, er det muligt at vurdere den generelle teknologiintensitet for brancher¹. Tabel 4.2 viser, hvor udbredt AM-teknologi er for virksomheder i brancher med forskellig

¹En oversigt over klassificeringen af brancher efter teknologiintensitet kan findes her: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:High-tech_classification_of_manufacturing_industries

teknologiintensitet. Jo højere teknologiintensivitet virksomhederne har, jo større en andel anvender AM-teknologi. I den lille gruppe af high tech virksomheder anvender 70% AM, mens det er tilfældet for kun 16% af low tech virksomhederne.

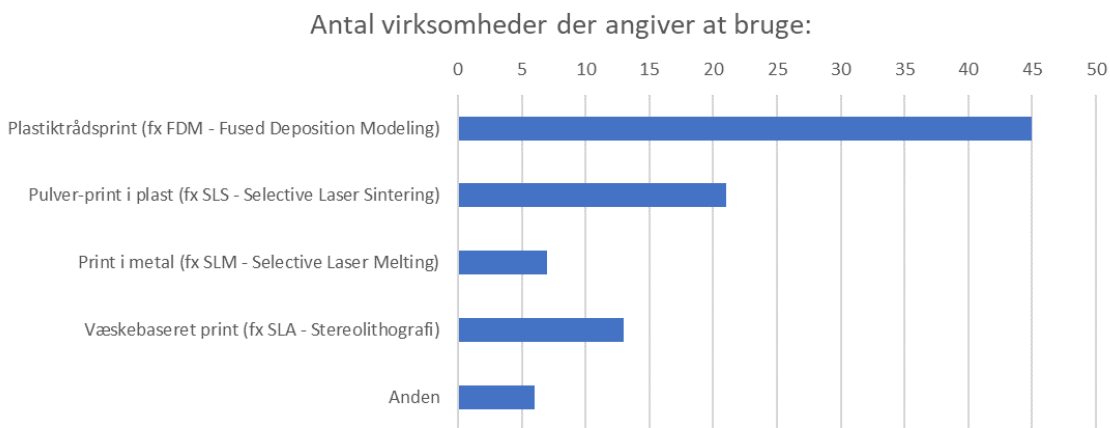
4.4 Virksomhedernes størrelse og teknologiintensitet fra 2018 til 2021

I 2018 og 2019 kunne der ikke konstateres en entydig sammenhæng mellem virksomhedsstørrelse og anvendelse af AM-teknologi. Dette ændrer sig dog i 2021, hvor virksomheder med 100 eller flere ansatte anvender AM-teknologi i signifikant højere grad end virksomheder med under 100 ansatte. De store virksomheder har dermed i højere grad en mere integreret AM-teknologi i deres arbejdsgange. I 2018 anvendte 65% af de adspurgte virksomheder i high tech brancher AM-teknologi, det var tilfældet for 61% i 2019 og 70% i 2021. Der er for få high tech virksomheder i undersøgelsen til at vurdere, om der er tale om en stigende tendens, men fordelingen indikerer, at high tech virksomhederne som minimum fastholder den høje grad af anvendelse af AM-teknologi. Blandt medium/high tech virksomhederne var andelen, der anvendte AM-teknologi 36% i 2018 og 29% i 2019, mens den er 56% i 2021. En del af den øgede udbredelse af AM-teknologi, der kan observeres fra 2018 til 2021, drives derfor af gruppen af medium/high tech virksomheder. For virksomheder i grupperne medium/low tech og low tech er der ingen klare udviklingstendenser.

4.5 Anvendelse af forskellige typer AM-teknologier

Figur 4.2 viser antallet af virksomheder, der anvender de forskellige AM-teknologier. Da nogle virksomheder anvender mere end en teknologitype summer det samlede antal til mere end de 51 virksomheder, der i undersøgelsen angiver at de anvender AM-teknologi. **Den mest udbredte form for printteknologi er plastiktrådsprint (FDM).** 45 af de 51 virksomheder, der anvender AM-teknologi, anvender denne type print. Den mindst anvendte printtype er print i metal (SLM), og halvdelen af virksomhederne i undersøgelsen anvender mere end en printtype.

Figur 4.2: Anvendte teknologityper



Et eksempel på en virksomhed, der anvender et anderledes materiale i deres 3Dprint er COBOD. Virksomheden 3Dprinter bygninger i beton med en teknologi, der minder om på Fused Deposition Modelling (FDM), som ellers typisk anvendes til plastiktrådsprint.

Sammenlignet med undersøgelser af virksomheders anvendelse af forskellige 3D-printteknologier i 2018 og 2019, er der tre tendenser. For det første, **er FDM printteknologi i endnu højere grad den foretrukne printtype.** For det andet, har SLS overhalet SLA som den næstmest anvendte printteknologi. Endelig bidrager interviewene med indsigt hvordan casevirksomhederne kombinerer forskellige

printteknologier, og hvordan de kombinerer deres egne interne printkompetencer med underleverandørers serviceydelser af 3Dprint, som de ikke selv har udstyr og kompetencer til at anvende.

COBOD: AM-teknologi med nye materialer

COBOD har udviklet en beton-printteknologi, som er baseret på Fused Deposition Modelling (FDM). Der bygges lag på lag af en speciel blanding af beton eller mørtel i flydende form, der hærder indenfor få minutter. 3D-printmaskinen anvendes således til at producere det færdige produkt (bygninger). I deres udviklingsarbejde anvender COBOD også 3D-print i plastik til at lave prototyper af komponenter, fx den dyse, der sidder for enden af printhovedet på maskinen.

COBOD sælger 3D-printmaskiner til kunderne, som anvender dem til at opføre bygninger. Der er et tæt samarbejde mellem COBOD og kunden om byggeriet, herunder i forhold til at finde det rette materiale at printe med (betonen). COBOD hjælper med de tekniske specifikationer for printmaterialet, mens kunden har ansvaret for indkøb og anvendelse af materialerne til at lave betonen med. COBOD arbejder også på at påvirke cementfabrikker til at udvikle mere bæredygtige byggematerialer. Som en del af denne indsats forsøger COBOD også at fremme produktion tæt på slutkunden for dermed at minimere transportbehovet.

4.6 Anvendelsesdomæne

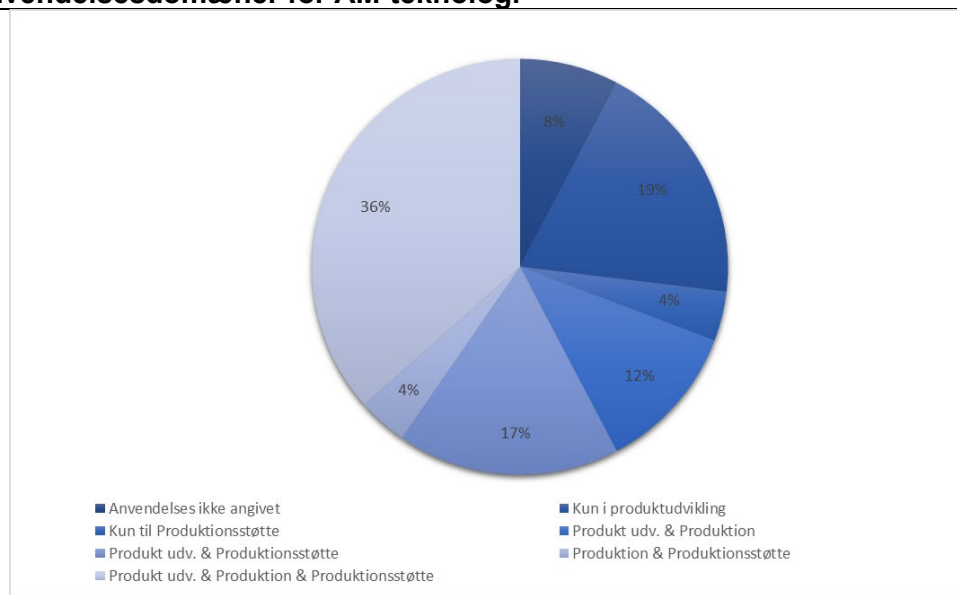
AM-teknologi kan anvendes på forskellig vis, typisk anvender produktionsvirksomheder teknologien i produktudvikling, produktionen, og som produktionsstøtte gennem print af hjælpeværktøjer. Boks 4.1 giver en mere uddybende forklaring på disse tre anvendelsesdomæner.

Boks 4.1: Definition af anvendelsesdomæner for AM-teknologi

Produktudvikling	Prototyping (evt. rapid prototyping), AM-printning af prototyper, testmodeller eller 0-serier, og til understøttelse af udviklings- og innovationsarbejde.
Produktionsstøtte	Direct Tooling, AM-printning af støtteværktøjer til den kørende produktion i form af fiksturer, robotgribere, forme o. lign.
Produktion	Direct Manufacturing, AM-printning af komponenter, der anvendes i deres færdige form (evt. med efterbearbejdning) og færdige produkter.

Virksomhedernes brug af AM-teknologien i de forskellige anvendelsesdomæner indgår som en dimension i "modenhedsmodellen" (se figur 8.2). Her undersøges dog hvordan virksomhederne anvender AM teknologien og hvordan de kombinerer brugen i flere anvendelsesområder. Ca. 24% af virksomhederne angiver kun et anvendelsesområde, og **det er værd at bemærke at der ikke er nogen virksomheder, der udelukkende anvender AM teknologi i produktionen**. Ca. 32% angiver to anvendelsesdomæner og endelig angiver ca. 37%, at de bruger teknologien på alle tre anvendelsesdomæner. Ca. 8% af de virksomheder, der anvender AM teknologi, har ikke angivet et specifikt anvendelsesområde. Figur 4.3 viser fordelingen af anvendelsesdomæner og deres kombinationer i detaljer.

Figur 4.3: Anvendelsesdomæner for AM-teknologi



Det er interessant, at over en tredjedel af virksomhederne angiver, at de anvender teknologien inden for alle tre domæner. Den næststørste gruppe indeholder de virksomheder, der anvender AM-teknologi i produktudvikling, og dernæst kommer gruppen, der anvender teknologien i produktudvikling og til produktionsstøtte. I alt angiver 85% af de virksomheder, der anvender AM-teknologi, at de bruger teknologien i forbindelse med produktudvikling. Sammenlignet med undersøgelserne fra 2018 og 2019 er der en tendens til at flere virksomheder anvender AM-teknologi inden for alle tre domæner. I 2018 anvendte 25% af virksomhederne teknologien til både produktudvikling, produktionsstøtte og produktion, i 2019 var det 28%, og i 2021 er det 37%.

Tabel 4.3 viser udviklingen hen over de tre perioder i virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi på hhv. ét eller flere domæner. **Der er en stigende tendens til, at virksomhederne anvender AM print i produktionen, men kun i sammenhæng med et eller to andre anvendelsesdomæner.** I 2018 angav 32% af virksomhederne, at de anvendte AM-teknologi i produktionen samt i ét eller to andre anvendelsesdomæner, i 2019 var det 43 %, og i 2021 angiver 52% af virksomhederne, at de anvender AM-teknologi i produktionen.

Det er værd at bemærke, at ingen virksomheder i hverken 2019 eller 2021 angav, at de alene anvendte teknologien indenfor produktion. **Virksomhederne kombinerer anvendelse indenfor produktfremstilling med anvendelse i enten produktudvikling, produktionsstøtte eller begge dele.**

Tabel 4.3: Udvikling i antal anvendelsesdomæner 2018, 2019 og 2021

	Anvender AM i ét domæne			Anvender AM i flere domæner		
	2018	2019	2021	2018	2019	2021
Produktudvikling	32%	15%	19%	55%	65%	65%
Produktionsstøtte	1%	13%	4%	50%	54%	58%
Produktfremstilling	2%	0%	0%	30%	43%	52%

4.7 Opsummering

Blandt de adspurgte virksomheder anvender knap en tredjedel AM-teknologi, der er en stigende tendens til at virksomheder anvender AM-teknologi og til at de har AM-teknologi internt i virksomheden. Udviklingen er primært drevet af virksomheder med 100 eller flere ansatte og af teknologiintensive virksomheder. Det primære anvendelsesdomæne for AM-teknologi er udvikling, men virksomhederne

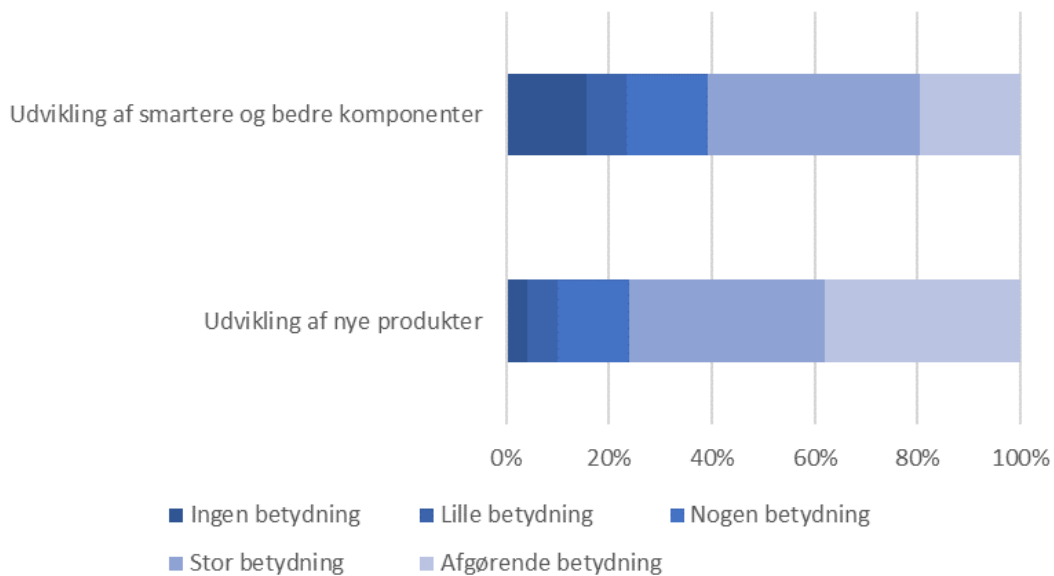
eksperimenterer med at anvende teknologien på andre domæner. De fleste virksomheder anvender AM-teknologi på mere end et domæne, og der er en stigende tendens til at virksomhederne anvender AM-teknologi på mere end et domæne.

5 Motivation for anvendelse af AM-teknologi

Dette afsnit fokuserer på hvilke faktorer, der motiverer danske produktionsvirksomheder til at anvende AM-teknologi. Fokus er på fem overordnede motivationsfaktorer: omkostningsreduktion, udvikling af nye produkter, hastighed i udvikling og produktion, simplificering af produktionsprocessen og anvendelse, samt bæredygtig produktion.

