

# Omstillingshastighed

**Kontor/afdeling**  
SYS

**Dato**  
23-09-2022

**J nr.**

/MTHR, AEDG, MHVD

## Indhold

1 Indledning .....	2
1.1 Opsummering.....	2
1.2 Baggrund og formål .....	3
1.3 Usikkerhed og afgrænsning .....	3
2 Modenhed .....	4
2.1 Formål med modenhedsanalysen .....	4
2.2 Resultat af modenhedsanalyse.....	5
2.3 Metode for vurdering af modenhed.....	8
3 Omstillingshastighed .....	15
3.1 Formål med at undersøge omstillingshastighed .....	15
3.2 Resultater for omstillingshastighed .....	15
3.3 Definition af omstillinghastighed .....	18
3.4 Definition af indfrielsesprofiler.....	18
4 Beslutningsrum for indfrielse af reduktionspotentialer.....	24
4.1 Formål med undersøgelse af beslutningsrum .....	24
4.2 Resultater for beslutningsrum i 2030 .....	24
4.3 Resultater for beslutningsrum i 2035 .....	26
4.4 Metode for opgørelse af beslutningsrum .....	27
5 Kildeliste .....	29

## Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43  
1577 København V

T: +45 3392 6700  
E: ens@ens.dk

[www.ens.dk](http://www.ens.dk)

## 1 Indledning

### 1.1 Opsummering

Notat om omstillingshastighed er en faglig redegørelse for den teknisk mulige omstillingshastighed hvormed en række tekniske reduktionspotentialer kan indfries. Derudover redegøres for omstillingselementernes modenhed, og der optegnes et beslutningsrum, som er en tidsramme for implementering af omstillingselementerne med en vis sikkerhed for reduktionseffekt i 2030 og 2035. De tekniske reduktionspotentialer er vurderet for 2030 og 2035 og beskrives i et selvstændigt notat.

#### *Modenhed*

I dette års baggrundsnotat indgår som noget nyt en modenhedsvurdering for de enkelte omstillingselementer.<sup>1</sup> Modenhedsanalysen inkluderer ikke de omstillingselementer i landbrugssektoren, hvor reduktionspotentialet er vurderet af andre ministerier (FVM og MIM). Nogle af omstillingselementerne forudsætter teknologier som på nuværende tidspunkt er på demonstrationsniveau eller pionerstadie, hvilket indebærer en risiko for, at teknologien ikke når at blive udviklet i en sådan grad, at denne kan bidrage til reduktioner i større omfang i 2030. Dette gælder særligt DAC og pyrolyse. Forskning og udvikling af de teknologier som på nuværende tidspunkt er på demonstrationsniveau eller pionerstadie er en forudsætning for, at teknologierne kan tages i brug i større skala, men er ikke en garanti for, at teknologien udvikles tilstrækkeligt, idet fx tidspunktet for tekniske gennembrud ikke kan fremskrives.

#### *Omstillingshastighed*

Omstillingshastigheden afhænger stærkt af det enkelte omstillingselement og spænder over ca. 1 år op til ca. 13 år. Størstedelen af omstillingselementerne har en løbende indfrielsesprofil, hvilket betyder, at reduktionerne opnås løbende, i takt med at fx elbiler erstatter fossilbiler eller landbrugsjord omlægges til økologi. For disse omstillingselementer kan en andel af det fulde reduktionspotentiale opnås i målåret, selv ved en sen effektivering.

#### *Beslutningsrum for indfrielse af reduktionspotentialer*

Beslutningsrummet er den tidsperiode, hvor omstillingselementerne kan effektueres og give reduktioner i 2030. For mange af omstillingselementerne gælder det at jo senere de tages i brug, jo mere er reduktionspotentialerne i målåret svundet ind. Det skyldes, at det tager tid at implementere omstillingselementerne, hvilket afhænger af omstillingshastigheden, og sen implementering kan have den konsekvens, at omstillingselementet får begrænset eller ingen effekt i målåret. Overordnet peger analyserne af beslutningsrummet på, at hovedparten af omstillingselementerne skal implementeres i perioden mellem 2022 og 2025 for at

---

<sup>1</sup> Modenhedsskalaen præsenteret her er en anden end i KP21

sikre målopfyldelse i 2030, idet der i dette tidsrum stadig er en vis valgfrihed mellem omstillingselementerne.

## 1.2 Baggrund og formål

Formålet med analysen af omstillingshastigheder er at skabe overblik over omstillingshastighed og indfrielsesprofil for de forskellige omstillingselementer der er beskrevet i notat om tekniske reduktionspotentialer<sup>2</sup>, og at anslå hvornår omstillingselementerne senest kan implementeres, hvis reduktionspotentialerne skal kunne indfries i 2030 og 2035 med en vis sikkerhed og valgfrihed mellem omstillingselementer.

Ifølge lov om klima af 18. juni 2020, skal regeringen årligt præsentere en anskueliggørelse af, hvordan regeringen vil realisere målet om 70 pct. CO<sub>2</sub>-reduktion i 2030, relativt til udledningerne i 1990. Analysen af omstillingshastighed indgår som en del af regeringens årlige redegørelse (klimaprogrammet).

## 1.3 Usikkerhed og afgrænsning

Omstillingshastighederne er behæftet med betydelig usikkerhed. Usikkerheden skyldes, at omstillingshastighederne bygger på forsimplede analyser og antagelser, grundet begrænset datagrundlag. Dertil kommer, at skøn for 2030 og 2035 i alle tilfælde vil være behæftet med væsentlig usikkerhed.

De vurderede beslutningsrum er behæftet med stor usikkerhed som især skyldes, at omstillingselementerne ikke tidligere er afprøvet eller udrullet i en skala, som er sammenlignelig med antagelserne i indeværende notat.

Der er ikke taget højde for, at omstillingshastigheden også afhænger af konkrete virkemidler og hvordan aktørerne reagerer på virkemidlerne. Der er heller ikke taget højde for, om EU-lovgivning for de enkelte reduktionspotentialer betyder, at de ikke kan gennemføres, eller om det vil kræve ændring af EU's regler på området.

---

<sup>2</sup> Energistyrelsen, 'Tekniske reduktionspotentialer', 2022

## 2 Modenhed

### 2.1 Formål med modenhedsanalysen

Omstillingselementerne i nærværende analyse omfatter både modne teknologier og teknologier under udvikling.<sup>3</sup> Det indebærer bl.a., at nogle teknologiers drift og klimaeffekt kan estimeres med en relativt lille usikkerhed, mens usikkerheden på drift og klimaeffekt på andre teknologier er stor.

En kategorisering af omstillingselementerne efter modenhedsstadiet tjener flere formål. For det første er modenhedsstadiet en indikator for hvor stor usikkerhed der er på det tekniske reduktionspotentiale i 2030 og 2035, idet der vil være en betydelig usikkerhed forbundet med de angivne reduktionspotentialer og omstillingshastighed i de tilfælde hvor teknologierne fx ikke er afprøvet i stor skala. For det andet kan en kategorisering efter modenhedsstadiet medvirke til at pege på hvilke omstillingselementer, der kræver yderligere forskning, udvikling og demonstration før implementering i stor skala er mulig, og hvor staten kan spille en rolle i at støtte teknologiudviklingen.

Hvert omstillingselement tildeles i denne analyse en samlet modenhed, selvom der kan være en række bagvedliggende teknologier. Ofte kan disse teknologier erstatte hinanden, og i de tilfælde er det den mest modne teknologi, der er styrende. I de tilfælde, hvor teknologierne ikke er indbyrdes overlappende, og hvor teknologierne har forskellig modenhed, angives modenheden med et spænd.

#### *Generel metode og forbehold*

Modenheden for hvert omstillingselement er vurderet som en samlebetragtning på baggrund af tre parametre

1. TRL-niveau for de bagvedliggende teknologier, baseret på IEA's Clean Energy Technology Guide, november 2021
2. Trin på læringskurven for de bagvedliggende teknologier, baseret på Energistyrelsens Teknologikataloger
3. Faglig vurdering af hvorvidt reduktionseffekt er dokumenterbar

Generelle principper for modenhedsvurderingen er som følger:

- Modenhed angivet ved et spænd indikerer at der er forskellige modenhed for de teknologier der dækker forskellige dele af reduktionspotentialet, fx har elektrificering og brint ofte forskellig modenhed. Der er kun angivet et spænd når flere teknologier med forskellig modenhed skal bruges for at opfylde potentialet
- Hvis omstillingselementet består af en værdikæde, fx for CCS, er det laveste modenhedstrin i værdikæden styrende for den samlede modenhed
- Hvis der er flere teknologier, der opfylder samme behov, er det højeste modenhedstrin styrende. Fx bio- og PtX-brændstoffer i søfart, hvor

---

<sup>3</sup> Bemærk at modenhedsskalaen er en anden end i KP21

ammoniakske er på et lavere modenhedstrin end biobaserede LNG-skibe, her er det det det højeste modenhedstrin, der afgør den angivne modenhed.

Den vurderede modenhed er behæftet med en vis usikkerhed, blandt andet som følge af, at der indgår en vis afvejning af forskellige teknologiers relative virkning og udbredelse, som beror på kvalitative skøn.