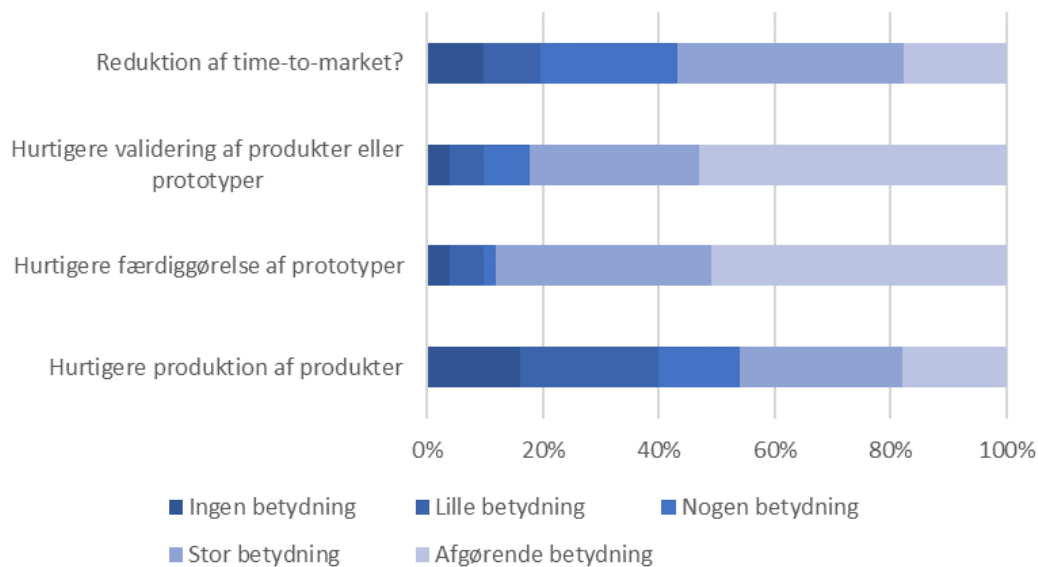
Figur 5.1 viser i hvor høj grad muligheder for udvikling af produkter og komponenter har motiveret de adspurgte virksomheder til at arbejde med AM. **Over 60% af virksomhederne angiver at udvikling af nye produkter eller udvikling af bedre produktkomponenter har haft stor eller afgørende betydning for, at de arbejder med AM-teknologi.**

Figur 5.1: Betydningen af muligheder for udvikling af produkter og komponenter som motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi

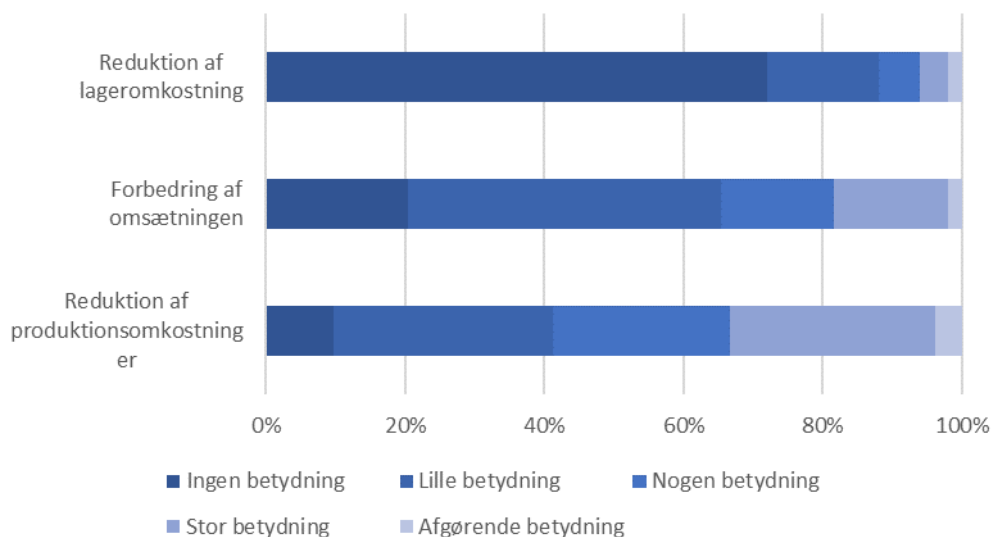


Figur 5.2 viser, i hvor høj grad muligheden for øget hastighed i udvikling og produktion har motiveret de adspurgte virksomheder til at anvende AM-teknologi. Hastighed har generelt haft stor eller afgørende betydning for en stor del af virksomhederne. Virksomhederne har vægtet hurtigere produktion af produkter lavest, hvor knap halvdelen har angivet, at det havde en stor eller afgørende betydning. Reduceret time-to-market har haft stor eller afgørende betydning for lidt over halvdelen af virksomhederne. **Hurtigere udvikling af prototyper og hurtig validering af produkter og prototyper fremstår som de vigtigste motivationsfaktorer, idet de har haft stor eller afgørende betydning for over 80% af virksomhederne.**

Figur 5.2: Betydningen af muligheder for øget hastighed i udvikling og produktion som motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi



Figur 5.3: Betydningen af muligheder for reduktion af omkostninger som motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi

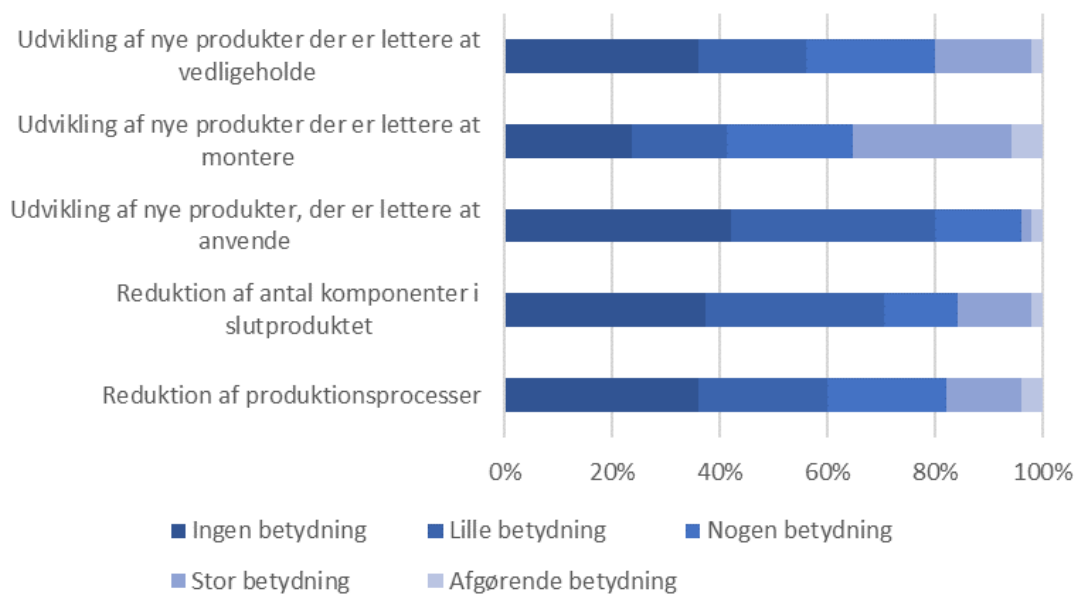


Figur 5.3 viser, i hvor høj grad mulige omkostningsreduktioner har motiveret de adspurgte virksomheder til at implementere AM. Generelt er det kun en lille del af virksomhederne, der angiver at omkostninger har haft afgørende betydning for deres motivation til at anvende AM-teknologi. Reduktion af produktionsomkostninger haft nogen betydning for 25% og stor eller afgørende betydning for en tredjedel af virksomhederne. Forbedring af omsætningen har været af ingen eller lille betydning for to tredjedele af virksomhederne, og reduktion af lageromkostninger har ingen betydning haft for knap tre fjerdedele.

Figur 5.4 viser, i hvor høj grad muligheder for simplificering af produktionsprocessen og produkter har motiveret de adspurgte virksomheder til at anvende AM-teknologi. For ca. to tredjedel af virksomhederne har simple produktionsprocesser og simple komponenter i slutprodukter haft yderst begrænset indflydelse på deres motivation til at anvende teknologien, og kun en ganske lille del af virksomhederne angiver, at disse faktorer har haft stor eller afgørende betydning for deres anvendelse.

Ser vi på simplificering i anvendelse af produkterne, er billedet lidt anderledes. Her angiver knap halvdelen, at mulighederne for at lave produkter, der er lettere at anvende, montere eller vedligeholde, har haft ingen eller lille betydning for, at de anvender AM-teknologi, mens samme faktor har haft nogen eller stor betydning for knap halvdelen af virksomhederne. Kun for en ganske lille andel af virksomhederne har simplificering i anvendelse haft afgørende betydning for deres anvendelse af AM-teknologi.

Figur 5.4: Betydningen af muligheder for simplificering af produktionsproces og anvendelse som motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi



Virksomheden VELA kan bidrage med en mere indgående forklaring af virksomheders motivation for at arbejde med AM-teknologi. VELAs anvendelse af AM-teknologi var primært motiveret af mulighederne for at validere og færdiggøre prototyper hurtigere end med andre teknologier, men virksomheden anvender også AM-teknologi i produktion af komponenter i små serier.

Hurtig validering og færdiggørelse af prototyper

VELA har anvendt AM-teknologi siden 2012 og ejer selv FDM-teknologi. Virksomheden printer i ABS-plast bl.a. med kulfiber-forstærket filament og i gummimateriale (TPU). Teknologien anvendes til produktudvikling fx prototyper før igangsætning af støbeværktøjer, til hjælpværktøjer til specialtilpassede produkter fx boreskabeloner til montage, så der bliver høj ensartethed i det færdige produkt. Virksomheden anvender også 3D-print til produktion af komponenter til slutprodukter, der produceres i lav volumen, hvor støbeforme bliver for dyre, og ved produktion af særlige komponenter til stole som hjælpemidler fx holder til betjening af stolen, hvor delene skal tilpasses individuelle kundebehov. Den primære motivation for virksomheden til at anvende 3D-print til produktudvikling - gennem mange år - er muligheden for hurtigt at kunne validere og færdiggøre prototyper og produkter. Effekten af at anvende teknologien er, at "time-to-market" reduceres, da leverancen er korrekt første gang

Her hjælper AM-teknologi til at reducere produktionstiden og virksomhedens fejlmargen. Selvom hastighed i udvikling og produktion var virksomhedens primære motivation for at anvende AM-teknologi, så har teknologien dermed også en positiv effekt på materialeforbruget og bidrage dermed indirekte til mere bæredygtig produktion. Denne afledte effekt på bæredygtighed vil vi nu se nærmere på.

5.1 Bæredygtighed som motivationsfaktor

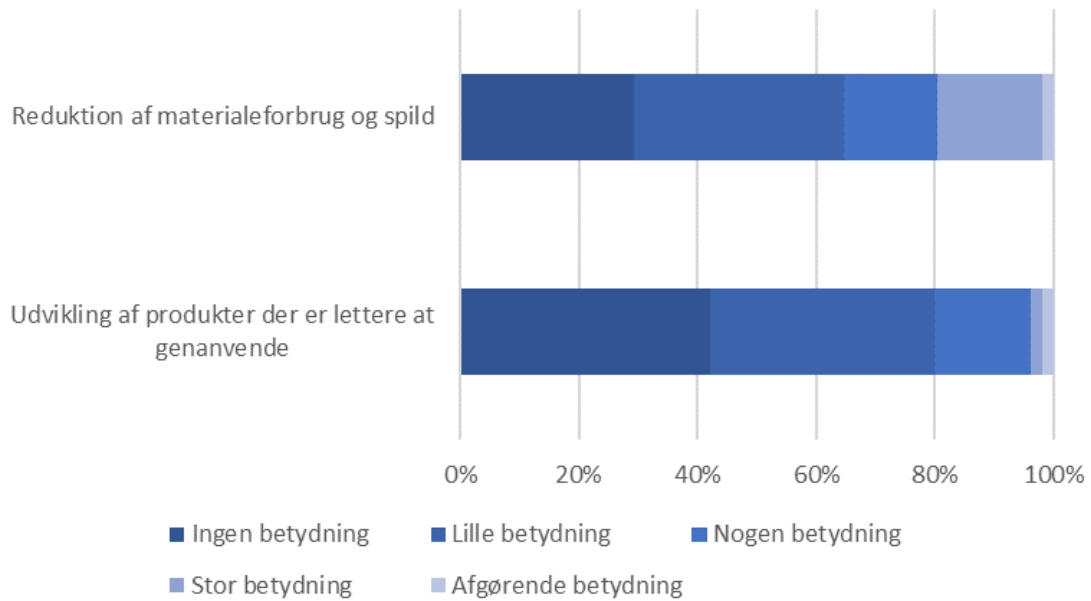
Figur 5.5 viser, i hvor høj grad muligheden for at gøre produktionen mere bæredygtig har motiveret de adspurgte virksomheder til at anvende AM-teknologi. Udvikling af produkter, der er lettere at genanvende, har haft ingen eller lille betydning for 80% af virksomhedernes beslutning om at anvende AM-teknologi, men **for en tredjedel af virksomhederne har muligheder for reduceret materialespild haft nogen, stor eller afgørende betydning.**

Figur 5.1 til 5.5 viser, at mere udvikling og øget hastighed i udvikling og produktion er de primære motivationsfaktorer for at anvende AM-teknologi. Hastighed i udvikling af nye produkter er også den primære motivation for virksomheden Robot Nordics anvendelse af AM-teknologi, men samtidig har AM-teknologi også medvirket til at virksomheden har reduceret sit ressourceforbrug og dermed bidraget til en mere bæredygtig produktion.

Høj motivation og bred anvendelse af teknologien

Den væsentligste motivation for Robot Nordic til at anvende 3D-print er at minimere lead time fx ved udvikling af nye produkter, da virksomheden selv kan tegne og printe prototyper hurtigere end en ekstern leverandør kan lave dem. Teknologien muliggør også, at dele kan printes uden brug af mange ressourcer, og at spild af materiale reduceres. Samtidig giver 3D-print fleksibilitet i produktionen, da fx en større produktion af emner kan printes over natten. Virksomheden vurderer, at der fortsat er potentiale for at printe i nye materialer fx gummi, som allerede anvendes til 3D-print af lister til sikkerhedsafskærmning af robotter, så der ikke er skarpe kanter. Fremadrettet ønsker virksomheden at kunne lave hele værktøjer med 3D-print.

Figur 5.5: Betydningen af muligheder for mere bæredygtig produktion som motivationsfaktor for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi

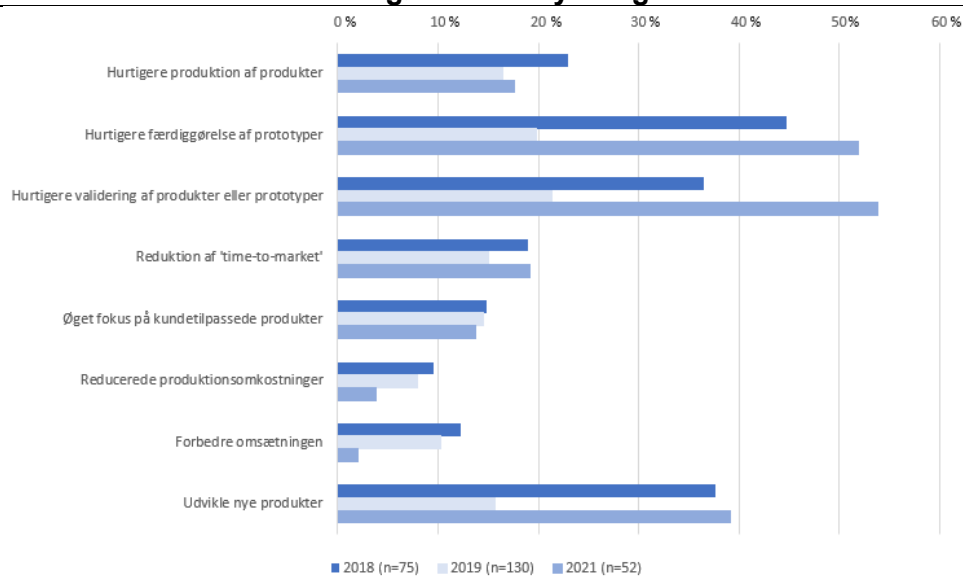


5.2 Ændringer over tid i virksomhedernes motivation for anvendelse af AM

Muligheder for at øge hastigheden i udvikling og produktion har haft stor betydning for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi alle tre år. Fra 2018 og 2019 er andelen af virksomheder, der angiver at hastighed i forbindelse med en række aspekter af udvikling og produktion havde haft stor eller afgørende betydning for deres anvendelse af teknologien steget betydeligt. Dette fokus på øget hastighed i udvikling og produktion går igen hos de case-virksomheder, vi har talt med. I de to tekstbokse i dette afsnit beskrives eksempler på, hvordan hurtigere udvikling og produktion har motiveret virksomhederne til at anvende AM-teknologi, både gennem ejerskab over teknologien og gennem køb af AM services hos underleverandører.

Flere af de case-virksomheder, der har integreret 3D print i deres udviklings- og produktionsprocesser, ser den som et nødvendigt værktøj, som de ikke kan undvære. Virksomhederne kom med udtalelser som "Vi kan ikke leve uden en 3D-printer i dag", og at "Vi bruger det hele tiden og til al ting". Disse to citater illustrerer, hvordan virksomheder, der udnytter AM-teknologi i deres arbejdsprocesser, kan få så stor værdi ud af teknologien, at det bliver en integreret og uundværlig del af deres proces.

Figur 5.6: Udvikling i virksomhedernes motivation for anvendelse af AM, procent af virksomheder der tilskriver motivationsfaktoren "afgørende betydning"



5.3 Opsummering

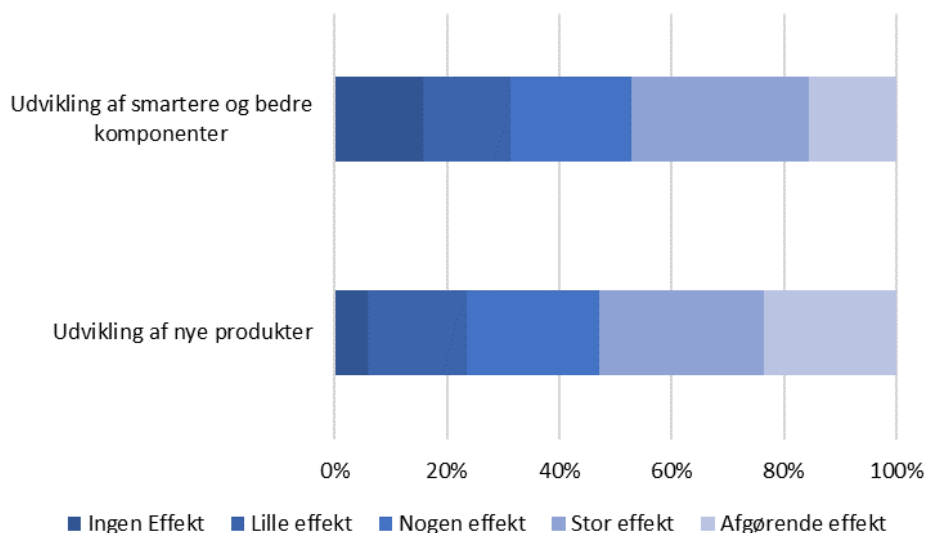
Virksomhedernes primære motivation for at anvende AM-teknologi er muligheder for at udvikle nye produkter og bedre komponenter, kombineret med muligheden for at øge hastighed i udvikling og produktion. Vigtigheden af øget hastighed er steget fra 2018 til 2021. Dette stemmer godt overens med resultaterne i afsnit 4, der viste at virksomhedernes primære anvendelsesdomæne for AM-teknologi var udvikling.

6 Effekter af anvendelse af AM-teknologi

Dette afsnit kortlægger de effekter, virksomhederne har fået ud af at anvende AM-teknologi. Virksomhedernes oplevede effekter bliver også sammenholdt med de faktorer, der motiverede virksomheder til at anvende AM-teknologi.

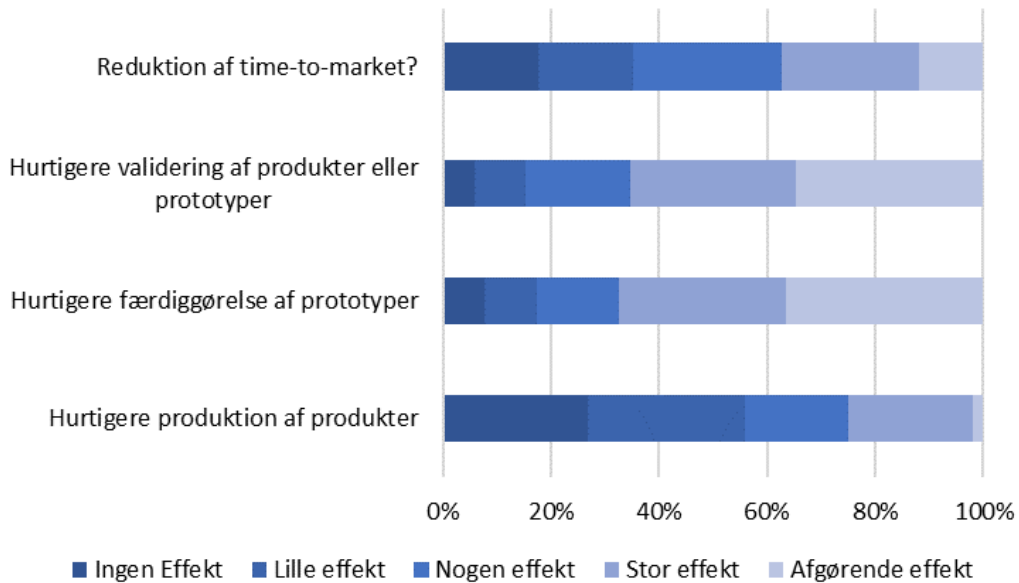
Figur 6.1 viser virksomhedernes vurdering af, hvor stor effekt anvendelse af AM har haft for deres muligheder for udvikling af produkter og komponenter. Omkring halvdelen af virksomhederne vurderer, at anvendelse af AM-teknologi har haft stor eller afgørende effekt for deres muligheder for at udvikle nye produkter eller smartere og bedre komponenter. Det fremgik af afsnit 5, at muligheder for udvikling af produkter og komponenter var en af de stærkeste motivationsfaktorer for virksomhederne til at anvende AM.

Figur 6.1: Effekter af anvendelse af AM - udvikling af produkter og komponenter

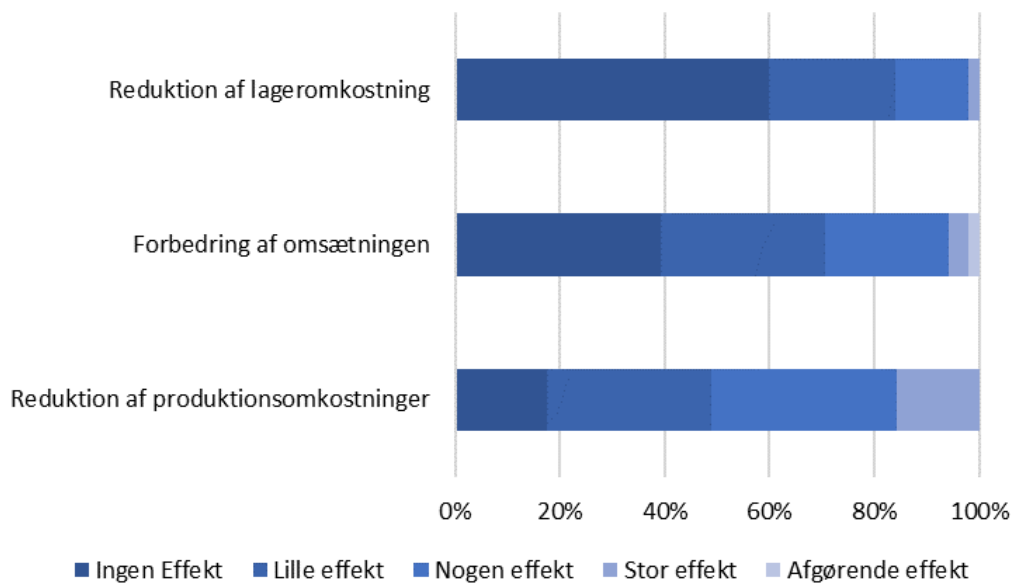


Figur 6.2 viser virksomhedernes vurdering af, hvor stor effekt anvendelse af AM-teknologi har haft for at øge hastigheden i udvikling og produktion af produkter. Omkring en fjerdedel af virksomhederne vurderer, at AM har haft effekt i form af stor eller afgørende betydning for reduktion af deres time-to-market og hurtigere produktion af produkter. Især i arbejdet relateret til prototyper, vurderer virksomhederne, at AM-teknologi har haft en stor eller afgørende effekt: to tredjedele af virksomhederne vurderer, at teknologien har haft stor eller afgørende betydning for deres mulighed for hurtigere at validere produkter og prototyper og for hurtigere færdiggørelse af prototyper. **Resultaterne viser derfor at virksomhederne i stor udstrækning er motiveret af produktudviklingsbehov, de anvender teknologien til produktudvikling (og andet), og her høster de også positive gevinster.**

Figur 6.2: Effekter af anvendelse af AM - hastighed i udvikling og produktion



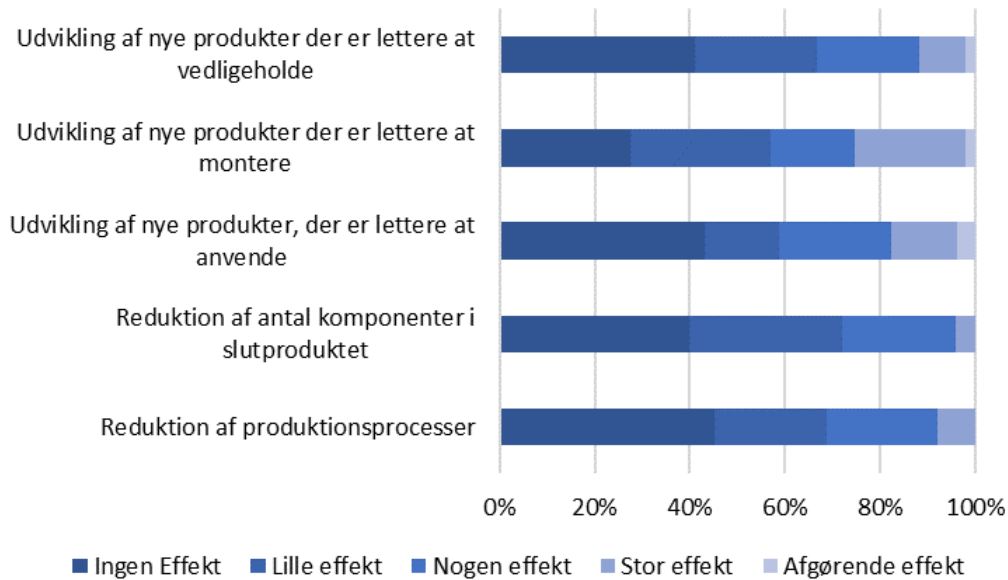
Figur 6.3: Omkostningsrelaterede effekter af anvendelse af AM-teknologi



Figur 6.3 viser virksomhedernes vurdering af, hvor stor effekt anvendelse af AM-teknologi har haft for deres mulighed for omkostningsreduktion i forbindelse med lager, produktion, og for deres omsætning generelt. Knap 80% af virksomhederne angiver, at anvendelse af AM har haft ingen eller lille effekt i forhold til reduktion af deres lageromkostninger. Godt en femtedel af virksomhederne angiver, at anvendelse af AM-teknologi har haft nogen effekt i forhold til forbedring af deres omsætning, men kun godt 5% angiver at teknologien har haft stor eller afgørende effekt i forhold til deres omsætning. Endelig angiver halvdelen af virksomhederne, at de har opnået nogen eller stor effekt i reduktion af produktionsomkostninger ved at anvende AM-teknologi. Der er dog ingen virksomheder, som angiver, at de har opnået afgørende effekt for omkostningsreduktion af at anvende teknologien.

Omkostningssiden er dermed ikke et område, hvor virksomhederne oplever, at AM-teknologi har stor effekt. Som det fremgik af afsnit 5, var omkostningssiden heller ikke den tungest vejende motivationsfaktor for virksomhedernes beslutning om at anvende AM-teknologi.

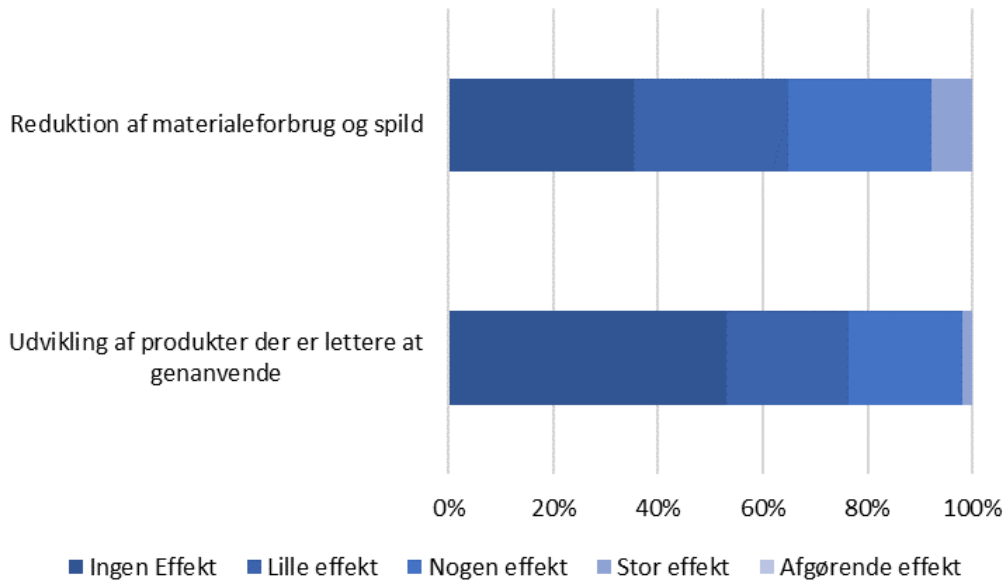
Figur 6.4: Effekter af anvendelse af AM - simple produkter og komponenter



Figur 6.4 viser virksomhedernes vurdering af, hvor stor effekt anvendelse af AM-teknologi har haft for deres muligheder for at simplificere deres produkter og processer på en række dimensioner. Virksomhederne har generelt ikke oplevet store eller afgørende effekter i forhold til simplificering af produkter og processer. Kun når det gælder udvikling af nye produkter, der er lettere at montere eller anvende, angiver omkring 20% af virksomhederne, at de har haft stor eller afgørende effekt af at anvende AM-teknologi. Sammenlignet med afsnit 5, var muligheder for simplificering ikke en stor eller afgørende motivationsfaktor, derfor er det næppe overraskende, at virksomhederne ikke oplever store eller afgørende effekter i forhold til simplificering af produkter eller processer.