## 2.2 Resultat af modenhedsanalyse

Tabel 2 viser modenhedsstadierne for alle omstillingselementer præsenteret i notatet *'Tekniske Reduktionspotentialer for udvalgte omstillingselementer'*.<sup>4</sup> Vurderingerne af en række potentialer i landbrugssektorens er foretaget af FVM, MIM og KEFM – resterende er udarbejdet Energistyrelsen.

Modenhedsstadiet for omstillingselementerne er defineret i Tabel 1 og dækker over Demonstrationsstadiet, Pionerstadiet, Prækommercielt stadiet og Modent stadiet.

Omstillingselementer på Demonstrationsstadiet og Pionerstadiet er forbundet med betydelig usikkerhed for reduktionspotentialer og omstillingshastighed. Derimod er usikkerheden på reduktionspotentialer relativt mindre for omstillingselementer på Prækommercielt stadiet og Modent stadiet. Især for omstillingselementer på Modent stadiet forventes der ikke at være væsentlige tekniske begrænsninger for implementering, om end det altid i praksis kan variere for det specifikke tilfælde.

Tabel 1. Definition af modenhedstrin

Modenhedsstadiet	Beskrivelse
<b>Demonstration</b>	På dette modenhedstrin er teknologierne i forsknings- og udviklingsfasen og demonstreret i begrænset skala. Reduktionseffekten er ikke nødvendigvis dokumenterbar.
<b>Pioner</b>	På dette modenhedstrin er der udviklet større prototyper og teknologien er demonstreret i et relevant miljø. Reduktionseffekten er ikke nødvendigvis dokumenterbar.
<b>Prækommerciel</b>	På dette modenhedstrin har teknologierne en vis udbredelse og skala og reduktionseffekten er kendt og dokumenterbar
<b>Moden</b>	På dette modenhedstrin har teknologierne en større udbredelse og reduktionseffekten er kendt og dokumenterbar

Omstillingselementer på Demonstrationsstadiet omfatter Direct Air Capture (DAC) og pyrolyse, og derudover visse dele af omstillingen af procesenergi i fremstillingserhverv foruden brug af brint i søfart foruden dele af håndtering af gylle og gødning. Disse teknologier er ikke testet i den skala, som

<sup>4</sup> Bemærk at modenhedsskalaen er en anden end i KP21

reduktionspotentialerne fordrer, og usikkerheden på klimaeffekten vurderes derfor at være stor.

Omstillingselementer på Pionerstadiet omfatter metanisering af CO<sub>2</sub> fra biogasanlæg, dele af fodertilsætningsstoffer og dele af håndtering af gylle og gødning.

En række af omstillingselementerne vurderes at befinde sig på Prækommercielt stadie, hvor de teknologiske muligheder er til rådighed, men har begrænset udbredelse i dag. Det drejer sig bl.a. om CCS, omlægning til elektrificering på flere forskellige områder, herunder elektrificering af procesenergi og elektrificering og brint i søfart, og brug af bio- og PtX-brændstoffer i fx søfart og luftfart.

Afslutningsvis er en række af omstillingselementerne på Modent stadie. Det drejer sig bl.a. om brug af varmepumper og fjernvarme i husholdninger og serviceerhverv, energibesparelser og biogasomlægning fra kraftvarme til opgradering, som kan gennemføres med allerede kendt og udbredt teknologi.

Mankoen på ca. 10 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2030, jf. KF22, kan teknisk set opfyldes med teknologier, der er på Prækommercielt- eller Modent stadie, idet det samlede reduktionspotentiale for disse to stadier langt overstiger mankoen. Bemærk at KF22 ikke tager højde for politiske aftaler indgået efter 1. januar 2022.

Modenheden har væsentlig betydning for usikkerheden om, hvorvidt omstillingselementerne kan bidrage til reduktioner i 2030 og 2035. Det skyldes blandt andet at der for omstillingselementerne på de to laveste modenhedsstadier ikke nødvendigvis er påvist en dokumenterbar reduktionseffekt. Det betyder, at usikkerheden for at omstillingselementerne kan bidrage til reduktionsmål i 2030 er stor. Usikkerheden på de estimerede reduktionspotentialer forventes at falde i takt med at teknologierne udvikles yderligere. Det er dog ikke muligt at forudsige, hvornår teknologierne ventes at rykke til næste modenhedsstadie, idet teknologigennembrud i reglen ikke kan fremskrives.

Tabel 2. Modenhedsvurdering for omstillingselementer

	Modenhedsstadiet
<b>Husholdninger</b>	
Varmpumper/fjernvarme i husholdninger	Moden
Energibesparelser i husholdninger	Moden
<b>Produktion af olie, gas og VE-brændstoffer</b>	
Elektrificering af raffinaderier	Prækommerciel
Skift til bio-feedstock på raffinaderier	Prækommerciel
CCS på raffinaderier <sup>1</sup>	Prækommerciel
Elektrificering af olie- og gasindvinding i Nordsøen	Moden
Metanisering af CO <sub>2</sub> fra biogasanlæg	Pioner
<b>El og fjernvarme</b>	
Biogasomlægning fra kraftvarme til opgradering	Moden
CCS på el-, fjernvarme- og biogasanlæg <sup>1</sup>	Prækommerciel
<b>Serviceerhverv</b>	
Varmpumper/fjernvarme i serviceerhverv	Moden
<b>Fremstillingserhverv og bygge-anlæg</b>	
Energieffektivisering i procesenergi og intern transport <sup>2</sup>	Moden
Elektrificering i procesenergi og intern transport <sup>2,3</sup>	Demonstration – Moden
Bio- og PtX-brændstoffer i intern transport <sup>9</sup>	Moden
Konvertering til gas/PtX-brændsler i direkte fyrede processer <sup>4</sup>	Demonstration – Moden
CCS i fremstillingserhverv <sup>1</sup>	Prækommerciel
<b>Transport</b>	
Elektrificering og brint i vejtransport <sup>5</sup>	Prækommerciel – Moden
Elektrificering og brint i søfart <sup>6</sup>	Demonstration – Prækommerciel
Bio- og PtX-brændstoffer i vejtransport <sup>7</sup>	Prækommerciel – Moden
Bio- og PtX-brændstoffer i søfart	Prækommerciel
Bio- og PtX-brændstoffer i luftfart	Prækommerciel
<b>Affald</b>	
Genanvendelse og affaldsreduktion <sup>8</sup>	Prækommerciel - Moden
CCS på affaldsforbrændingsanlæg <sup>1</sup>	Prækommerciel
<b>Landbrug, gartneri, skove og fiskeri</b>	
Fodertilsætningsstoffer <sup>10</sup>	Pioner - Prækommerciel
Håndtering af gylle og gødning <sup>10</sup>	Demonstration - Pioner
Udtag af lavbundsjord <sup>10</sup>	Moden
Omlægning til økologi <sup>10</sup>	Moden
Biokul fra pyrolyse af halm	Demonstration
Dyrkning af plantebaserede fødevarer og planteprotein	Moden
Skovrejsning <sup>10</sup>	Moden
Energieffektiviseringer i procesenergi og intern transport i landbruget <sup>2</sup>	Moden
Elektrificering i procesenergi og intern transport i landbruget <sup>2</sup>	Prækommerciel
Bio- og PtX-brændstoffer i intern transport i landbruget <sup>9</sup>	Moden
<b>Andet</b>	
Regneeksempel for DAC (baseret på 1 GW havvind)	Demonstration

Anm. 1: Der er lagt til grund at kemisk absorption med TRL 8-9 (fx aminvask) kan anvendes bredt på forskellige CO<sub>2</sub>-punktkilder, herunder raffinaderier. Viser dette sig ikke muligt er modenheden lavere end angivet her.

Anm. 2: Inkluderer ikke modenhed for intern transport, som dog dækker en mindre andel af reduktionspotentialer

Anm. 3: Den lave del af spændet dækker over direkte elektrificering af cementproduktion

Anm. 4: Den lave del af modenhedsspændet dækker over brug af brint, den høje modenhed dækker over brug af ledningsgas

Anm. 5: Den lave del af spændet dækker over brug af brint og el til den tunge del af vejtransporten. Den høje del af spændet dækker over elektrificering af personbiler.

Anm. 6: Den lave del af spændet dækker over brug af brint, den høje del af spændet over elektrificering. Det lave modenhedstrin for brint i søfart skyldes at teknologien kun er demonstreret i meget begrænset omfang.

Anm. 7: Den lave del af spændet dækker over brug af iblanding i benzin, mens den høje del af spændet dækker over brug af bio-diesel.

Anm. 8: Spændet skyldes behov for forskellige teknologier med forskellig modenhed

Anm. 9: Modenheden baseret på brug af bio-diesel.

Anm. 10: Kilde: KEFM

## 2.3 Metode for vurdering af modenhed

Energistyrelsen har udviklet en særskilt modenhedsskala til brug for vurdering af et omstillingselements teknologiske modenhed og dokumenterbare reduktionseffekt. Der er udarbejdet en egen skala dels for at kunne præsentere modenheden i færre trin, dels for at præsentere en samlet betragtning over både teknologisk modenhed og dokumenterbarhed på reduktionseffekten. Modenhedsstadiene er opdelt i fire stadier, og er defineret sådan, at dokumenterbar klimaeffekt indgår som en parameter.