Figur 6.5 viser virksomhedernes vurdering af, hvor stor effekt anvendelse af AM-teknologi har haft for deres muligheder for at producere mere bæredygtigt og mere bæredygtige produkter. Kun ganske få virksomhederne har oplevet en stor effekt af anvendelse af teknologien for deres muligheder for at reducere materialeforbrug og spild eller for at udvikle produkter, der er lettere at genanvende. **Omkring 20% har dog oplevet, at AM har haft stor eller afgørende effekt på deres mulighed for at producere mere bæredygtigt gennem reduktion af materialespild og 20% har oplevet nogen effekt i forhold til deres mulighed for at producere mere bæredygtige produkter, der er lettere at genanvende.** Sammenlignet med afsnit 5, var bæredygtighed ikke en stor eller afgørende motivationsfaktor, så selvom kun få virksomhederne oplever at have opnået afgørende effekter i forhold til bæredygtighed, er det alligevel interessant at knap halvdelen oplever at deres anvendelse af AM-teknologi har nogen eller stor effekt i forhold til virksomhedens bæredygtighed.

Figur 6.5: Effekter af anvendelse af AM - bæredygtig produktion



Baseret på figur 6.1 til 6.5 oplever virksomhederne at anvendelse af AM-teknologi har haft størst effekt i forhold til deres muligheder for udvikling af produkter og komponenter, samt for at øge hastighed i udvikling og produktion. Gemina Termix er et eksempel på en virksomhed, der har oplevet at AM-teknologi har øget hastigheden i deres udviklingsproces, og virksomheden forsøger at overføre erfaringerne med AM-teknologi til deres produktion for også at øge hastighed og fleksibilitet dér.

Fortsat afprøvning af teknologiens muligheder

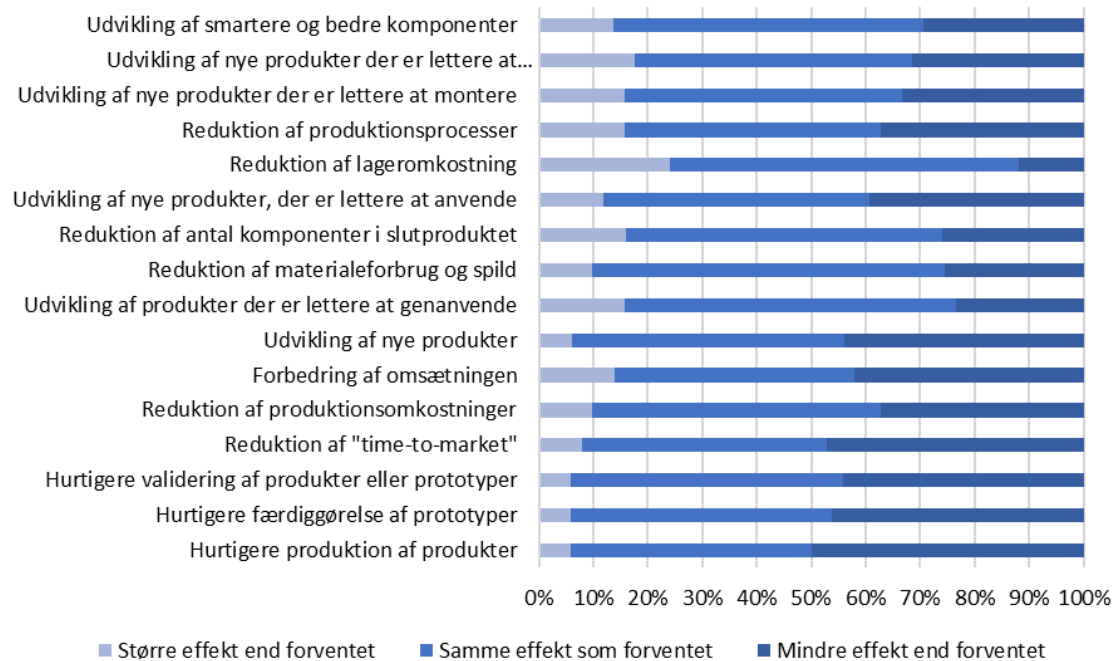
Gemina Termix køber 3D-print ydelser fra central leverandør i koncernen, der har udbudt printservices i omtrent fem år og selv ejer blandt andet SLS-teknologi, mens 3D-print i metal købes hos underleverandører. Virksomheden anvender SLS-teknologi til produktudvikling (prototyper), hvor fx messing fittings testes i 3D-print inden de støbes ved traditionel fabrikation, og de senere år også til hjælpværktøjer i produktionen (fx holder til væggen, cover til el-test og beskyttelsesklods til skarp kant). Teknologien har givet den effekt, at prototyper og reservedele kan færdiggøres og produceres hurtigere end tidligere. Det giver samtidig fleksibilitet i udviklingsprocessen, at prototyper af helt nye anlæg kan sendes til 3D-print i stedet for at prototyper skal bygges op på traditionel vis. Virksomheden afprøver løbende muligheder for også at kunne anvende teknologien til komponenter i produkter til slutkunden.

6.1 Sammenligning af motivationsfaktorer og effekter

Figur 6.6 sammenligner de faktorer, som virksomhederne angiver har motiveret dem til at anvende AM-teknologi, med de effekter virksomhederne vurderer, de har fået ud af at anvende teknologien. Figuren er skabt ved at virksomhedernes vurderinger af motivation og effekter er omregnet til en fempunktsskala. Hvor stor betydning, hver motivationsfaktor havde for virksomhedernes beslutning om at anvende AM-teknologi er derefter trukket fra deres vurdering af de effekter, de har opnået. Hvis en motivationsfaktor er større end den tilsvarende effekt resulterer det i en negativ score, hvis virksomhedernes vurdering af en effekt overstiger deres vurdering af den tilsvarende motivationsfaktor, er resultatet en positiv score. Den lyse farve betegner dermed den andel af virksomhederne, der vurderer, at de har fået mere ud af at anvende AM-teknologi, end de havde forventet, mens den mellemlå farve markerer de virksomheder,

der har fået det forventede udbytte af at anvende AM-teknologi, og den mørke farve den andel, der har fået mindre effekt end de forventede ud af at implementere teknologien.

Figur 6.6: Sammenligning af motivation for og effekt af anvendelse af AM-teknologi



Figur 6.6 viser, at kun en lille del af virksomhederne har opnået større effekter af anvendelse af AM-teknologi, end de havde forventning om. Derimod er andelen, der har opnået mindre effekter end forventet, ganske stor. Alligevel er de adspurgte virksomheder ikke gået bort fra at anvende AM-teknologi i deres forretning. Det indikerer, at virksomhedernes kan have oplevet andre effekter ud af deres anvendelse af AM-teknologi, end de forventede, og at mange virksomheder ser et endnu ikke realiseret potentiale i teknologien. Sætter vi fokus på de faktorer, hvor virksomhederne har haft en større effekt en forventet, så ser vi at den største positive effekt er ved reduktion af lageromkostninger (22%) og produktionsprocesser (ca. 15%). Det er interessant, at nogle om end **få virksomheder faktisk opnår større effekt end forventet indenfor en række bæredygtighedsfaktorer**: 15% af virksomhederne får i højere grad end forventet udviklet produkter, der er lettere at anvende, og 10% af virksomhederne får i højere grad end forventet reduceret materialeforbrug og spild.

6.2 Opsummering

De effekter virksomhederne oplever at have fået ud af deres anvendelse af AM-teknologi er centreret omkring udvikling af produkter og komponenter såvel som øget hastighed i udvikling af prototyper. Dette stemmer overens med de motivationsfaktorer for virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi, der blev kortlagt i afsnit 5. Alligevel er der et spænd mellem de forventninger, der motiverede virksomhederne til at anvende AM-teknologi og de effekter, virksomhederne oplever at have fået ud af at anvende teknologien. Og virksomhederne er oftest ikke i mål med fuldt ud at realisere forventningerne.

7 Barrierer for anvendelse af AM-teknologi

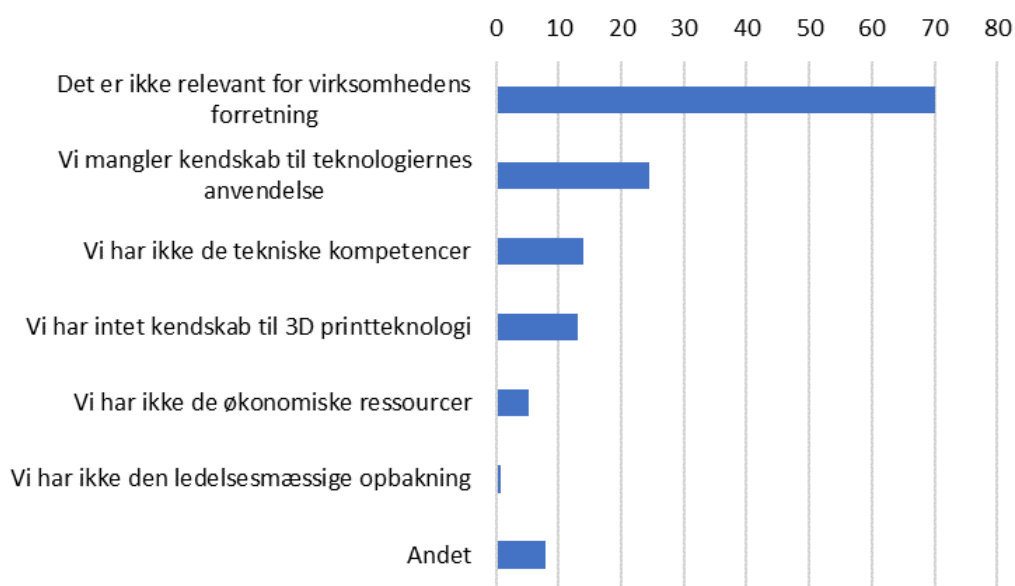
Dette afsnit fokuserer på hvorfor virksomheder ikke anvender AM-teknologi. Formålet er at undersøge, hvilke barrierer virksomheder oplever i forhold til at implementere teknologien. Virksomheder kan opleve forskellige former for barrierer i forhold til at implementere ny teknologi, de kan være organisationsindstillingerne eller komme fra omverden, og de kan enten være reelle eller oplevede udfordringer og problemstillinger. Her er fokus på de barrierer, virksomhederne oplever internt i deres egen organisation i forhold til at implementere AM-teknologi.

For at afdække barriererne for anvendelse af AM-teknologi bliver der i spørgeskemaundersøgelsen spurg ind til forskellige årsager til, at virksomhederne ikke anvender AM-teknologi, og hvorfor virksomheder, der anvender AM-teknologi, ikke har udbredt teknologien til flere domæner. De barrierer, der spørges ind til i spørgeskemaundersøgelsen, er valgt på baggrund af virksomhedernes svar i undersøgelsen fra 2019, akademisk litteratur om adoption af teknologi generelt, og interview med virksomheder om implementering af AM-teknologi. Først analyseres barrierer, som opleves af de virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi. Dernæst analyseres de barrierer, som virksomheder, der anvender AM-teknologi, oplever i forhold til at udbrede deres anvendelse til flere domæner. Det kan for eksempel være virksomheder, der anvender AM-teknologi i udvikling, men ikke i produktion og som produktionsstøtte.

7.1 Barrierer oplevet af virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi

Figur 7.1 viser de væsentligste årsager til, at virksomheder ikke anvender AM-teknologi. Virksomhederne har haft mulighed for at angive flere årsager, så summen af angivne årsager er ikke 100 pct.

Figur 7.1: Barrierer for anvendelse af AM-teknologi



Den mest udbredte barriere for implementering af AM-teknologi er, at virksomhederne vurderer, at teknologien ikke er relevant for deres forretningsområde. **70% af de virksomheder, der ikke anvender**

AM-teknologi, angiver manglende relevans som en årsag til deres fravalg af teknologien. Dernæst er der tre barrierer relateret til tekniske kompetencer og kendskab til AM-teknologi, der afholder mellem 13 og 25% af virksomhederne fra at implementere teknologien. Det er interessant, at **få virksomheder angiver økonomi og ledelsesmæssig opbakning som barrierer for anvendelse af AM-teknologi.** Det indikerer, at virksomhedernes ledelser er åbne overfor anvendelse af teknologien og villige til at sætte ressourcer af, hvis de kan se en fornuftig "use case" for virksomhedens anvendelse af teknologien.

7.2 Barrierer for virksomheder, der allerede anvender teknologien

Ligesom det er væsentligt at vide, hvilke barrierer, de virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi, oplever, er det også centralt spørgsmål, hvorfor de virksomheder, der allerede anvender teknologien til eksempelvis udvikling eller produktion, ikke anvender den til eksempelvis produktionsstøtte. Dette afsnit fokuserer derfor på de virksomheder, der anvender AM-teknologi inden for ét eller to af de tre domæner (produktudvikling, produktionsstøtte og produktion). Der er tale om relativt få virksomheder, og vi afrapporterer derfor antallet af virksomheder, fremfor procentsatser.

Tabel 7.1: Antal virksomheder, der angiver barriere som væsentlige begrænsninger for udbredelse af AM-teknologi til domænet produktudvikling

Væsentligste årsager til ikke at anvende AM-teknologi i produktudvikling	Antal
Produktionsstedet har ingen udviklingsaktiviteter	1
Det er ikke relevant i forhold til nuværende udviklingsprocesser	2
Vi har ikke de økonomiske ressourcer	1
Andet	1
I alt	5

Det er svært at konkludere noget på baggrund af de fem virksomheder, der anvender AM-teknologi, men ikke anvender teknologien til udvikling. Mangel på relevans er det eneste svar, der går igen.

22 af de 51 virksomheder, der anvender AM-teknologi, anvender den ikke i deres produktion. Den hyppigste barriere for anvendelse af AM-teknologi i produktionen er, at virksomhederne ikke vurderer, at der er relevante anvendelsesmuligheder. Dog er der to virksomheder, der angiver teknologiske barrierer, som primær årsag til at de ikke anvender AM-teknologi i produktionen og to, der mangler økonomiske ressourcer.

Tabel 7.2: Antal virksomheder, der angiver barriere som væsentlige begrænsninger for udbredelse af AM-teknologi til domænet produktion

Væsentligste årsager til ikke at anvende AM teknologi i produktionen	Antal
Det er ikke relevant i forhold til nuværende produktionssetup	14
Vi har på nuværende tidspunkt ikke de rigtige teknologier til rådighed	1
Vi har på nuværende tidspunkt ikke de tekniske kompetencer	1
Vi har ikke de økonomiske ressourcer	2
Andet	4
I alt	22

18 af de 51 virksomheder, der anvender AM-teknologi, anvender den ikke til produktionsstøtte. **Den hyppigste barriere for anvendelse af AM-teknologi til produktionsstøtte er også her, at virksomhederne ikke vurderer, at der er relevante anvendelsesmuligheder.** Dog er der 5 virksomheder, der

angiver teknologiske barrierer, som den primære årsag til at de ikke anvender AM-teknologi til produktionsstøtte.