Modenhedsskalaen defineret i denne analyse adskiller sig fra TRL-skalaen ved kun at have fire trin, modsat TRL-skalaens op til elleve trin, og fra læringskurven i *Teknologikatalogerne* ved at tage dokumenterbar reduktionseffekt med i betragtning.

Modenheden for teknologierne, der indgår i omstillingselementerne, er vurderet på baggrund af dels nyeste version af Energistyrelsens *Teknologikataloger*,<sup>5</sup> dels et teknologioverblik udgivet af IEA, der bl.a. præsenterer en lang række teknologiers modenhed.<sup>6</sup> For de fleste af omstillingselementerne er der mere end én relevant teknologi. Hvor der er flere teknologier, der opfylder samme funktion og behov, vælges den mest modne. I de tilfælde, hvor teknologierne ikke opfylder samme funktion og behov angives modenheden som et spænd. De samlede overblik over teknologier, der indgår i modenhedsvurderingen, fremgår af Bilag *Modenhedsvurdering i Teknologikataloget* og Bilag *Modenhedsvurdering ud fra TRL-skalaen*.

Modenhedsstadiet er herefter vurderet for hvert omstillingselement ud fra en samlet betragtning, med udgangspunkt i de to kilder.

---

<sup>5</sup> Energistyrelsen, *Teknologikataloger*, version á juni 2022

<sup>6</sup> IEA, *ETP Clean Energy Technology Guide*, november 2021



Tabel 3 viser hvordan de anvendte modenhedstrin i nærværende notat relaterer sig til hhv. TRL-skalaen og læringskurven i *Teknologikatalogerne*.

Tabel 3. Modenhedstrinenes relation til TRL-skalaen og læringskurvens kategorier

Modenhedstrin	Beskrivelse	Relation til TRL-skalaen <sup>7</sup>	Relation til læringskurves kategorier <sup>8</sup>
<b>Demonstration</b>	På dette modenhedstrin er teknologierne i forsknings- og udviklingsfasen. Klimaeffekten er ikke nødvendigvis dokumenteret.	TRL 1-6 (lille + stor prototype)	Kategori 1 (Forsknings- og udviklingsfase)
<b>Pioner</b>	På dette modenhedstrin er der udviklet større prototyper og teknologien er demonstreret i et relevant miljø. Klimaeffekten er ikke nødvendigvis dokumenteret fuldt ud.	TRL 5-8 (stor prototype + demonstration)	Kategori 2 (Pionerfase)
<b>Prækommerciel</b>	På dette modenhedstrin har teknologierne en begrænset udbredelse i relevant miljø og klimaeffekten er kendt.	TRL 8-10 (First of a kind + behov for opskalering)	Kategori 3 (Kommercielle teknologier med moderat udbredelse)
<b>Moden</b>	På dette modenhedstrin har teknologierne en stor udbredelse og klimaeffekten er kendt.	TRL 9-11 (Kommercielle teknologier)	Kategori 4 (Kommercielle teknologier med stor udbredelse)

Tabel 4 viser modenheden for hvert omstillingselement ud fra IEA's vurdering på TRL-skalaen og ud fra læringskurven i Energistyrelsens *Teknologikataloger*.

For de fleste af omstillingselementerne er der mere end én relevant teknologi, og derfor er modenheden angivet som et spænd. Hvor der er flere teknologier, der opfylder samme funktion og behov, vælges den mest modne. De samlede overblik over teknologier, der indgår i modenhedsvurderingen, fremgår af Bilag *Modenhedsvurdering i Teknologikataloget*.

<sup>7</sup> IEA, ETP Clean Energy Technology Guide, november 2021

<sup>8</sup> Energistyrelsen, Teknologikataloger, version á juni 2022

Tabel 4. Modenhedsvurdering ud fra TRL-skala (IEA) og læringskurve (Teknologikatalogerne) for alle omstillingselementer.

	TRL-skala (1-11)	Læringskurve (1-4)
<b>Husholdninger</b>		
Varmpumper og fjernvarme i husholdninger	10	3-4
Energibesparelser i husholdninger	9-11	-
<b>Produktion af olie, gas og VE-brændstoffer</b>		
Elektrificering og grøn brint på raffinaderier	9-10	3-4
Skift til bio-feedstock på raffinaderier	7-10	3-4
CCS på raffinaderier	8-9	3
Elektrificering af olie- og gasindvinding i Nordsøen	9-10	3-4
Metanisering af CO <sub>2</sub> fra biogasanlæg	6	2
<b>EI og fjernvarme</b>		
Biogasomlægning fra kraftvarme til opgradering	8-10	3
CCS på el-, fjernvarme- og biogasanlæg	8-9	3
<b>Serviceerhverv</b>		
Varmpumper og fjernvarme i serviceerhverv	10	3-4
<b>Fremstillingserhverv og bygge-anlæg</b>		
Energieffektivisering i procesenergi og intern transport <sup>1</sup>	9-10	-
Elektrificering i procesenergi og intern transport <sup>1</sup>	4-10	2-4
Bio- og PtX-brændstoffer i intern transport	-	-
Gas og PtX-brændsler i direkte fyrede processer <sup>2</sup>	3-4	3-4
CCS i fremstillingserhverv	8-9	3
<b>Transport</b>		
Elektrificering og brint i vejtransport	8-11	-
Elektrificering og brint i søfart	3-9	-
Bio- og PtX-brændstoffer i vejtransport <sup>3</sup>	9	-
Bio- og PtX-brændstoffer i søfart <sup>3</sup>	8-10	-
Bio- og PtX-brændstoffer i luftfart	-	-
<b>Affald</b>		
Genanvendelse og affaldsreduktion	7-11	-
CCS på affaldsforbrændingsanlæg	8-9	3
<b>Landbrug, gartneri, skove og fiskeri</b>		
Fodertilsætningsstoffer	-	-
Håndtering af gylle og gødning	-	-
Udtag af lavbundsjord	-	-
Omlægning til økologi	-	-
Biokul fra pyrolyse af halm <sup>4</sup>	-	2
Dyrkning af plantebaserede fødevarer og planteprotein <sup>5</sup>	-	-
Offentlig skovrejsning	-	-
Privat skovrejsning	-	-
Energieffektiviseringer i procesenergi og intern transport i landbruget <sup>1</sup>	9-10	-
Elektrificering i procesenergi og intern transport i landbruget <sup>1</sup>	9-10	3-4
Bio- og PtX-brændstoffer i intern transport i landbruget	-	-
<b>Andet</b>		
Regneeksempel for DAC (baseret på 1 GW havvind)	6	2

Anm. 1: Inkluderer ikke modenhed for intern transport

Anm. 2: Dækker kun over brug af brint i IEA's teknologioverblik og kun over brug af naturgas i Teknologikatalog

Anm 3: Brug af biobaserede brændstoffer ikke indeholdt i IEA's teknologioverblik

Anm 4: Brug af biokul som klimatiltag i landbruget ikke beskrevet i IEA's teknologioverblik eller i Teknologikatalog

Anm 5: Dele af værdikæden er velkendt teknologi, dog i mindre skala, mens andre dele er mindre kendt teknologi. Selve pyrolysen af biomasse til biokul, pyrolyseolie og pyrolysegas er relativt velkendt teknologi, som er beskrevet i Energistyrelsens *Teknologikataloger*. Derimod er selve reduktionseffekten ved nedmuldning af biokul mindre undersøgt.

### 2.3.1 Modenhed i Energistyrelsens Teknologikataloger

Til brug for vurderinger af udviklingen på klima- og energiområdet er der bl.a. behov for at have kendskab til data for en række teknologier. Disse data er samlet i *teknologikataloger*, som offentliggøres løbende af Energistyrelsen.

*Teknologikataloget* omhandler eksisterende, modne teknologier, teknologier under teknisk og økonomisk udvikling samt teknologier på eksperimentalstadiet. Hovedvægt lægges dog på de mere modne teknologier.

#### *Læringskurve og teknologisk modenhed*

Den teknologiske udvikling beskrives i teknologikatalogerne ved hjælp af læringskurver. Teorien er, at hver gang den aggregerede installerede kapacitet af en teknologi fordobles, gør den tillærte erfaring med installationen af teknologien, at de teknologiske omkostninger falder i en vis grad for den næste enhed. Det relative prisfald ved fordoblingen kaldes læringsrate. Læringskurven indbefatter også stordriftsfordele, hvor omkostningerne ved den enkelte enhed falder i takt med at den samlede kapacitet for en enkelt enhed stiger.

Teknologierne i *teknologikatalogerne* er kategoriseret i fire modenhedstrin, hvor kategori 4 er den mest modne, som angivet i Boks 1. Bemærk, at teknologiernes fremtidige omkostninger og effekt i teknologikatalogerne fremskrives ud fra forventninger til teknologiens udbredelse, og ikke ud fra et givent tidspunkt. Det skyldes, at de teknologiske fremskridt forudsættes at opstå på grund af større installeret kapacitet og den dertil knyttede læring.

#### *Boks 1. Læringskurvens fire kategorier. Kilde: Energistyrelsen <sup>9</sup>*

##### *Læringskurve, Teknologikatalogerne*

**Kategori 1.** Teknologierne er på forsknings- og udviklingsstadiet. Omkostninger og effektivitet er forbundet med betydelig usikkerhed.

**Kategori 2.** Teknologierne er på pionerstadiet. Det er blevet påvist at teknologierne virker gennem demonstrationsanlæg og halv-kommercielle anlæg. Omkostninger og effektivitet er behæftet med nogen usikkerhed, idet teknologiens udbredelse er begrænset og idet teknologien stadig er under udvikling og tilpasning.

**Kategori 3.** Teknologierne er kommercielle og har moderat udbredelse. Omkostninger og effektivitet af nuværende anlæg er velkendt, men teknologierne har stadig et væsentligt udviklingspotentiale og omkostningerne forventes at falde yderligere ved opskalering. Der er typisk usikkerhed om den fremtidig udvikling af priser og effektivitet.

**Kategori 4.** Teknologierne er kommercielle og har stor udbredelse. Omkostninger og effektivitet er velkendt, og teknologiske forbedringer ved større udbredelse er marginale.

### 2.3.2 Modenhedsvurdering Technology Readiness Level (TRL)

IEA har vurderet modenhed ud fra TRL-skalaen for mere end 400 teknologier på tværs af energisystemet, med fokus på teknologier, der kan bidrage til at reducere

<sup>9</sup> Energistyrelsen, Teknologikataloger, opdateres løbende

CO<sub>2</sub>-udledninger.<sup>10</sup> Denne opgørelse danner udgangspunkt for modenhedsvurderingen for en række af omstillingselementerne præsenteret i dette notat.

Tabel 5. Definition af modenhedsskalaen TRL. Kilde: IEA<sup>11</sup>

TRL - Technology Readiness Level
<b>Lille prototype eller laboratorieskala</b>
TRL 1: Første idé
TRL 2: Anvendelse beskrevet
TRL 3: Koncept skal valideres
TRL 4: Tidlig prototype (Prototype vist under testforhold)
<b>Stor prototype</b>
TRL 5: Stor prototype
TRL 6: Prototype i fuld skala
<b>Demonstration</b>
TRL 7: Prækommerciel demonstration
TRL 8: First-of-a-kind anlæg
<b>Markedsoptag</b>
TRL 9: Kommerciel anvendelse under relevante forhold
TRL 10: Opskalering nødvendig
<b>Moden</b>
TRL 11: Stabil udbredelse (Større udbredelse forventes)

### 2.3.3 Vurdering af modenhed for øvrige teknologier

For en række af omstillingselementerne er de bagvedliggende teknologier ikke beskrevet i *teknologikatalogerne* eller i IEA's *teknologioverblik*. For disse omstillingselementer er modenheden vurderet ud fra en faglig vurdering af teknisk modenhed, udbredelse og dokumenterbarhed på reduktionseffekten.

Tabel 6 angiver de omstillingselementer, der ikke indgår i IEA's teknologioverblik eller i *teknologikatalogerne*, og hvilken metode, der er anvendt i modenhedsvurderingen.

Tabel 6. Vurdering af modenhed for de omstillingselementer, der hverken indgår i IEA's teknologioverblik eller Energistyrelsens Teknologikatalog

	Tilgang til vurdering af modenhed	Modenhed
<b>Fremstillingserhverv og bygge-anlæg</b>		
Bio- og PtX-brændstoffer i intern transport	Bio- og PtX-brændstoffer kan erstatte fossile brændsler uden ændringer i materiel. Modenhed er vurderet ud fra brændstofproduktion af biodiesel.	Moden
<b>Transport</b>		
Bio- og PtX-brændstoffer i luftfart	Bio- og PtX-brændstoffer kan erstatte fossile brændsler uden ændringer i materiel. Modenhed er vurderet ud fra brændstofproduktionen.	Prækommerciel

<sup>10</sup> IEA, ETP Clean Energy Technology Guide, november 2021

<sup>11</sup> IEA, ETP Clean Energy Technology Guide, november 2021

<b>Landbrug, gartneri, skove og fiskeri</b>		
Dyrkning af plantebaserede fødevarer og planteprotein	Vurderes at kunne gennemføres uden udvikling af ny teknologi	Moden
Bio- og PtX-brændstoffer i intern transport i landbruget	Bio- og PtX-brændstoffer kan erstatte fossile brændsler uden ændringer i materiel. Modenhed er vurderet ud fra brændstofproduktion af biodiesel.	Moden

### Anvendelse af bio- og PtX-brændstoffer

Det vurderes, at bio- og PtX-brændstoffer til de formål, som er angivet i Tabel 6, i stor udstrækning kan anvendes uden udskiftning af materiel, hverken i fyldestationer eller motorteknologier eller andet. Det betyder, at den nuværende infrastruktur på efterspørgselssiden kan videreføres. Fremstilling af biobrændstoffer til anvendelse i intern transport og luftfart er allerede udbredt teknologi, dog ikke i vid udstrækning i Danmark. CO<sub>2</sub>-reduktionseffekten vurderes at være dokumenterbar. Den samlede modenhed for omstillingselementerne vurderes at være på trinnet 'Prækommerciel'. Se Boks 2 nedenfor.

#### Boks 2. Teknologisk modenhed af biobrændstoffer og PtX-brændstoffer

##### Biobrændstoffer vurderes i modenhedstrinnet Prækommerciel-Moden

Udbredelsen af biobrændstoffer i transportsektoren er i dag større end udbredelsen af PtX-brændstoffer, og der stilles både nationale og europæiske krav til iblanding af biobrændstoffer. Som hovedregel er produktionen af biobrændstoffer på et mere moden stadie end PtX-brændstoffer, og derfor er det biobrændstoffer der er styrende for den samlede modenhed for VE-brændstoffer. Biobrændstoffers modenhed er Prækommerciel- Moden, afhængig af brændstoftype. Der vil derfor være forskel på hvilket modenhedstrin de forskellige omstillingselementer er placeret på, afhængigt af hvilke brændstoffer der lægges til grund. Modenhedsvurdering for biobrændstoffer forklares i denne boks.

##### Anvendelse af nye typer restbiomasse kræver teknologiudvikling

I dag er der adskillige kommercielle produktioner af avancerede biobrændstoffer.<sup>12</sup> Dog vil en kraftig opskalering kræve at nye typer restbiomasse bliver bragt til anvendelse, hvilket kræver teknologiudvikling. Der er eksempelvis ganske få storskalaproduktioner af bio-flybrændstof globalt set, og generelt vil det også kræve udvikling at opskalere produktionen af allerede etablerede avancerede biobrændstoffer.

##### Voksende efterspørgsel på restbiomasse til biobrændstoffer

Biobrændstoffer klassificeres efter førstegenerations- og andengenerationsbiobrændstoffer (1.g. og 2.g) samt avancerede biobrændstoffer. Ifølge IEA<sup>13</sup> består hovedparten af biobrændstofforbruget af 1.g. biobrændstoffer, og disse har været underlagt kritik for bæredygtigheden af produktionen. Dette skyldes hovedsageligt at 1.g. biobrændstoffer er baseret på foder- og føde-afgrøder, og derfor er i konkurrence med landbrugsareal til fødevarerproduktion. For at imødekomme disse bæredygtighedsproblematikker, er der et politisk pres for at omlægge biobrændstofproduktionen til at være baseret på affald og restprodukter. Dette kaldes 2.g. biobrændstoffer. Nogle 2.g. biobrændstoffer er mere begrænsede på råstoffer end andre. Den delmængde, der bedre kan opskaleres i produktion, kaldes avancerede biobrændstoffer. Den delmængde, der af 2.g biobrændstoffer, der ikke er 'avancerede',

<sup>12</sup> IEA Bioenergy task 39, Database on facilities for the production of advanced liquid and gaseous biofuels for transport, <https://demoplants.best-research.eu/>

<sup>13</sup> IEA, Sustainable Production of Second-Generation biofuels, 2010

baseres hovedsageligt på fedt- og olie-affald, såsom slagteriaffald eller brugt madlavningsolie.

#### **Begrænset produktion**

I dag er produktionen af avancerede biobrændstoffer stadig meget lille ift. transportsektorens forbrug. Dette kan illustreres gennem udmøntningen af EU kommissionens forslag til revision af VE II-direktivet ifm. Fit-for-55, hvor der indgår et iblandingskrav i transportsektoren generelt på 2,2 pct. avancerede biobrændstoffer i 2030. Dette giver et billede på størrelsesordenen af produktionskapaciteten, eftersom at avancerede biobrændstoffer generelt er dyrere end 1.g. biobrændstoffer og fossile brændstoffer, således at det kræver et reguleret marked at bringe dem i anvendelse. Hvis avancerede biobrændstoffer skal bruges til omstilling af bare 20-25 pct. af den samlede transportsektor vil det kræve 10 gange så meget produktionskapacitet som revisionen af VE II-direktivet lægger op til.

#### **Begrænsede ressourcer**

Danmark forbruger i dag per indbygger omkring 3 gange den mængde bæredygtige biomasse der vurderes globalt at være til rådighed i 2050.<sup>14</sup> Ved større udbredelse af anvendelse af biobrændstoffer, må der derfor ventes at komme et pres på ressourcerne. Dette vil udgøre en barriere for opskalering af produktionen af bæredygtige biobrændstoffer.