Tabel 7.3: Antal virksomheder, der angiver barrierer som væsentlige begrænsninger for udbredelse af AM-teknologi til domænet produktionsstøtte

Væsentligste årsager til ikke at anvende AM teknologi til produktionsstøtte

	Antal
Det er ikke relevant i forhold til nuværende produktionsprocesser	9
Vi mangler indsigt i hvordan teknologierne kan anvendes til produktion af hjælpværktøjer	1
Vi har på nuværende tidspunkt ikke de rigtige teknologier til rådighed	2
Vi har på nuværende tidspunkt ikke de tekniske kompetencer	2
Andet: (beskriv)	4
I alt	18

For hvert anvendelsesdomæne, har en håndfuld virksomheder angivet "andre årsager" end de, der var listet som muligheder i surveyen, som årsag til at de ikke anvender AM-teknologi på det pågældende domæne. Tre af de interviewede casevirksomheder er eksempler på sådanne andre årsager. Hos Robot Nordic er 3D printede elementers kortere holdbarhed en barriere for at anvende teknologien bredt i virksomheden. Desuden oplever virksomheden, at ejerskab fremfor leasing af teknologien er centralt i forhold til at sikre konstant anvendelse og holde prisen på anvendelsen nede. Fordi virksomheden er teknologiintensiv, har de mulighed for selv tage ejerskab over deres udstyr, men for mindre teknologiintensive virksomheder kan dette repræsentere en barriere i forhold til at anvende AM-teknologi bredt i virksomheden.

Kompetencer og kontrol over AM-teknologi er en fordel

Robot Nordic oplever, at 3D print har en kortere holdbarhed end fx støbte emner. Derudover går virksomhedens 3D-printere i stykker ind i mellem, det medfører pauser i anvendelsen, mens virksomheden afventer en tekniker til at reparere printeren. Virksomheden har erfaret, at de dyre printere ofte er låst i deres elementtyper (der sidder en chip i produktet), så man kun kan anvende printmateriale fra printerproducenten. Derfor bruger virksomheden ikke længere de allerdyreste og bedste printere, da det i længden bliver for dyrt i drift.

Jydsk Emblem Fabrik oplever, at det er en barriere i forhold til anvendelse af AM-teknologi, at de ikke kan nå at oplære medarbejderne i at anvende teknologien hurtigt nok. Det betyder, at selvom virksomheden gerne ville udbrede anvendelsen af AM-teknologi til flere dele af virksomheden, er det ikke muligt.

Oplæring af medarbejdere som barriere for yderligere anvendelse af teknologien

I Jydsk Emblem Fabrik (JEF) foregår samarbejde i teams ved fx fremstilling af nye fiksturer, hvor 3D-print kan være en mulighed. Kompetenceopbygning sker efter behov og gennem dialog med de medarbejdere i virksomheden, der har faglig viden om 3D-print teknologi. Virksomheden oplever, at det er en barriere at finde tid til at oplære flere medarbejdere i at anvende AM-teknologi i takt med den større udbredelse af teknologien i alle dele af virksomhedens produktion og produktionsprocesser.

Gemina Termix vil gerne udvide deres anvendelse af AM-teknologi til også at omfatte deres produktion, men de oplever at det er svært at finde en god businesscase, hvor 3D printede komponenter er mere rentable end de, virksomheden kan fremstille med deres traditionelle produktionsmetoder.

Størrelse og business cases som barriere for at udbrede AM-teknologi til flere anvendelsesdomæner

Gemina Termix afprøver løbende muligheder for også at kunne anvende teknologien til komponenter i produkter til slutkunden. Det sker blandt andet gennem idéudvikling og businesscase-beregninger sammen med ADM centret i Nordborg. ADM-centret har også forskellige teknologi-samarbejder med eksterne parter, herunder Aarhus Universitet (studerende og praktik) og Danmarks Tekniske Universitet (DTU).

Gemina Termix har oplevet barrierer i forhold til at finde en god nok business case for at 3D-printe komponenter til slutprodukter. Virksomheden er også stødt på begrænsninger i forhold til størrelsen af de emner, som kan printes.

7.3 Ingen udvikling i virksomhedernes barrierer for anvendelse af AM-teknologi

De virksomheder, der ikke anvendte AM-teknologi, blev også i 2019 spurgt om, hvilke barrierer der begrænsede deres muligheder for at anvende teknologien. For alle barrierer i figur 13 er udbredelsen i 2021 så godt som identisk med virksomhedernes oplevelse i 2019. Det er i sig selv interessant, at der ikke har været nogen udvikling i, hvor mange virksomhederne der oplever de forskellige barrierer som begrænsende i forholdt til at anvende AM-teknologi.

7.4 Opsummering

Både i forhold til implementering af teknologien generelt og i forhold til at udbrede AM-teknologi til flere anvendelsesdomæner er den primære barriere for virksomhederne at de ikke anser det for relevant at anvende AM-teknologi. Der er ikke sket den store udvikling i de barrierer virksomhederne oplever i forhold til implementering af AM-teknologi siden den første undersøgelse i 2018. Men andelen af virksomheder, der anvender AM-teknologi er steget, hvilket kunne indikere at en lille del af de virksomheder, der tidligere ikke har anset AM-teknologi for at være relevant for deres forretning, nu anvender teknologien.

8 AM-kompetencer

Virksomheder kan anvende AM-teknologi på mange forskellige måder. Nogle virksomheder vælger at købe AM serviceydelser af underleverandører, mens andre vælger at have AM printteknologi internt i virksomheden, og atter andre kombinerer begge løsninger afhængigt af, hvad de har behov for at anvende teknologien til. Virksomhederne anvender også AM-teknologi på forskellige domæner. Nogle anvender teknologien i udviklingsprocessen, andre anvender den som produktionsstøtte til at lave hjælpeværktøjer, og atter andre anvender teknologien direkte i produktion af komponenter eller hele produkter. Endelig kombinerer nogle virksomheder AM-teknologi på tværs af de tre anvendelsesdomæner. Der er også forskel på, i hvor høj grad virksomhederne udnytter de muligheder, AM-teknologi åbner op for.

I modellen i figur 8.2 er virksomhederne indplaceret på tre dimensioner: Ejerskab over teknologien, anvendelsesdomæne for teknologien og udnyttelsesgraden af de teknologiske løsninger, virksomhederne anvender indenfor de domæner, de anvender dem på. Figuren indeholder tre dimensioner, der kort forklares i teksten og i tabel 8.1, tabel 8.2 og figur 8.1 nedenfor. Modellen i figur 8.2 inddeler på Y-aksen virksomhederne i tre rækker efter deres ejerskab over teknologien: Ejer/leaser eget AM udstyr, køber AM serviceydelser fra underleverandører, og endelig de, der både ejer/leaser eget AM udstyr og køber AM serviceydelser fra underleverandører. De tre kategorier af ejerskab er beskrevet i tabel 8.1.

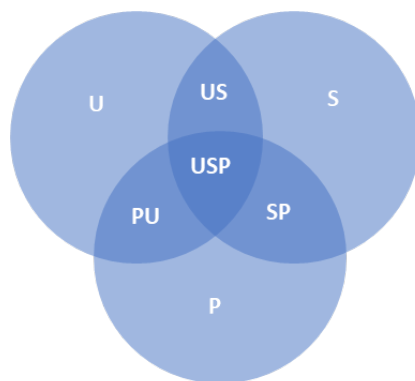
Tabel 8.1: AM printkompetencer og ejerskab over teknologien

Kompetenceprofil	Beskrivelse	Eksempler
Ejer/leaser eget AM udstyr og køber AM serviceydelser fra underleverandører	Ejer, leaser AM-teknologi og tilkøber AM ydelser	Virksomheden har en AM-teknologisk platform med tilhørende kompetencer, som suppleres med services fra eksterne samarbejdspartnere.
Ejer/leaser eget AM udstyr	Ejer AM-teknologi Leaser AM-teknologi	Virksomheden anvender teknologien internt og har opbygget egne kompetencer. Virksomheden anvender teknologien internt og har opbygget egne kompetencer.
Køber AM serviceydelser fra underleverandører	Tilkøber AM ydelser	Virksomheden har ikke egne AM-kompetencer.

Virksomheder, der køber AM printservices fra underleverandører, er indplaceret på det laveste AM printkompetenceniveau. Disse virksomheder vurderes at have det laveste kompetenceniveau, da de ikke selv anvender AM printteknologi i dagligdagen. Virksomheder, der selv har AM printteknologi internt i virksomheden, er placeret på det mellemste AM printkompetenceniveau, da de vurderes selv at mestre teknologien og anvende den. Virksomheder, der kombinerer begge ejerskabsformer efter behov og afhængigt af, hvad de har behov for at anvende teknologien til, vurderes at have det højeste AM kompetenceniveau. Disse virksomheder anvender deres viden om og erfaring med forskellige former for AM-teknologi til at beslutte, hvilke anvendelser der skal ske internt i virksomheden, og hvilke der skal købes fra underleverandører.

X-aksen inddeler virksomhederne i grupper baseret på, hvilke og hvor mange domæner de anvender teknologien indenfor. De tre primære anvendelsesdomæner for AM-teknologi er udvikling, produktionsstøtte og produktion, denne opdeling er markeret med tre kolonner i modellen i figur 8.2.

Figur 8.1: Mulige kombinationer af anvendelsesdomæner for AM-teknologi



U: Udvikling af nye produkter (prototyper mv.)
 S: Produktionsstøtte (hjælpeværktøjer, fiksturer, forme, grippere mv.)
 P: Produktion (færdigt produkt, komponenter mv.)
 US: Udvikling af nye produkter og Produktionsstøtte
 SP: Produktionsstøtte og Produktion
 PU: Produktion og Udvikling af nye produkter
 USP: Udvikling af nye produkter, Produktionsstøtte og Produktion

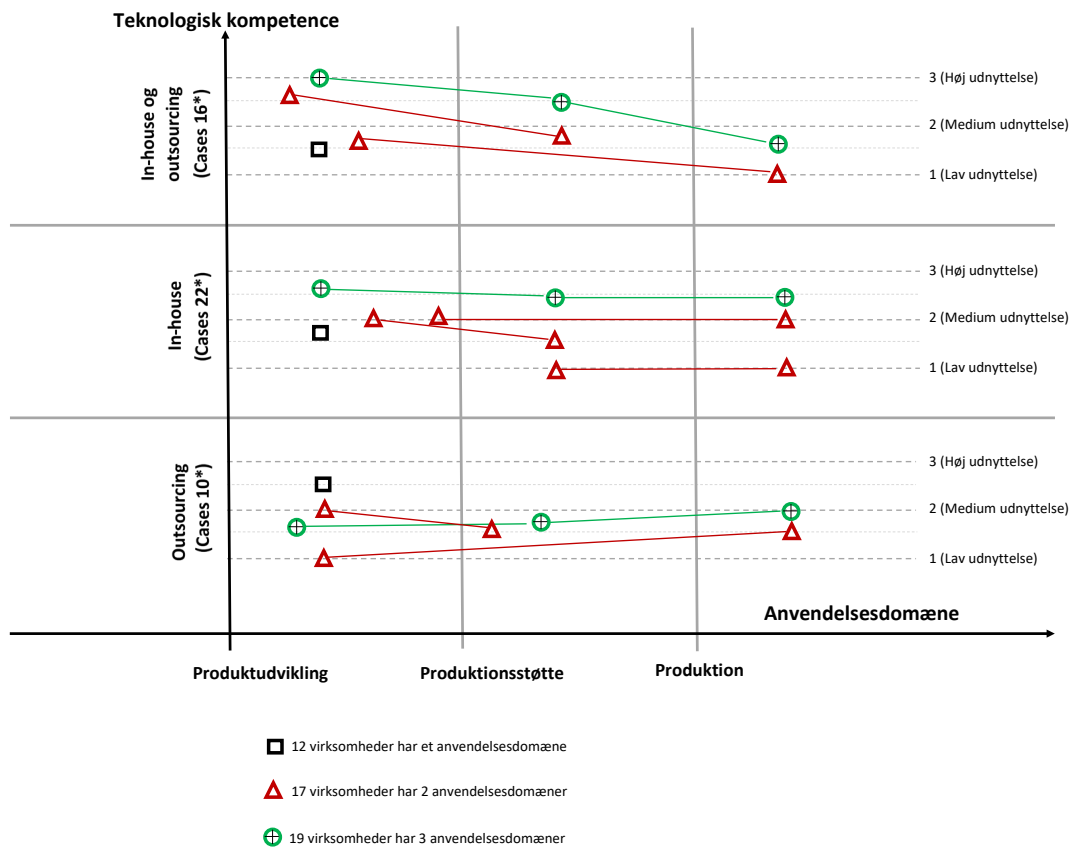
Tabel 8.2 beskriver eksempler på, hvordan virksomhederne typisk arbejder inden for hvert af de tre anvendelsesdomæner, og figur 8.1 illustrerer de mulige syv kombinationer af de tre anvendelsesdomæner.

Tabel 8.2: Anvendelsesdomæner for AM-teknologi

Anvendelsesdomæne	Beskrivelse
Produktudvikling (U)	Prototyping (evt. rapid), AM-printning af prototyper, testmodeller eller 0-serier, til understøttelse af udviklings- og innovationsarbejde.
Produktionsstøtte (S)	Direct Tooling, AM-printning af støtteværktøjer til den kørende produktion i form af fiksturer, robotgribere, forme o.l.
Produktion (P)	Direct Manufacturing, AM-printning af komponenter, der anvendes i færdig form (evt. efterforarbejdning), enten som færdige produkter eller komponenter.

Mange virksomheder anvender AM-teknologi indenfor mere end et domæne. Dette er illustreret ved, at virksomhederne i modellen i figur 8.2 har forskellige farver og symboler alt efter, hvilke domæner de anvender teknologien inden for. De sorte firkanter markerer de virksomheder, der kun anvender AM-teknologi indenfor et domæne, altså enten produktudvikling, eller produktionsstøtte eller i produktionen. De røde trekantede markerer de virksomheder, der anvender AM-teknologi på enhver kombination af to domæner. Derfor er trekantede også forbundne to og to med røde linjer for at illustrere, hvilken kombination af anvendelsesdomæner, der er tale om. Endelig markerer de grønne cirkler de virksomheder, der anvender AM-teknologi indenfor alle tre domæner. Derfor er de grønne cirkler forbundet med grønne linjer, og der er kun en serie for hver ejerskabsform. I figur 8.2 er der kun indtegnet fem kombinationer, da ingen virksomheder har angivet, at de alene anvender AM til enten produktionsstøtte eller produktion.

Figur 8.2: Model for virksomhedernes AM-kompetence sat i forhold til anvendelsesdomæner og udnyttelsesgrad af teknologien



Endelig har figur 8.2 en tredje dimension, der illustrer i hvilken grad virksomhederne udnytter potentialet i AM-teknologi inden for de forskellige anvendelsesdomæner. Det er ikke givet, at virksomheder udnytter teknologiens potentiale fuldt ud. Virksomheder kan eksempelvis købe en 3D printer, men kun anvende den i begrænset omfang eller til en snævert defineret række af opgaver. De deltagende virksomheder har angivet, i hvilken grad potentialet for AM-teknologi vurderes som enten lav (1), mellem (2) eller høj (3) udnyttelse. Denne dimension er illustreret på akse til højre, der inddeler hver ejerskabsform og anvendelsesdomæne efter høj, medium og lav udnyttelsesgrad.