#### *Modenhed af dyrkning af plantebaserede fødevarer og planteprotein*

Omstillingselementet vurderes at kunne gennemføres uden udvikling af ny teknologi, og i det omfang reduktionseffekten regnes pba. antallet af husdyr i landbruget er reduktionseffekten dokumenterbar. Samlet vurderes omstillingselementet derfor til at være på stadiet Moden. Vurderingen af omstillingselementet som Moden er dog stærkt afhængig af hvordan tjenesten defineres. Defineres tjenesten som fødevarerproduktion kan tjenesten omlægges fra animalsk til planteproduktion uden udvikling af ny teknologi og er dermed Moden. Defineres tjenesten derimod som proteinproduktion med samme egenskaber som animalsk protein kræver det videreudvikling af teknologi som fx laboratoriekød og – mælkeprodukter, hvilket betyder at modenheten vil være på et lavere modenhedstrin. Der er dog her lagt til grund af tjenesten omhandler fortsat fødevarerproduktion, og derfor vurderes modenheten for omstillingselementet at være på stadiet Moden.

---

<sup>14</sup> ENS, Biomassens rolle i Power-to-X, Baggrundsnotat til Regeringens PtX-strategi.

## 3 Omstillingshastighed

### 3.1 Formål med at undersøge omstillingshastighed

Formålet med undersøgelsen af omstillingshastighed er at understøtte en vurdering af, hvordan det tekniske beslutningsrum indsnævres frem mod 2030 eller 2035.

Vurderingen beror på fire typer af indfrielsesprofiler, som har sammenlignelige omstillingshastigheder og reduktionseffekt ved implementering. Dette er vurderet for hvert omstillingselement, og fremgår af notat om tekniske reduktionspotentialer, Bilag *Modenhedsvurdering i Teknologikataloget*.

Opgørelsen af de tekniske reduktionspotentialers omstillingshastighed er afgrænset til at se på tekniske forhold (som fx projektering og etablering af anlæg, og der tages ikke højde for hvilke virkemidler, der anvendes til at understøtte realisering af potentialerne.

### 3.2 Resultater for omstillingshastighed

For visse omstillingselementer vil reduktionseffekten være gradvis i takt med implementeringen, mens der for andre omstillingselementer fx er en længere anlægsfase forud for reduktionseffekten. Derfor er den antagne indfrielsesprofil angivet for hvert omstillingselement. De angivne tidsintervaller for omstillingshastigheden skal betragtes som skøn.

Tabel 1 viser omstillingshastighed og indfrielsesprofil for omstillingselementerne præsenteret i notat om tekniske reduktionspotentialer. Der henvises til kapitel 3.2 for definitioner af indfrielsesprofil og metode, og til notat om tekniske reduktionspotentialer Bilag *Modenhedsvurdering i Teknologikataloget*. for beskrivelse af hvert omstillingselement.

For størstedelen af omstillingselementerne opnås reduktionerne løbende i takt med at aktørerne implementerer omstillingselementerne (Løbende effekt). Det gælder fx 'Varmepumper og fjernvarme i husholdninger', 'Elektrificering og brint i vejtransport' og 'Genanvendelse og affaldsreduktion'. Fælles for de omstillingselementer der er kendetegnet ved en løbende effekt er, at implementeringen strækker sig over hele perioden frem til 2030 og 2035. Der er overordnet antaget almindelig udskiftningsstakt af fx personbiler, opvarmingskilde i husholdninger mm., dvs. samme udskiftningsstempo som forventes alt andet lige, jf. KF22. Nogle af de omstillingselementer hvor reduktionspotentialet indfries med løbende effekt forventes at kunne omstilles helt allerede i 2030 og for disse er omstillingshastigheden 7-8 år både for reduktionspotentialet i 2030 og 2035. For et par af omstillingselementerne er der et yderligere potentiale der kan indfries mellem 2030 og 2035, og her er omstillingshastigheden ca. 8 år for reduktionspotentialet i 2030 og ca. 13 år for reduktionspotentialet i 2035. Det drejer sig om 'Elektrificering og brint i vejtransport' og 'Elektrificering og brint i søfart'.

Den næstmest hyppige indfrielsesprofil er, at reduktionerne først indfries efter en anlægsfase, hvor der i selve anlægsfasen ikke opnås reduktioner. Disse kaldes samlet Anlægsprojekter. Det gælder fx 'Elektrificering af raffinaderier', 'Elektrificering af olie- og gasindvinding i Nordsøen' og de omstillingselementer der gør brug af CCS.

Et par af omstillingselementerne kan implementeres hurtigt og giver hurtigt effekt. Dette drejer sig hovedsageligt om udskiftning af fossilt brændstof med VE-brændstoffer og herudover fodertilsætningsstoffer og 'håndtering af gylle og gødning'. Her antages det, at der kan opnås reduktioner inden for få år.

Omstillingselementet 'skovrejsning' antages at have en eksponentiel indfrielsesprofil, og giver voksende reduktioner over en lang årrække. Den fulde effekt i mange tilfælde først opnås mere end 20 år efter implementeringen. De angivne reduktionspotentialer repræsenterer det optag der kan opnås i 2030 og 2035 ved plantning af skov i 2022. Omstillingshastigheden er derfor 8 år for reduktionspotentialet i 2030 og 13 for reduktionspotentialet i 2035.



Tabel 7. Oversigt over omstillingshastighed og indfrielsesprofil for en række omstillingselementer. Tidsintervallerne skal betragtes som skøn.

	Omstillings- hastighed (antal år)	Indfrielses- profil
<b>Husholdninger</b>		
Varmepumper og fjernvarme i husholdninger	8	Løbende
Energibesparelser i husholdninger	8	Løbende
<b>Transport</b>		
Elektrificering og brint i vejtransport <sup>1,5</sup>	8-13	Løbende
Elektrificering og brint i søfart <sup>1,5</sup>	8-13	Løbende
Bio- og PtX-brændstoffer i vejtransport <sup>1,2</sup>	1-2	Hurtig
Bio- og PtX-brændstoffer i søfart <sup>1,2,5</sup>	8-13	Løbende
Bio- og PtX-brændstoffer i luftfart <sup>1,2</sup>	3-5	Hurtig
<b>Serviceerhverv</b>		
Varmepumper og fjernvarme i serviceerhverv	8	Løbende
<b>Fremstillingserhverv og bygge-anlæg</b>		
Energieffektivisering i procesenergi og intern transport	7-8	Løbende
Elektrificering i procesenergi og intern transport <sup>1</sup>	7-8	Løbende
Bio- og PtX-brændstoffer i intern transport <sup>1,2</sup>	1-2	Hurtig
Gas og PtX-brændsler i direkte fyrede processer <sup>2</sup>	7-8	Løbende
CCS i fremstillingserhverv	5-8	Anlæg
<b>Produktion af olie, gas og VE-brændstoffer</b>		
Elektrificering af raffinaderier	5-8	Anlæg
Skift til bio-feedstock på raffinaderier	5-8	Anlæg
CCS på raffinaderier	5-8	Anlæg
Elektrificering af olie- og gasindvinding i Nordsøen	5-8	Anlæg
Metanisering af CO <sub>2</sub> fra biogasanlæg	3-6	Anlæg
<b>Ei og fjernvarme</b>		
Biogasomlægning fra kraftvarme til opgradering	3-5	Anlæg
CCS på el-, fjernvarme- og biogasanlæg	5-8	Anlæg
<b>Affald</b>		
Genanvendelse og affaldsreduktion	7-8	Løbende
CCS på affaldsforbrændingsanlæg	5-8	Anlæg
<b>Landbrug, landbrugsarealer, skove, gartneri og fiskeri</b>		
Fodertilsætningsstoffer <sup>3</sup>	1-2	Hurtig
Håndtering af gylle og gødning <sup>4</sup>	1-2	Hurtig
Udtag af lavbundsjord	7-8	Løbende
Omlægning til økologi	7-8	Løbende
Biokul fra pyrolyse af halm	4-8	Løbende
Omstilling fra animalsk produktion til planteproduktion	8	Løbende
Skovrejsning <sup>5,6</sup>	8-13	Langsom
Energieffektiviseringer i procesenergi og intern transport <sup>1</sup>	7-8	Løbende
Elektrificering i procesenergi og intern transport <sup>1</sup>	7-8	Løbende
Bio- og PtX-brændstoffer i intern transport <sup>1,2</sup>	1-2	Hurtig
<b>Andet</b>		
Regneeksempel for DAC (baseret på 1 GW havvind)	5-8	Anlæg

Anm. 1: Der antages samme generelle udskiftningstakt af transportmidler som i Klimastatus og – fremskrivning 2022 (KF22)

Anm. 2: Omstillingshastighed forudsætter at biobrændstoffer og/eller PtX-brændstoffer er tilgængelige i de fornødne mængder.

Anm. 3: I det omfang det lykkes at kommercialisere visse fodertilsætningsstoffer vurderes effektfasen, fra virkemidlet er vedtaget, til det kan levere konkrete reduktioner at udgøre 1-2 år. Kilde: FVM og MiM.

Anm. 4: I det omfang det lykkes at kommercialisere visse gylletilsætningsstoffer tidligere, og implementering ikke kræver installation af fx nye iblandingsanlæg i staldene, vurderes effektfasen, fra virkemidlet er vedtaget, til det kan levere konkrete reduktioner at udgøre 1-2 år. Såfremt implementering kræver nye anlægsinstallationer e.l., forventes effektfasen at være længere og medføre betydelige

omkostninger. Vurderingen er behæftet med stor usikkerhed, da der er tale om umoden teknologi. Kilde: FVM og MiM

Anm 5: For disse omstillingselementer er omstillingshastigheden 8 år når 2030 er målåret, og 13 år når 2035 er målåret.

Anm 6: Reduktionspotentialer angivet i 'Tekniske Reduktionspotentialer' er den reduktionseffekt man vil forvente i 2030 og 2035 ved at plante skov i dag. Der vil i årene efter 2035 opnås en yderligere effekt fra den skov man planter idag, idet skoven fortsætter med at optage CO<sub>2</sub>, og skovens evne til at optage CO<sub>2</sub> topper 20-40 år efter skoven er plantet. Omstillingshastigheden angivet her er 8 år for reduktionspotentialer i 2030 og 13 år for reduktionspotentialer i 2035.

### 3.3 Definition af omstillingshastighed

For et givent omstillingselement med et teknisk reduktionspotentiale, svarer omstillingshastigheden til, hvor hurtigt omstillingen teknisk set kan gennemføres, målt i antal år. Tiden måles fx fra et virkemiddel træder i kraft, eller anlægsarbejdet påbegyndes, til det fulde reduktionspotentiale er opnået.

Reduktionspotentialerne i målåret vil overordnet svinde ind, jo senere omstillingen påbegyndes, fx jo senere virkemidlet træder i kraft eller anlægsarbejdet igangsættes. I mange tilfælde vil en delvis opfyldelse af et reduktionspotentiale have samme omstillingshastighed som det fulde potentiale, men der kan også være tilfælde, hvor en delvis indfrielse kan opnås med kortere omstillingstid.

Ved indfrielse af et teknisk reduktionspotentiale kan omstillingen inddeles i to faser: en "Modningsfase" og en "Effektphase". Det er kun effektfasen, der kvantificeres med omstillingshastighed, og omstillingshastigheden er vurderet under antagelse om, at teknologien er moden. Effektfasen begynder når virkemiddel træder i kraft eller anlægsarbejdet påbegyndes.

Modningsfasen indeholder en række elementer, herunder forskning og udvikling af ny teknologi. Modningsfasen kan have varierende varighed, og er ikke behandlet yderligere her. Der foretages i år en modenhedsvurdering af omstillingselementerne, og metoden beskrives separat.





### 3.4 Definition af indfrielsesprofiler

I det følgende beskrives fire omstillingstyper, der har forskellig indfrielsesprofil.

Formålet er at optegne hvornår og med hvilken indfrielsesprofil omstillingselementerne kan implementeres fuldt ud, se

Tabel 8. Omstillingselementerne fører først til CO<sub>2</sub>-reduktioner når et virkemiddel er trådt i kraft eller anlægsarbejdet påbegyndes. Indfrielsesprofilerne og omstillingshastigheden målt i antal år for fuld reduktionseffekt bruges til at optegne beslutningsrummet. De fire typer indfrielsesprofil gennemgås i det følgende.

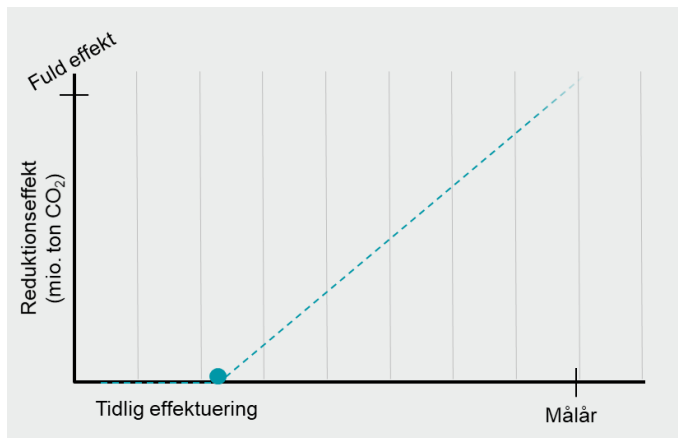
Tabel 8. Fire indfrielsesprofiler for implementering af omstillingselementer.

Indfrielsesprofil	Omstillings- hastighed (antal år)	Antaget reduktionseffekt ved implementering	Skitse af indfrielsesprofil
Løbende effekt og mange aktører	7-8 år	Lineært stigende	
Anlægsprojekter	3-8 år	Stepfunktion	
Hurtig effekt	1-2 år	Stepfunktion	
Langsom effekt ved skovrejsning	7-8 år	Eksponentielt stigende	

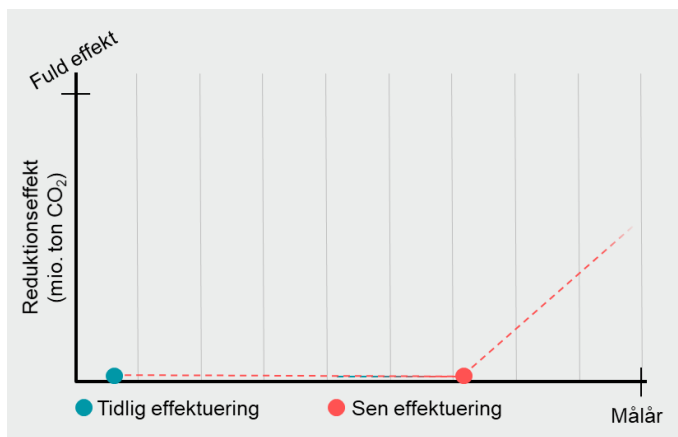
### 3.4.1 Løbende effekt og mange aktører – lineær effekt

Omstillingselementerne er kendetegnet ved, at de implementeres løbende over tid og vedrører mange aktører (fx bilejere eller husejere). Reduktionen sker løbende, i takt med, at enkeltdele udskiftes, hvilket betyder, at en andel af reduktionspotentialet kan opnås i mållåret, selv hvis omstillingselementet effektueres kort før mållåret.

Figur 1 viser indfrielsesprofilen ved en tidlig effektivering, hvor det fulde potentiale opnås i mållåret. Størrelsen på det realiserede reduktionspotentialer aflæses på y-aksen, mens x-aksen angiver tidsperioden. Der antages en lineært stigende indfrielse af reduktionspotentialet voksende til det fulde reduktionspotentialer i mållåret. Det antages, at der ingen anlægsfase er, hvilket betyder, at reduktionerne gradvist opnås så snart virkemidlet effektueres. Bredden på profilen angiver usikkerhed på reduktionspotentialerets størrelse og tidspunktet for opnåelse af fuldt reduktionspotentialer. Figur 2 viser indfrielsesprofilen ved sen effektivering, hvor kun en andel af det fulde reduktionspotentialer kan opnås i mållåret.



Figur 1. Indfrielsesprofil af typen 'Løbende effekt og mange aktører' i tilfælde af tidlig effektuering, hvor det fulde reduktionspotentiale opnås i målåret eller før.

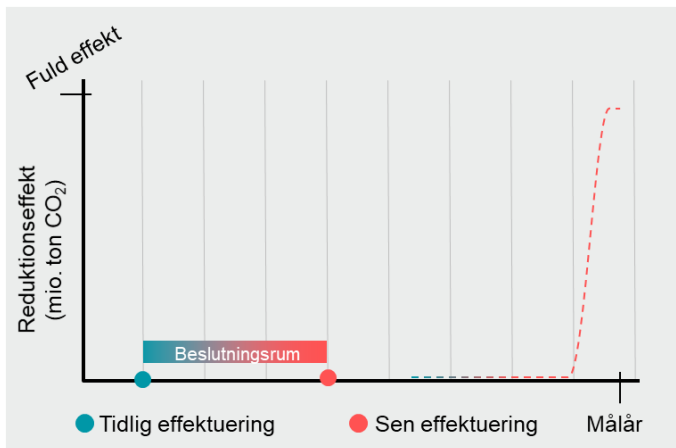


Figur 2. Indfrielsesprofil af typen 'Løbende effekt og mange aktører' i tilfælde af sen effektuering, hvor kun en andel af det fulde reduktionspotentiale kan opnås i målåret

### 3.4.2 Anlægsprojekter – stepfunktion

Omstillingselementerne er kendetegnet ved, at de berører relativt få aktører og har en lang anlægsfase. Når anlægsarbejdet er færdigt, kan reduktionspotentialerne indfries relativt hurtigt (på mindre end et år).

Indfrielsesprofilen er skitseret i Figur 3. Indfasningsprofilen antages at være konstant nul i anlægsfasen, hvorefter reduktionseffekten indtræffer med fuld effekt (på mindre end ét år) når anlægget sættes i drift. Beregningsmæssigt antages indfrielsesprofilen at tage sig ud som en stepfunktion. Figuren illustrerer indfrielsesprofilen ved sen effektuering kort før målåret.



Figur 3. Indfrielsesprofil for omstillingselementer af typen 'Anlægsprojekter'

### 3.4.3 Hurtig effekt - stepfunktion

Omstillingselementerne er kendetegnet ved, at tiden fra effektivering til indfrielse af det fulde reduktionspotentiale er kort. Omstillingselementer af denne type er primært udskiftning af et fossilt brændsel med et VE-brændsel, som ikke kræver nyt materiel i form af fx nye motorer eller lignende.