Figur 8.2 viser kombinationen af de tre dimensioner. Det fremgår, at de virksomheder, som kun anvender AM-teknologi inden for et domæne, alle anvender teknologien til produktudvikling, der er ingen virksomheder i undersøgelsen, der angiver, at de udelukkende anvender AM-teknologi til produktionsstøtte eller produktion. De virksomheder, der har 3D printudstyr selv, udnytter potentialet i teknologien mest, når de anvender teknologien på alle tre domæner (udvikling, produktionsstøtte og i produktionen), mindre når de anvender teknologien på to domæner, og mindst, når de kun anvender teknologien på et enkelt domæne (produktudvikling). De virksomheder, som både har 3D-printere og køber printydelser hos underleverandører, har højest udnyttelsesgrad i anvendelsesdomænet produktudvikling.

Strategisk valg at tilkøbe AM-kompetencer

HASLE Refractories køber 3D-print ydelser fra underleverandører, når behovet for 3D-print er til stede, da virksomheden ikke selv har specifik viden om AM-teknologi. Virksomheden har også overvejet at benytte teknologien til tooling fx til at fremstille støbeforme og ikke blot prototyper af støbeforme. Virksomheden har efterfølgende nedprioriteret denne indsats, da den indkøber for få nye støbeforme til, at det kan betale sig at gå ombord i denne nye teknologi. Virksomheden har dermed valgt, at fremstilling af støbeforme fortsat er en kompetence, den henter udefra.

Hasle Refractories er et eksempel på en tilgang til AM-teknologi, hvor virksomheden køber 3D printydeler og afvejer sideløbende, om det giver mening for virksomheden at udvide antallet af anvendelsesdomæner for teknologien og om virksomheden skal opbygge kompetencer til at have AM-teknologi internt.

VELA er et andet eksempel på en virksomhed, der løbende overvejer, hvordan den bedst kan anvende AM-teknologi.

Hurtig validering og færdiggørelse af prototyper

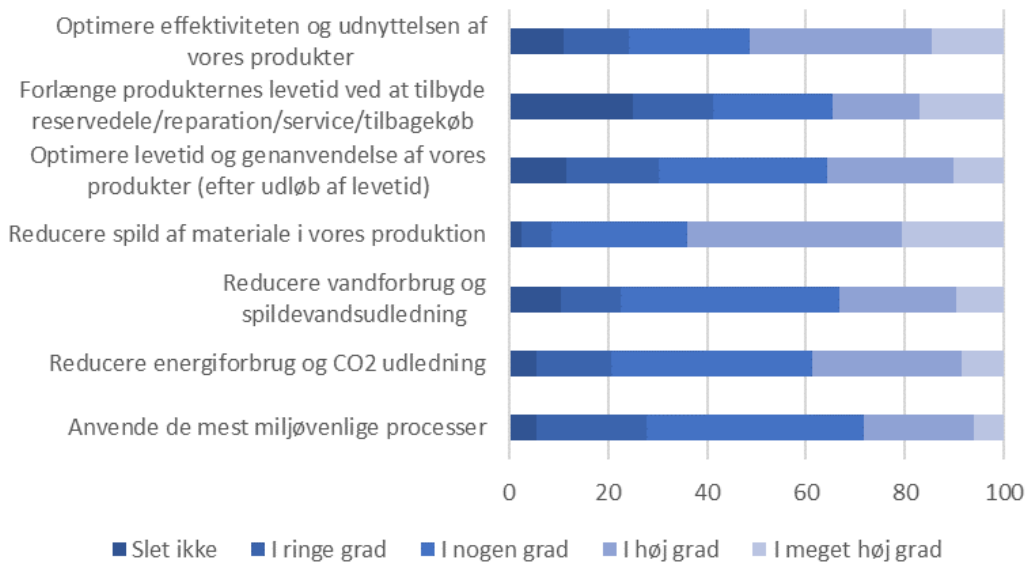
VELA har anvendt AM-teknologi siden 2012 og ejer selv FDM-teknologi. Virksomheden vurderer, at potentialet ved teknologien i høj grad er udnyttet i udviklingsprocessen, mens der fortsat kan være uudnyttet potentiale i produktion af hjælpemidler og i produktion af komponenter til slutprodukter. Derudover kunne metal-print også være et nyt område for yderligere anvendelse af teknologien, men der er ingen konkrete planer om det.

9 AM-teknologi og bæredygtig produktion

Bæredygtig produktion og grøn omstilling står højt på den politiske agenda, og mange virksomheder arbejder aktivt med at forbedre aspekter af deres forretning og gøre den mere bæredygtig. Virksomhederne i denne undersøgelse er derfor blevet spurgt om, i hvilken udstrækning de arbejder med grøn omstilling og bæredygtighed, og i hvor høj grad de har fokus på en række områder inden for bæredygtighed.

Figur 9.1 viser virksomhedernes vurdering af fokus på de forskellige områder i relation til grøn omstilling og bæredygtighed. **Mere end 60 pct. af virksomhederne har i meget høj grad eller i høj grad fokus på at reducere spild af materiale i produktionen og godt halvdelen har i meget høj grad eller i høj grad fokus på at optimere effektiviteten og udnyttelsen af virksomhedens produkter.** Der tegner sig et billede af, at det nære bidrag til bæredygtighed i forhold til virksomhedens egen produktion og produkter ikke så overraskende har lidt større opmærksomhed i virksomhederne end de samfundsmæssige formål med den grønne omstilling.

Figur 9.1: Fokusområder i relation til grøn omstilling og bæredygtighed



Det er værd at bemærke, at yderligere ca. 40 pct. af virksomhederne i nogen grad har fokus på at reducere energiforbrug og CO2-udledning. Det svarer til, at i alt omkring 80 pct. af virksomhederne har angivet at de har fokus på dette område i nogen grad, i høj grad eller i meget høj grad. Tilsvarende har ca. 40 pct. af virksomhederne i nogen grad fokus på at reducere vandforbrug og spildevandsudledning og anvende de mest miljøvenlige processer. Det tyder på, at reduktionsmål på CO2-udledning og energi- og vandforbrug samt certificeringer i fx miljøledelse i virksomhederne giver sig udslag i en meget stor opmærksomhed på disse områder. Der er samtidig også økonomiske gevinster at hente ved at spare på ressourceforbruget, hvilket kan bidrage til virksomhedernes fokus på disse områder.

Omkring 40 pct. af virksomhederne har slet ikke eller i ringe grad fokus på at forlænge produkternes levetid ved at tilbyde reservedele/reparation/service/tilbagekøb, mens omkring 30 pct. slet ikke eller i ringe grad har fokus på at optimere levetid og genanvende produkter efter udløb af levetid. Denne tendens er ikke overraskende i lyset af, at feltet for cirkulær økonomi og genanvendelse af materialer fortsat er nyt og i rivende udvikling.

9.1. Sammenhænge mellem AM-teknologi og bæredygtighed

I tabel 9.1 er virksomhederne opdelt efter, hvorvidt de anvender AM-teknologi eller ej, og tabellen viser i hvilken grad hver gruppe fokuserer på reduktion af energi- og materialeforbrug. Sammenlignet med virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi, så er der en lidt større andel af virksomhederne, der anvender AM-teknologi, der har fokus på anvendelse af de mest miljøvenlige processer, reduktion af energiforbrug og reduktion af materialespild.

Tabel 9.1: Fokus på reduktion af energi- og materialeforbrug

	Anvende de mest miljøvenlige processer			Reducere energiforbrug og CO2 udledning			Reducere vandforbrug og spildevandudledning			Reducere spild af materiale i vores produktion		
	Slet ikke	I lav grad	I høj grad	Slet ikke	I lav grad	I høj grad	Slet ikke	I lav grad	I høj grad	Slet ikke	I lav grad	I høj grad
Anvender <i>ikke</i> AM-teknologi	6%	71%	24%	5%	61%	35%	10%	59%	31%	3%	37%	61%
Anvender AM-teknologi	6%	57%	38%	8%	45%	47%	11%	51%	38%	2%	27%	71%

I tabel 9.2 er virksomhederne fortsat opdelt efter, hvorvidt de anvender AM-teknologi eller ej, og viser i hvilken grad virksomhederne fokuserer på bæredygtighedsfaktorer relateret til selve produkterne og cirkulær økonomi forstået som den miljøbelastning produkterne udgør gennem hele deres livscyklus. Igen er der en tendens til, **at de virksomheder, der anvender AM-teknologi, vægter bæredygtighedsfaktorer højere, end de virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi.** Forskellen er dog kun signifikant for "forlænge produkternes levetid" ($p=0,003$).

Tabel 9.2: Fokus på bæredygtige produkter og cirkulær økonomi

	Forlænge produkternes levetid			Optimere effektiviteten og udnyttelsen af vores produkter			Optimere levetid og genanvendelse af vores produkter		
	Slet ikke	I lav grad	I høj grad	Slet ikke	I lav grad	I høj grad	Slet ikke	I lav grad	I høj grad
Anvender <i>ikke</i> AM-teknologi	13%	55%	33%	30%	40%	30%	13%	39%	48%
Anvender AM-teknologi	9%	49%	42%	13%	42%	45%	8%	34%	59%

Af afsnit 5 og 6 fremgik det, at bæredygtighed hverken er en primær motivationsfaktor for eller effekt af anvendelse af AM-teknologi blandt virksomhederne. Der er dog interessant, at der er en relation mellem bæredygtighed og AM-teknologi at spore i casevirksomhedernes beretninger: Selvom bæredygtigheds-hensyn ikke i sig selv motiverer virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi, så er mere bæredygtige produktionsformer til tider en afledt effekt af anvendelse af AM-teknologi. Hos Jydsk Emblem Fabrik har anvendelse af AM-teknologi eksempelvis øget hastigheden i virksomhedens udvikling og produktion ved at reducere behovet for at sende prototyper rundt i verden, og dermed reduceret virksomhedens CO2 udledning i forbindelse med transport. Anvendelse af AM har også reduceret spild, men hverken CO2

reduktion eller reduktionen af spild var blandt virksomhedens primære årsager til at anvende AM-teknologi, det var primært økonomiske hensyn og hensyn til servicering af kunder.

3D-print bidrager til mere bæredygtig forsyningskæde og hurtigere levering

Jydsk Emblem Fabrik har gennem de sidste ti år arbejdet på at få mere og mere produktion hjem til Danmark. Det reducerer udgifter og transporttid, og gør også, at virksomheden bedre kan sikre kvaliteten af de produkter, som de selv producerer. Den lokale produktion højner virksomhedens fleksibilitet og sidst men ikke mindst formindskes leveringstiden. AM-teknologi giver mulighed for at få produkterne hurtigere frem og for at levere mere kundetilpassede og differentierede produkter, hvilket giver virksomheden mulighed for at yde bedre kundeservice og forbedre sin konkurrenceevne. Samtidig giver teknologien også mulighed for at reducere spild af materiale, hvilket giver både økonomiske og miljømæssige gevinster. Det gælder også for prototyper, der tidligere blev fremstillet i Kina, og som nu kan 3D-printes i Danmark og dermed hurtigere og med mindre transporttid og -omkostninger kan vises frem til kunder.

Germina Termix er et eksempel på en virksomhed, der har bæredygtighed og herunder særligt miljømæssig bæredygtighed som er en central del af virksomhedens værdigrundlag. Virksomheden ser industri 4.0 som en mulighed for at realisere deres vision om mere bæredygtig produktion, og anvendelse af AM-teknologi er et element i denne bredere indsats.

Bæredygtighed hænger sammen med at begrænse spild (lean) og reducere omkostninger

Gemina Termix ønsker at påtage sig et miljømæssigt ansvar, og som en naturlig følge heraf er virksomheden i 2001 blevet miljøcertificeret efter den internationale miljøstandard ISO 14001. Miljøstyring efter ISO 14001 er virksomhedens redskab til løbende at styre, overvåge og nedbringe eller eliminere den belastning af miljøet, der kan fremkomme i forbindelse med virksomhedens aktiviteter.

Virksomheden har i meget høj grad fokus på at reducere spild af materiale i produktionen og optimere effektiviteten og udnyttelsen af produkterne. Det hænger sammen med et generelt internt fokus på at reducere omkostninger og spare på materialer. Derudover har virksomheden også i høj grad fokus på at reducere energiforbrug og CO₂-udledning, optimere levetid og genanvendelse af produkter samt forlænge produkternes levetid ved at tilbyde reservedele mv.

"Digitalisering og bæredygtighed er to af de emner, vi har meget fokus på i virksomheden. De går hånd i hånd - at få digitaliseret processer og skabe bedre bæredygtighed."

Bæredygtighed og særligt miljøhensyn er også en del af Robot Nordic's strategi, og virksomheden har fundet en direkte anvendelse af AM-teknologi i forbindelse med 3D print af reservedele. Her bidrager AM-teknologi og muligheden for print-on-demand direkte til en mere miljømæssig bæredygtig produktion, idet materialeforbruget reduceres når virksomheden kun printer de reservedele, der er behov for, når der er behov for dem.

VELA anvender 3D print til produktion af komponenter til slutprodukter i lave volumen. Disse prints kan også forventes at få en relation til bæredygtighed, men dette realiseres ikke på nuværende tidspunkt.

Bæredygtig produktion i Danmark og fokus på genanvendelse

VELA producerer stole og er certificeret i kvalitets- og miljøledelse i henhold til ISO9001 og ISO14001. Virksomheden har en klart defineret kvalitets- og miljøledelsespolitik, som efterleves af alle virksomhedens medarbejdere. Virksomheden arbejder løbende med forbedringer af såvel produkter og processer ud fra konkrete målsætninger, så den opfylder krav fra både kunder og myndigheder. VELA's produkter har en lang levetid og bliver genanvendt af bruger efter bruger, og når en stol er slidt op, genbruger VELA så mange dele som muligt. Med fokus på miljørigtige valg arbejder virksomheden konstant mod en mere bæredygtig produktion, der underbygger den miljømæssige ansvarlighed hos VELA.

Virksomheden oplever, at omverdenen har flere spørgsmål end tidligere til produkterne vedrørende anvendelse af genbrugsmateriale og recirkulering. Det gælder særligt de offentlige kunder, og selvom de endnu ikke stiller specifikke krav til bæredygtighed i udbudsmaterialet, så indgår det ofte i den samlede vurdering.


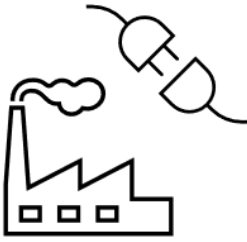
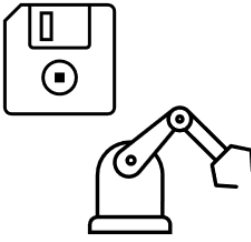
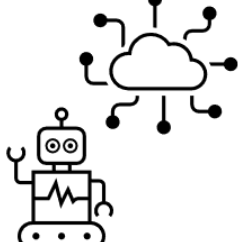
Virksomheden har i høj grad fokus på at reducere energiforbrug og CO₂-udledning, reducere spild af materiale i produktionen, optimere effektiviteten og udnyttelsen af produkterne, optimere levetid og genanvendelse af produkter samt forlænge produkternes levetid ved eksempelvis at tilbyde reservedele.