Indfrielsesprofilen er illustreret i Figur 4. Der antages at være kort tid fra effektivering til indfrielse af det fulde potentiale (et-to år), og dermed en stejl indfasningsprofil, der i beregninger antages at tage sig ud som en stepfunktion. Figuren illustrerer indfrielsesprofilen ved sen effektivering kort før målar.



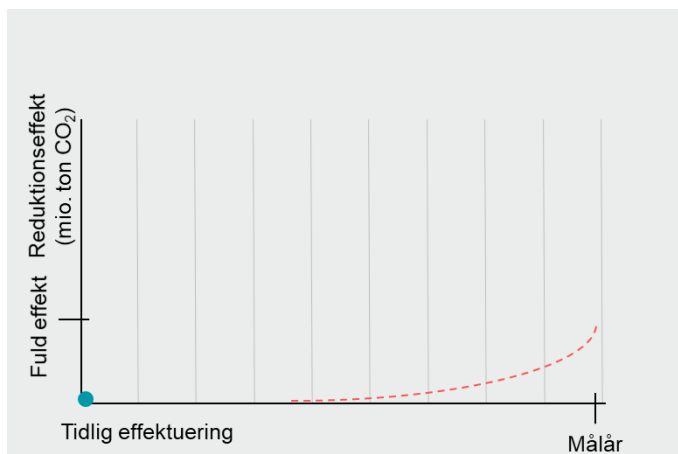
Figur 4. Indfrielsesprofil af typen 'Hurtig effekt'

### 3.4.4 Langsom effekt ved skovrejsning – eksponentiel effekt

Omstillingstypen er kendetegnet ved, at der går relativt lang tid fra omstillingselementet realiseres til den fulde effekt opnås. Det er kun 'Yderligere

skovtiltag', der går ind under denne type. Der meget kort anlægsfase, hvilket betyder, at reduktionerne begynder at blive indfriet så snart virkemidlet effektueres. Dog er effekten meget lille umiddelbart efter anlægsfasen. Det skyldes, at CO<sub>2</sub>-optaget fra ny skov øges flere årtier efter beplantningen og mange træarter optager mest CO<sub>2</sub> efter de første 20 års vækst. Skovrejsning som klimatiltag skal derfor primært ses i et længere perspektiv frem mod 2050.

Figur 5 illustrerer indfrielsesprofilen, som antages at være eksponentielt stigende. Reduktionseffekten er forsvindende lille de første år efter implementeringen og er voksende i de efterfølgende år. Der opnås yderligere reduktionseffekt efter mållåret, men i dette notat opgøres reduktionspotentialer kun for 2030 og 2035. Eventuel negativ effekt i de første år, grundet fjernelse af eksisterende afgrøde fra mark før plantning af træer er ikke indregnet.



Figur 5. Indfrielsesprofil af typen 'Langsom effekt'

## 4 Beslutningsrum for indfrielse af reduktionspotentialer

### 4.1 Formål med undersøgelse af beslutningsrum

Beslutningsrummet angiver den periode hvor omstillingselementerne kan implementeres og give effekt i mållåret, fx 2030 eller 2035. Formålet er at anslå hvornår omstillingselementerne skal begynde at blive implementeret for at der er en vis sikkerhed for at opnå reduktioner i mållåret.

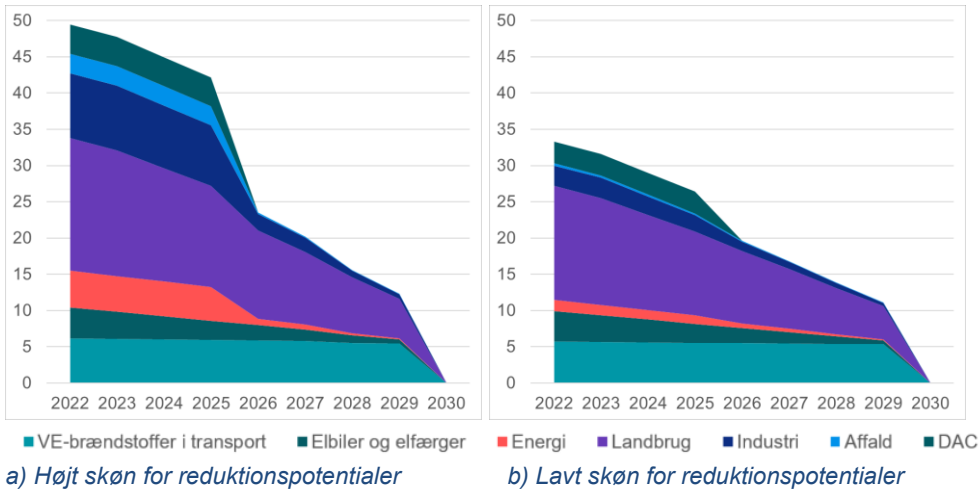
### 4.2 Resultater for beslutningsrum i 2030

Figur 6 viser reduktionspotentialer i 2030, givet at omstillingselementerne effektueres i et givent år og at de kan implementeres med den hurtige omstillingshastighed. Der er ikke taget højde for overlap mellem reduktionspotentialerne. Det ses generelt, at reduktionspotentialer i 2030 falder jo tættere på 2030 omstillingselementerne implementeres. Efter 2025 falder potentialer kraftigt, hvilket er særligt tydeligt ved det høje skøn for reduktionspotentialer. Det viser at en stor del af reduktionspotentialerne skal implementeres senest 2025 for at sikre reduktioner i 2030. Det øvre skøn for reduktionspotentialer vist i Figur 8a er mest retvisende for det samlede potentialer, idet der i det lave skøn er fratrukket pulje for CCS.

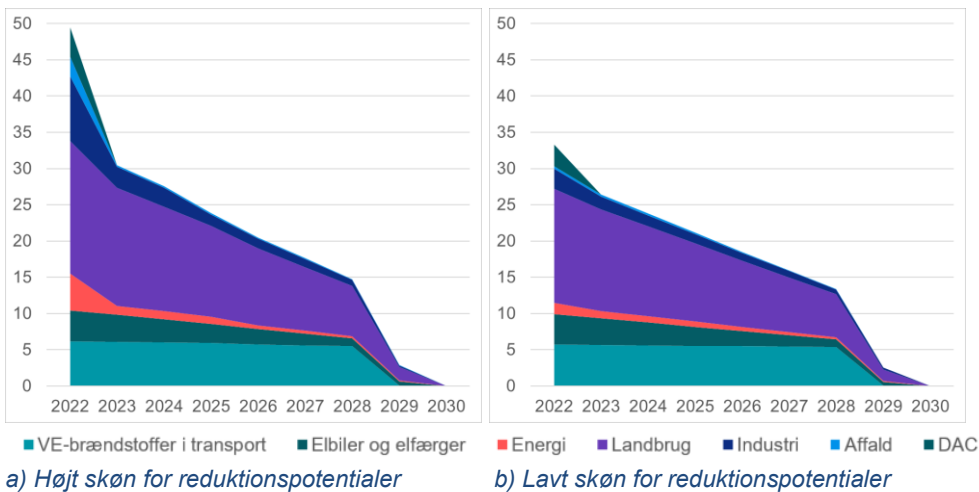
Figur 7 viser beslutningsrum frem mod 2030 under forudsætning af at implementeringen følger den langsomme omstillingshastighed. Her ses det at reduktionspotentialerne reduceres kraftigt allerede efter 2022. Igen er det øvre skøn for reduktionspotentialer vist i Figur 9a er mest retvisende for det samlede potentialer, idet der i det lave skøn er fratrukket pulje for CCS. Tilsammen skitserer figurerne et vejledende beslutningsrum mellem 2022 og 2025 for implementering af omstillingselementerne.

En skitsering af beslutningsrummet viser at jo længere der går frem mod 2030 før omstillingselementerne implementeres, jo mere er reduktionerne betinget af brug af bio- og PtX-brændstoffer og landbrugselementer der kan implementeres hurtigt, hvilket er udgjort af fodertilsætningsstoffer og gylle- og gødningshåndtering. Landbrugselementerne med hurtig implementering er særdeles usikre, idet teknologierne er på demonstrationsniveau, som beskrevet i afsnittet om modenhed. For bio- og PtX-brændstofferne gælder at det er relativt omkostningstunge løsninger og derudover at en stor vægt på biomasse kan have andre u hensigtsmæssige effekter, idet biomasse er en begrænset ressource.





Figur 6. Faldende reduktionspotentiale (mio. ton CO<sub>2</sub>) i 2030 ved hurtig omstillingshastighed givet at omstillingselementerne implementeres i det pågældende år. Reduktionspotentialerne er ikke korrigeret for overlap. Omstillingselementerne er grupperet som angivet i Tabel 9.