"Det er ikke relateret til 3D-print. Det er mere bæredygtighed i forhold til vores produkter."

10 Industri 4.0 og fremtiden

AM-teknologi er en del af den omfattende forandring af produktionen, der populært kaldes den fjerde industrielle revolution eller Industri 4.0. Betegnelsen industri 4.0 udspringer af en forventning om, at digitalisering vil revolutionere produktion i samme omfang som mekanisering og dampkraft (1. industrielle revolution), masseproduktion og elektrificering (2. industrielle revolution) og automatisering og computere (3. industrielle revolution) tidligere har gjort (se Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). *Industry 4.0. Business & information systems engineering*, 6(4), 239-242. For en gennemgang). Industri 4.0 har fokus på kobling af digitale teknologier med den fysiske verden, på kollaborative maskiner og samarbejde mellem mennesker og maskiner. Der er tale om en integration af digital information og fysisk produktion, hvor mennesker og maskiner ved gensidig koordinering kan udvikle og producere på nye måder. Industri 4.0 er et centralt tema for fremtidens erhvervsliv, og spørgeskemaundersøgelsen er derfor i 2021 suppleret med en række spørgsmål til, hvordan virksomhedernes anvendelse AM-teknologi har påvirket deres investering og forretning generelt.

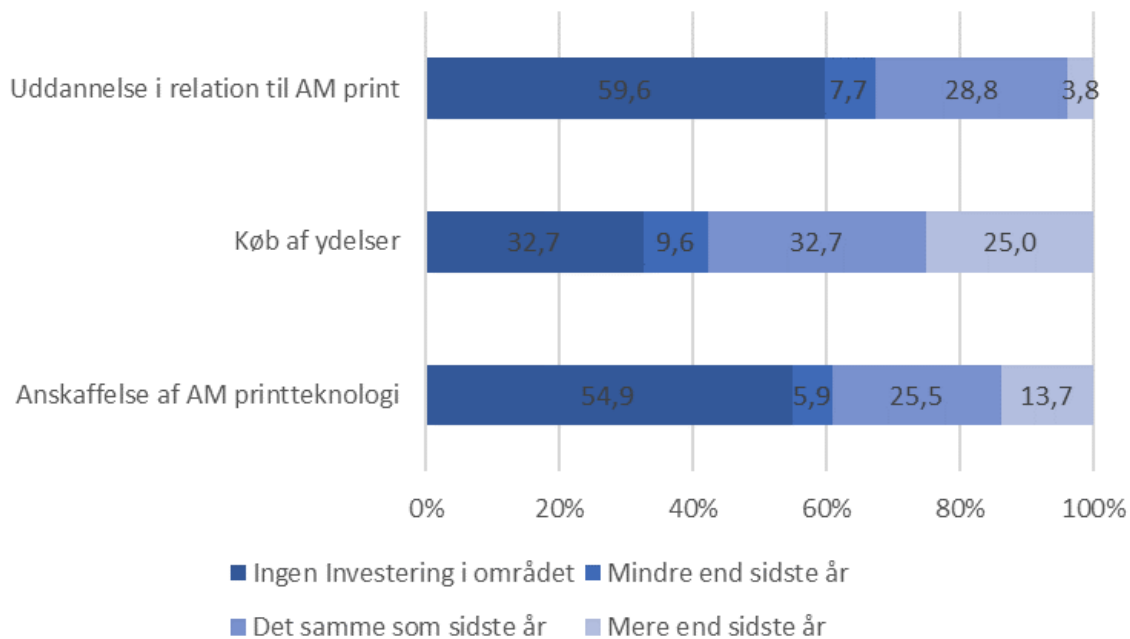
Figur 10.1: De fire industrielle revolutioner

Den første industrielle revolution: mekanisering	Den anden industrielle revolution: elektrisk samlebåndsproduktion	Den tredje industrielle revolution: automatisering og IT	Den fjerde industrielle revolution: digitalisering og connectivity
			

Fokus for dette afsnit er, hvordan industri 4.0 generelt påvirker konkurrenceevnen for virksomhederne i undersøgelsen, og hvordan de vurderer anvendelse af AM i fremtiden, og om teknologien har påvirket deres forretningsmodeller.

De virksomheder, der anvender AM-teknologi, er blevet spurgt om, hvordan deres investering i AM-teknologi har udviklet sig i 2021, resultaterne er vist i figur 10.2. Ca. 60% af virksomhederne har enten ikke investeret i anskaffelse af udstyr eller brugt mindre end i 2020, de resterende knap 40% har enten brugt det samme eller mere end i 2020. 40% af de adspurgte virksomheder har enten ikke investeret i køb af ydelser, eller investeret mindre end i 2020, derimod har knap 60% investeret det samme eller mere end i 2020. Når det gælder uddannelse i relation til AM-teknologi, har to tredjedele af virksomhederne enten ikke investeret eller investeret mindre end i 2020, resten har enten investeret det samme eller mere, men det er kun en ganske lille del, kun to virksomheder, der har investeret mere end i 2020 i uddannelse relateret til AM-teknologi.

Figur 10.2: Investeringer i AM-teknologi i 2021



10.1 AM-teknologiens indflydelse på forretningsmodellen

Tabel 10.1 viser, i hvor stor udstrækning virksomheder, der anvender AM-teknologi, vurderer, at teknologien har haft indflydelse på deres forretningsgang. I gennemsnit angiver 40% af de virksomheder, der anvender AM-teknologi, at anvendelsen har haft indflydelse på deres forretningstilgang. Sammenlignes hver gruppe med gennemsnittet, er der en overvægt af de virksomheder, der både har egen AM-teknologi og samtidig tilkøber AM-teknologi, som oplever at anvendelsen af AM har indflydelse på deres forretningstilgang. Det samme er tilfældet for de virksomheder, der ikke selv har AM-teknologi, men udelukkende køber AM serviceydelser. Blandt de virksomheder, der udelukkende anvender egne printfaciliteter, er der dog en overvægt af virksomheder, der ikke mener AM har indflydelse på deres forretningstilgang.

Tabel 10.1: Effekter på virksomhedens forretningstilgang

	Har indflydelse	Har <i>ikke</i> indflydelse	I alt
Ejer/leaser og køber services	45,0%	33,3%	37,3%
Ejer/leaser	30,0%	46,7%	41,2%
Køber services	25,0%	20,0%	21,6%
I alt	100%	100%	100%

10.2 Fremtidig investering i AM-teknologi

Virksomhedernes planlagte investeringer i AM-teknologi kan give en indikation af, hvad de forventer at få ud af AM-teknologi i fremtiden. Virksomhederne er derfor også blevet spurgt om deres konkrete planer for investering i AM-teknologi. Tabel 9.2 viser, om virksomhederne planlægger at investere mere i AM-

teknologi i det kommende år eller ej. Her svarer godt en tredjedel, at de forventer at øge deres investering i 2022, knap halvdelen af virksomhederne forventer ikke at investere mere end i 2021, end de har gjort de foregående år, og resten er endnu uafklarede omkring deres fremtidige investeringer i AM-teknologi.

Tabel 10.2: Virksomhedernes forventet fremtidig investering i AM-teknologi

	Antal	Procent
Forventer at investere mere i det kommende år	19	36,5%
Forventer ikke at investere mere i det kommende år	24	46,2%
Ved ikke	9	17,3%
I alt	52	100%

10.3 AM-teknologi, produktinnovation og procesinnovation

For at deltage i Industri 4.0 må virksomheder kontinuerligt forny deres processer og produktportefølje. Det er derfor interessant at undersøge, om der er en sammenhæng mellem virksomheders innovationsaktivitet og deres anvendelse af AM-teknologi. Tabel 10.3 og 10.4 viser andelen af virksomheder, der har introduceret hhv. nye produkter og nye processer i de seneste tre år, fordelt efter om virksomhederne anvender AM-teknologi.

Tabel 10.3: Udvikling af nye produkter

		Har virksomheden det seneste 3 år introduceret nye produkter?		
		Ja	Nej	
Anvender virksomheden 3d printteknologi?	Nej	72,9%	27,1%	100%
	Ja	84%	16%	100%
	I alt	76,4%	23,6%	100%

Baseret på tabel 10.3 er der sammenhæng mellem virksomheders anvendelse af AM-teknologi og deres introduktion af nye produkter. Virksomheder, der anvender AM-teknologi, er mere tilbøjelige til at introducere nye produkter, end virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi. Tabel 10.4 viser sammenhængen mellem virksomhedernes anvendelse af AM-teknologi og om de har introduceret nye processer de seneste 3 år. Her er sammenhængen endnu stærkere: andelen af virksomheder, der har introduceret nye processer, er næsten dobbelt så stor blandt de virksomheder, der anvender AM-teknologi, som blandt de, der ikke anvender AM-teknologi.

Tabel 10.4: Udvikling af nye processer

		Har virksomheden det seneste 3 år introduceret nye processer?		
		Ja	Nej	
Anvender virksomheden 3d printteknologi?	Nej	38,3%	61,7%	100%
	Ja	62,7%	37,3%	100%
	I alt	46,2%	53,8%	100%

Det er ikke givet, at anvendelse af AM-teknologi fører til øget produkt- og procesinnovation, eller omvendt at en høj innovationsaktivitet motiverer virksomheder til at anvende AM. Men selvom det ikke er

muligt at afgøre, hvad, der er årsag og effekt, er det baseret på tabel 10.3 og 10.4 tydeligt **at der er en sammenhæng mellem virksomheders anvendelse af AM-teknologi og deres innovationsaktivitet.**

Jydsk Emblem Fabrik er et eksempel på en virksomhed, der kombinerer anvendelse af AM-teknologi med et højt niveau af innovationsaktivitet generel. Virksomheden anvender forskellige typer AM-teknologi, både ejer egen teknologi og køber sig til teknologi, som virksomheden ikke har selv, og løbende vurderer potentiale for at anvende AM-teknologi på nye områder. Denne konstante vurdering af muligheder og potentiale giver virksomheden et stærkt udgangspunkt for at arbejde med nye produkter og processer.

Stor motivation og effekt ved anvendelse af teknologien

Jydsk Emblem Fabrik har anvendt AM-teknologi siden slutningen af 2017, og anvendelsen er de senere år øget betydeligt. Virksomheden ejer selv FDM-teknologi og har de senere år også købt SLA-teknologi. Teknologien anvendes til 3D-print i forbindelse med produktudvikling (prototyper), støtteværktøjer til produktion (holdere, grippere til UR-robot) og til færdige produkter fx et nyt beslag udviklet efter et kundeønske. 3D-print anvendes hovedsageligt med plast-materiale (PLA og nylon) og flydende resin. Metalprint vurderes endnu ikke at være i god nok kvalitet til virksomhedens produkter eller hensigtsmæssigt i forhold til virksomhedens produktionsprocesser, men potentialet vurderes løbende.

3D-print teknologi giver mulighed for at få produkterne hurtigere frem og at levere mere kundetilpassede og differentierede produkter, hvilket giver virksomheden mulighed for at yde bedre kundeservice og forbedre sin konkurrenceevne. Virksomheden har stor variation i produkterne, så det giver fleksibilitet i produktionen at kunne 3D-printe, og det kan minimere processer med kunden ved specialfremstillinger og dermed reducere lead time. Samtidig giver teknologien også mulighed for at reducere spild af materiale, hvilket giver både økonomiske og miljømæssige gevinster.

10.4 Opsummering

Dette afsnit fokuserede på virksomhedernes udvikling og hvordan deres investeringer og innovationsaktivitet hænger sammen med anvendelse af AM-teknologi. Virksomhederne forventer at investere mindre i uddannelse og indkøb af udstyr relateret til AM-teknologi. Det er muligvis en konsekvens af, at de virksomheder, der har svaret på spørgsmålet allerede anvender teknologien og derfor allerede har foretaget de første store investeringer i udstyr og uddannelse. Virksomhederne angiver til gengæld at de forventer at deres køb af ydelser fortsætter på samme niveau som foregående år. En tredjedel af virksomhederne forventer at deres samlede investeringer i AM-området vil stige i forhold til det foregående år. På baggrund af de allerede foretagne investeringer og forventningerne til fremtidige investeringer i AM-teknologi, er det ikke overraskende, at det er de virksomheder, der både ejer/leaser og køber services, der oftest tilkendegiver at AM har en indflydelse på deres forretningsgang. Virksomheder, der anvender AM-teknologi, er mere tilbøjelige til at introducere nye produkter og langt mere tilbøjelige til at introducere nye processer, end virksomheder, der ikke anvender AM-teknologi.

11 Metode

I dette afsnit forklares den dataindsamling og metode, der ligger til grund for rapporten. Rapporten bygger på tre typer datamateriale: besvarelser af et spørgeskema sendt til danske produktionssteder i efteråret 2021, besvarelser af lignende spørgeskemaer fra 2018 og 2019 og interview med udvalgte case-virksomheder.

11.1 Spørgeskema 2021

Spørgeskemaet er målrettet produktionssteder med 20 ansatte eller derover. Definitionen af et produktionssted er den samme som Danmark Statistiks definition af arbejdssteder, dog med den yderligere forudsætning, at der skal være produktion på arbejdsstedet². Mange virksomheder har kun ét produktionssted, men nogle større virksomheder har flere produktionssteder. Vi har valgt at gennemføre analysen på produktionsstedsniveau for at sikre, at vores viden om anvendelse af AM-teknologi i industriel produktion kommer fra medarbejdere tæt på produktionen og ikke fra medarbejdere tilknyttet et hovedkontor eller et arbejdssted uden produktion. Større virksomheder med flere produktionssteder kan derfor være repræsenteret i data med flere produktionssteder. I rapportens øvrige kapitler omtaler vi *produktionssteder* som *virksomheder* eller *produktionsvirksomheder*. Det er som forklaret ovenfor ikke den teknisk korrekte betegnelse, men det øger læsevenligheden tilstrækkeligt til, at vi har vurderet at den manglende præcision er acceptabel.

Populationen for spørgeskemaundersøgelsen er afgrænset til produktionssteder med 20 ansatte eller derover. Der er udtrukket data fra Bisnode. Efter rensning for dubletter, manglende e-mailadresse og sletning ved reklamebeskyttelse indeholder databasen 1.799 produktionssteder indenfor branchekode 10-33 og med mere end 20 ansatte på adressen. Der er i alt modtaget 167 besvarelser, det giver en svarprocent på 9,3%. Proceduren for kontakt og opfølgning er beskrevet i boks 11.1.

Boks 11.1: Kontakt til virksomheder og opfølgning i forbindelse med spørgeskemaundersøgelsen

26. oktober 2021: Invitationsmail med link til spørgeskema sendt til 1.799 produktionssteder med kendt e-mailadresse.

3. november 2021: Første påmindelse sendt til 1.747 produktionssteder, der endnu ikke havde besvaret spørgeskemaet.

9. november 2021: Anden påmindelse sendt til 1.642 produktionssteder, der endnu ikke havde besvaret spørgeskemaet.

8. - 12. november 2021: Telefonisk kontakt til tilfældigt udvalgte virksomheder med opfordring til at besvare spørgeskemaet.