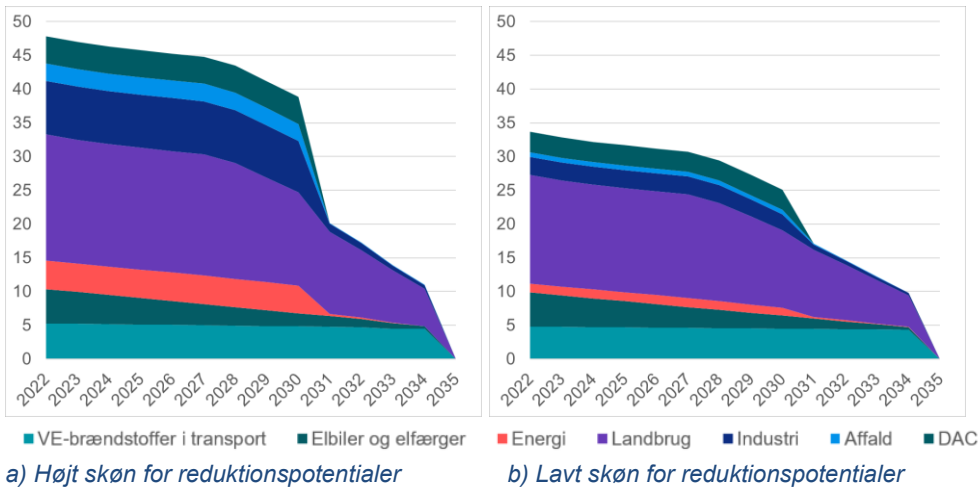
Figur 7. Faldende reduktionspotentiale (mio. ton CO<sub>2</sub>) i 2030 ved langsom omstillingshastighed givet at omstillingselementerne implementeres i det pågældende år. Reduktionspotentialerne er ikke korrigeret for overlap. Omstillingselementerne er grupperet som angivet i Tabel 9.

Tabel 9. Gruppering af omstillingselementer i Figur 8 og Figur 9

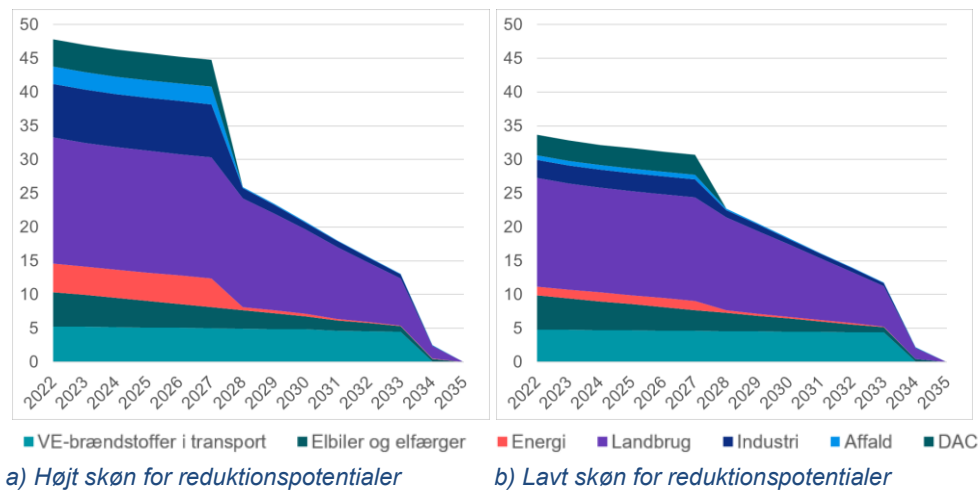
	Omstillingsmetode, jf. Figur 1-4
<b>Husholdninger</b>	
Varmpumper og fjernvarme i husholdninger	Energi
Energisparelser i husholdninger	Energi
<b>Transport</b>	
Elektrificering og brint i vejtransport	Elbiler og elfærger
Elektrificering og brint i søfart	Elbiler og elfærger
Bio- og PtX-brændstoffer i vejtransport	VE-brændstoffer i transport
Bio- og PtX-brændstoffer i søfart	VE-brændstoffer i transport
Bio- og PtX-brændstoffer i luftfart	VE-brændstoffer i transport
<b>Serviceerhverv</b>	
Varmpumper og fjernvarme i serviceerhverv	Energi
<b>Fremstillingserhverv og bygge-anlæg</b>	
Energieffektivisering i procesenergi og intern transport	Industri
Elektrificering i procesenergi og intern transport	Industri
Bio- og PtX-brændstoffer i intern transport	Industri
Gas og PtX-brændsler i direkte fyrede processer	Industri
CCS i fremstillingserhverv	Industri
<b>Produktion af olie, gas og VE-brændstoffer</b>	
Elektrificering af raffinaderier	Industri
Skift til bio-feedstock på raffinaderier	Industri
CCS på raffinaderier	Industri
Elektrificering af olie- og gasindvinding i Nordsøen	Industri
Metanisering af CO <sub>2</sub> fra biogasanlæg	Industri
<b>El og fjernvarme</b>	
Biogasomlægning fra kraftvarme til opgradering	Energi
CCS på el-, fjernvarme- og biogasanlæg	Energi
<b>Affald</b>	
Genanvendelse og affaldsreduktion	Affald
CCS på affaldsforbrændingsanlæg	Affald
<b>Landbrug, landbrugsarealer, skove, gartneri og fiskeri</b>	
Fodertilsætningsstoffer	Landbrug
Håndtering af gylle og gødning	Landbrug
Udtag af lavbundsjord	Landbrug
Omlægning til økologi	Landbrug
Biokul fra pyrolyse af halm	Landbrug
Omstilling fra animalsk produktion til planteproduktion	Landbrug
Skovrejsning	Landbrug
Energieffektiviseringer i procesenergi og intern transport	Landbrug
Elektrificering i procesenergi og intern transport	Landbrug
Bio- og PtX-brændstoffer i intern transport	Landbrug
<b>Andet</b>	
Regneeksempel for DAC (baseret på 1 GW havvind)	DAC

### 4.3 Resultater for beslutningsrum i 2035

Tilsvarende figurer kan tegnes op for reduktionspotentiallet i 2035. Her vil beslutningsrummet ligge mellem 2027 og 2030, idet beslutningsrummet ligesom for 2030 vil ligge mellem 5 og 8 år inden mållåret.



Figur 8. Faldende reduktionspotentiale (mio. ton CO<sub>2</sub>) i 2035 ved hurtig omstillingshastighed givet at omstillingselementerne implementeres i det pågældende år. Reduktionspotentialerne er ikke korrigeret for overlap. Omstillingselementerne er grupperet som angivet i Tabel 9.



Figur 9. Faldende reduktionspotentiale (mio. ton CO<sub>2</sub>) i 2035 ved langsom omstillingshastighed givet at omstillingselementerne implementeres i det pågældende år. Reduktionspotentialerne er ikke korrigeret for overlap. Omstillingselementerne er grupperet som angivet i Tabel 9.

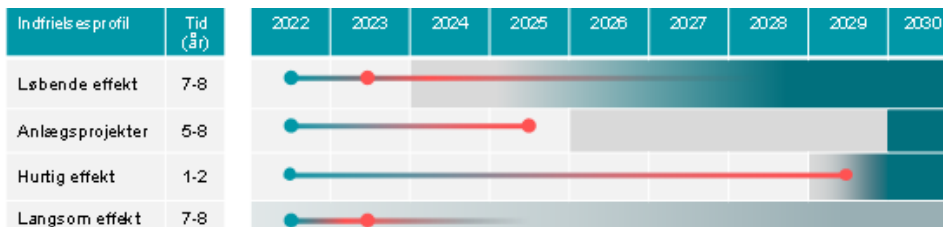
#### 4.4 Metode for opgørelse af beslutningsrum

Tidspunktet for hvornår omstillingselementet implementeres er afgørende for, hvor stor en del af reduktionspotentialen, der kan nå at blive indfriet i 2030.

Implementeringen afhænger af omstillingselementet og virkemidler, men kan fx være, at regulering træder i kraft eller anlægsfase påbegynder. Beslutningsrummet er det tidsrum, hvor det er muligt at indføre virkemidler eller påbegynde anlægsfase, således at der opnås reduktioner i 2030.

Figur 10 er en konceptuel skitse af beslutningsrummet for de fem typer af indfrielsesprofiler, illustreret som tiden mellem tidlig implementering (blå prik) og sen implementering (rød prik), som giver fuld reduktionseffekt i 2030. For indfrielsesprofilerne 'Løbende effekt' og 'langsom effekt' kan en andel af reduktionspotentialet stadig indfries efter tidspunktet for sen implementering, der kan indfri det fulde potentiale. Dette er markeret med falmende rød streg.

For omstillingselementer af type 'Anlægsprojekter' vurderes det overordnet, at anlægsarbejde skal påbegyndes senest 2025, for at det fulde reduktionspotentiale i 2030 kan opnås. For omstillingselementer af typen 'Hurtig effekt' kan virkemidler træde i kraft 2028-2029 og stadig give fuld effekt i 2030, idet der ikke er tekniske hindringer for implementering.



Figur 10. Illustration af beslutningsrum for indfrielse af reduktionspotentiale, markeret som tiden mellem tidlig implementering (blå prik) og senest mulige implementering (rød prik), hvor det fulde reduktionspotentiale kan indfries. Tidsintervallerne skal betragtes som skøn og der er afvigelser for enkelte omstillingselementer.

## 5 Kildeliste

Lov om klima af 18. juni 2020 (klimaloven)

Energistyrelsen, Tekniske Reduktionspotentialer, 2022

Energistyrelsen, Klimastatus og – fremskrivning 2022 (KF22), april 2022

Energistyrelsen, Teknologikataloger, version á juni 2022

Det Internationale Energiagentur (IEA), ETP Clean Energy Technology Guide, november 2021