Produktionssteder, der hverken anvender eller overvejer at anvende AM-teknologi, har formodentlig været mindre tilbøjelige til at besvare spørgeskemaet. Enkelte produktionssteder har tilkendegivet, at de

² Se Danmark Statistiks definition af arbejdssteder: <https://www.dst.dk/da/TilSalg/Forskningsservice/Dokumentation/hoejkvalitetsvariable/ida-arbejdssteder>

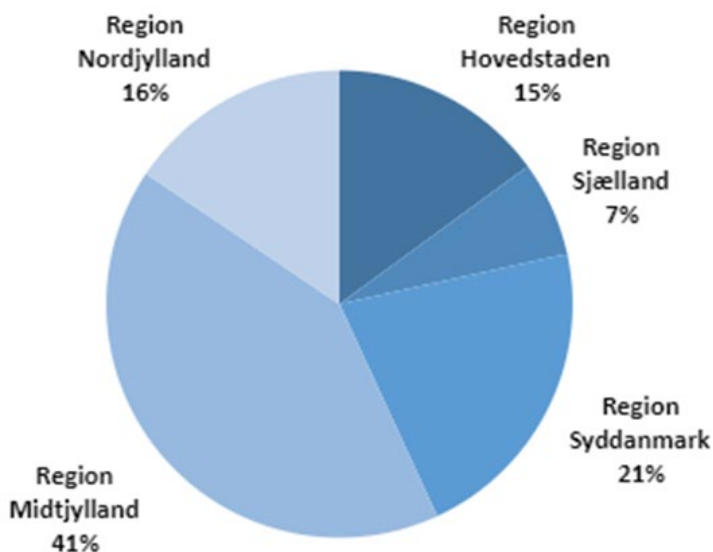
ikke oplevede at de kunne bidrage til undersøgelsen, når de ikke selv anvendte AM-teknologi og ikke havde kendskab til teknologien og de relaterede processer. I følgeteksten til spørgeskemaet, såvel som i første og anden rykker og under den telefoniske opfølgning, blev det understreget, at alle besvarelser er vigtige. Og produktionsstederne er blevet opfordret til at besvare spørgeskemaet, uanset om de kender til og anvender AM-teknologi eller ej.

Datagrundlaget varierer på tværs af rapportens analyser. Det skyldes, at kun de produktionssteder, der har angivet, at de anvender AM-teknologi, er blevet stillet spørgsmål om deres anvendelse af og erfaringer med teknologien. Mens kun de produktionssteder, der ikke anvender AM-teknologi, er blevet stillet spørgsmål til deres oplevelse af barrierer for at anvende teknologien.

11.2 Beskrivelse af datagrundlaget og dets repræsentativitet

Undersøgelsens datagrundlag indeholder produktionssteder fra alle fem regioner. Figur 11.1 viser produktionsstedernes fordeling på regioner. Den største andel er fra Region Midtjylland, mens Region Sjælland er den region, der er repræsenteret ved færrest produktionssteder. Test af datagrundlagets repræsentativitet viser, at der er en overrepræsentation af produktionssteder fra region Midtjylland, mens produktionssteder fra Region Hovedstaden, Sjælland og Syddanmark er underrepræsenterede. I forhold til undersøgelsens resultater, har vi dog ingen grund til at antage, at produktionssteder fra Region Midtjylland skulle være hverken mere eller mindre tilbøjelige til at anvende AM-teknologi.

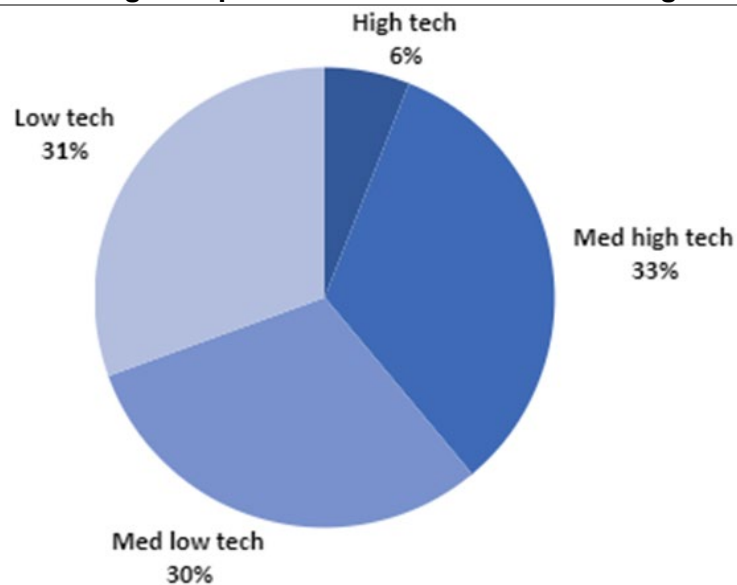
Figur 11.1: Geografisk fordeling af de deltagende produktionssteder



Produktionsstederne i undersøgelsen er udvalgt på baggrund af, at de ifølge EUROSTATs brancheklassificering tilhører NACE koderne der går fra 10 til 39. De deltagende produktionssteder er generelt godt spredt over de forskellige brancher. Der er så mange forskellige branchekoder, at nogle kun er repræsenteret ved få produktionssteder i data, og en række branchekoder er ikke repræsenteret i data, men det er forventeligt. For at imødekomme denne udfordring har EUROSTAT udviklet en kategorisering af brancher efter teknologiintensitet, hvor produktionssteder inddrages i de fire kategorier high tech, medium/high tech, medium/low tech, low tech.

Figur 11.2 viser fordelingen af de produktionssteder, der har besvaret spørgeskemaet, på de fire teknologiintensitetskategorier. Gruppen af high tech produktionssteder er lille, mens de øvrige produktionssteder fordeler sig ligeligt mellem de øvrige tre kategorier. High tech er dog også den mindste gruppe af produktionssteder i dansk erhvervsliv, og statistiske test viser, at denne undersøgelses sample er repræsentativ i forhold til teknologiintensitet.

Figur 11.2: Fordeling af de deltagende produktionssteder efter teknologiintensitet



Fordelingen af produktionssteder i forhold til antal ansatte er vist i Tabel 11.1. Der er en overvægt af små produktionssteder, der har besvaret spørgeskemaet, mens der kun er ganske få helt store produktionssteder med mere end 200 ansatte. Hovedparten af denne skæve fordeling af produktionssteder af forskellig størrelse skyldes, at mange danske produktionssteder har mellem 20 og 49 ansatte, men test viser at denne gruppe er svagt overrepræsenteret i datagrundlaget for undersøgelsen, mens der er en lille undervægt af produktionssteder med 50-99 ansatte.

Tabel 11.1: Fordeling af de deltagende produktionssteder efter størrelse

	Antal	Procent
20-49 ansatte	97	58,1%
50-99 ansatte	31	18,6%
100-199 ansatte	27	16,2%
200+ ansatte	12	7,2%
I alt	167	100%

Samlet set anses datasættet repræsentativt for populationen af produktionssteder. Der er derfor ikke grund til at antage, at undersøgelsens resultater drives af en skæv fordeling blandt de produktionssteder, der har besvaret spørgeskemaet.

11.3 Udvælgelse af cases i undersøgelsen

Undersøgelsen bygger også på indsamling af casemateriale fra syv virksomheder. Denne del af datamaterialet er indsamlet på virksomhedsniveau, da der kun er inddraget virksomheder med ét produktionssted. Virksomhederne er udvalgt ud fra tre kriterier: mulighed for sammenligning over tid, engagement i bæredygtighed, og best practice anvendelse af AM-teknologi. Nogle af de deltagende virksomheder er udvalgt på baggrund af et enkelt af de tre kriterier, andre lever op til to eller alle tre kriterier.

Boks 11.2: Kriterier for udvælgelse af case-virksomheder til undersøgelsen

1) *Mulighed for sammenligning over tid*: Tre af de virksomheder, der er interviewet, har deltaget i tidligere analyser af udbredelsen af AM-teknologi. Vi har talt med disse virksomheder for at få indblik i udviklingen af deres anvendelse af AM-teknologi, særligt hvilke former for anvendelse de har arbejdet med, hvilke barrierer og effekter de har oplevet, deres udvikling af kompetencer og modenhed, og deres refleksioner over processen.

2) *Engagement i bæredygtighed*: To af de virksomheder, der er interviewet, har svaret positivt på de spørgsmål i spørgeskemaet, der går på bæredygtighed. Vi har talt med disse virksomheder for at få indblik i hvordan deres fokus på bæredygtighed spiller sammen med deres anvendelse af AM-teknologi, og hvilke overvejelser de har gjort sig om, hvordan AM-teknologi på nuværende tidspunkt og i fremtiden kan fremme bæredygtig produktion.

3) *Best practice anvendelse af AM-teknologi*: To af de virksomheder, der er interviewet, er identificeret gennem netværk som best practice cases. Nogle af disse virksomheder har baseret deres forretningsmodel på AM-teknologi, andre har arbejdet indgående med AM-teknologi og oparbejdet stærke kompetencer for at anvende teknologien, og atter andre anvender AM-teknologi på særlig interessant vis.

Virksomhederne er blevet interviewet og cases er udarbejdet på baggrund af interview og desk research og godkendt af virksomhederne. Den information, der er indsamlet fra casevirksomhederne, indgår også andre steder i rapporten i anonymiseret form som baggrundsinformation. Der refereres i så fald til "de virksomheder, vi har talt med" eller "casevirksomhederne".

Tekstboks 11.3 viser en oversigt over casevirksomhederne samt en kort beskrivelse af deres forretningsområder og anvendelse af AM-teknologi.

Boks 11.3: Case-virksomheder i undersøgelsen

Jørgensen Engineering A/S

Jørgensen Engineering blev stiftet i 1933 og har siden oparbejdet en bred kundeportefølje i fødevarer- og medicinalindustrien. Virksomheden er internationalt forankret med kunder i hele Europa samt Asien.

Jørgensen Engineering leverer specialiserede ready-to-run produktionslinjer til fødevarer- og medicinalindustrien, hvor en stor del af disse udgøres af kendt teknologi. Jørgensen Engineering har anvendt AM-teknologi siden slutningen af 2016/2017. Virksomheden ejer selv FDM-teknologi, som anvendes til udvikling og test fx ved at printe prototyper.

Jydsk Emblem Fabrik A/S (JEF)

Jydsk Emblem Fabrik blev stiftet i 1886 og har siden produceret emblemer, pokaler og medaljer. Desuden producerer de uniformtilbehør primært til Forsvaret og andre offentlige institutioner. JEF har offentlige såvel som private kunder fordelt over hele Skandinavien. Jydsk Emblem Fabrik har anvendt AM-teknologi siden slutningen af 2017, og anvendelsen er de senere år øget betydeligt. Virksomheden ejer selv FDM-teknologi og har de senere år også købt SLA-teknologi. Teknologien anvendes til 3D-print i forbindelse med produktudvikling (prototyper), støtteværktøjer til produktion (holdere, grippere til UR-robot) og til færdige produkter fx et nyt beslag udviklet efter et kundeønske.

HASLE Refractories A/S

HASLE Refractories er en privatejet produktionsvirksomhed grundlagt i 1843. Virksomheden producerer ildfast beton (refractories) til virksomheder med højtemperatur-processer fx cementfabrikker, affaldsforbrændinger og kraftvarmeværker. Virksomheden har anvendt AM-teknologi i begrænset omfang til prototyper af støbeforme og test af geometri i formene. Det har imidlertid vist sig, at kunderne foretrækker 3D-tegninger og produkt simuleringer ved brug af CAD-software til at vurdere fx geometri i nye produkter, og de efterspørger derfor ikke 3D-printede elementer på nuværende tidspunkt. Virksomheden forventer også fremover at købe 3D-print ydelser fra underleverandører, når behovet for 3D-print er til stede, da virksomheden ikke selv har specifik viden om AM-teknologi.

Gemina Termix A/S

Gemina Termix er etableret i 1987, som et selvstændigt aktieselskab, og er siden 2004 en del af Danfoss gruppen. Virksomheden producerer vandvarmere og fjernvarmeanlæg til lejligheder, parcelhuse og større bygninger. Virksomheden har egen produktion af pladevekslere og hele anlæg og benytter derudover Danfoss komponenter til at samle forskellige varianter af produkterne. Virksomheden anvender SLS-teknologi til produktudvikling (prototyper), hvor fx messing fittings testes i 3D-print inden de støbes ved traditionel fabrikation, og de senere år også til hjælpeværktøjer i produktionen (fx holder til væggen, cover til el-test og beskyttelsesklods til skarp kant).

Vermund Larsen A/S (VELA)

Vermund Larsen A/S, også kaldet VELA, er en dansk familievirksomhed opstartet i 1935. Virksomheden har datterselskaber i Norge, Sverige og England. Virksomheden består af tre forretningsområder: VELA Rehab (hjælpemidler til mennesker med funktionsnedsættelser), VELA Medical (løsninger til klinikker og hospitaler) og VERMUND (designmøbler til private og erhverv). Virksomheden har bl.a. kunder i den offentlige sektor i Danmark og resten af Norden. VELA har anvendt AM-teknologi siden 2012 og ejer selv FDM-teknologi. Teknologien anvendes til produktudvikling fx prototyper før igangsætning af støbeværktøjer, til hjælpeværktøjer til specialtilpassede produkter fx boreskabeloner til montage, så der bliver høj ensartethed i det færdige produkt. Virksomheden anvender også 3D print til produktion af komponenter til slutprodukter.

Robot Nordic ApS

Robot Nordic er grundlagt i 2016 og har omkring 16 ansatte. Virksomheden står for udvikling af fuldautomatiske produktionslinjer med integration af standardrobotter og specialdesignede automationsceller. Virksomheden fungerer som robot-integrator, og kunderne er produktionsvirksomheder i Danmark og Norden. Robot Nordic har anvendt 3D-print siden 2017, og virksomheden ejer og leaser FDM-teknologi samt køber færdige 3D-print leverancer fra underleverandører. Egne/leasede printere anvendes primært til at lave prototyper (mock-ups) i plast-materiale, men også til hjælpeværktøjer (fiksturer), mens fx metal-gribeværktøjer i 3D-print til robotter købes hos underleverandører.

COBOD International A/S

Virksomheden *Construction Of Buildings On Demand* (COBOD) blev etableret i 2016 som en startup-virksomhed, der udsprang af 3D Printhuset. Virksomheden har efter kraftig vækst nu mere end 70 ansatte. Virksomheden har lavet Europas første 3D-printede bygning i Nordhavnen i København (The BOD) i 2017. COBOD har udviklet en beton-printteknologi, som er baseret på Fused Deposition Modelling (FDM). Der bygges lag på lag af en speciel blanding af beton eller mørtel i flydende form, der hærder indenfor få minutter. 3D-printmaskinen anvendes således til at producere det færdige produkt (bygninger).

11.4 Datagrundlag for udvikling over tid i virksomhedernes anvendelse af teknologien

Syddansk Universitet har også undersøgt udbredelsen af AM i danske produktionsvirksomheder i 2018 og 2019. Denne rapport anvender data fra de tidligere års undersøgelser til at beskrive udviklingen i danske produktionssteders anvendelse af AM-teknologi, der hvor det har været relevant og muligt at sammenholde data fra 2018, 2019 og 2021.



Syddansk Universitet
Campusvej 55 – 5230 Odense M

Telefon: +45 6550 1000
sdu@sdu.dk
www.sdu.dk