



# Grøn Industrianalyse

*Potentialer og  
barrierer for  
fossiludfasning i  
industri*

# Indholdsfortegnelse

# Indholdsfortegnelse

## *Kapitler og nedslagspunkter*

- I. **Resumé** – side 4
- II. **Introduktion** – side 7
  - Forord, formål og overblik over industriens udledninger*
- III. **Metodisk tilgang** – side 11
  - Kilder, områdeafgrænsning og definitioner*
- IV. **Fremstillingsindustrien** – side 16
  - Udledninger og procestyper i fremstillingsindustrien*
  - Mulighedsrum for fossiludfasning*
  - Teknologiske, økonomiske og videnskæssige barrierer*
- V. **Raffinaderier** – side 40
  - Udledninger relateret til restproduktet "raffinaderigas"*
  - Muligheder og barrierer for omstillingen*
- VI. **Intern Transport** – side 44
  - Forskellige anvendelser og muligheder for transport i landbrug, byggeri og anlæg samt fiskeri*
- VII. **Perspektivering** – side 48
  - Cases til illustration af potentialer og barrierer*
- VIII. **Konklusion** – side 53



# Resumé

## Grøn Industrianalyse nuancerer et kompliceret område af industrien

Grøn Industrianalyse undersøger potentialer og barrierer for reduktion af drivhusgasudledninger fra den del af dansk industri, der har de største udledninger og den mest intensive energianvendelse. Dermed opfylder analysen et af målene i Klimaaftale for energi og industri mv. af 22. juni 2020, der efterspurgte netop en sådan analyse. Samtidig peger Grøn Industrianalyse fremad mod Grøn Skattereform og et kommende industriudspil til nedbringelse af drivhusgasudledningerne fra industrien i Danmark. Mens Grøn Industrianalyse ikke har til formål at fremsætte konkrete virkemidler til at nedbringe udledninger i sektoren, anviser analysen de vigtigste opmærksomhedspunkter på vejen mod fremtidige reduktioner. Dermed er Grøn Industrianalyse et redskab, der spiller sammen med øvrige initiativer i Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet for at sikre målretning af fremtidig politikudvikling på industriområdet.

Grøn Industrianalyse står på skuldrene af blandt andet Klimafremskrivning 2021 og Klimaprogrammet. Industrianalysen har dog et mere snævert fokus end disse publikationer, da den søger at nuancere den hidtidige forståelse af potentialer og barrierer for omstilling af industrisektorerne. Specifikt undersøges subgrupperne *fremstillingsindustri*, *raffinaderier* og *den interne transport* i byggeri og anlæg, landbrug samt fiskeri. Derfor bygger analysen på en bottom-up tilgang gennem involvering af nøgleaktører i industrien via interviews og spørgeskema. Det skaber en forståelse af aktuelle og fremtidige teknologiske muligheder for at omstille anvendelsen af fossile brændsler og nedbringe procesrelaterede udledninger fra industrien.

Tilsammen giver dette et solidt første skridt til forståelse af reduktionspotentialerne i en mangefacetteret og højt specialiseret sektor, hvor mulighederne for at nedbringe drivhusgasudledninger er forskelligartede.

# Analysens fund og deres implikationer

*Analysen finder brede muligheder for konverteringer med særligt tekniske og økonomiske barrierer*

Fundene i Grøn Industrianalyse er fordelt på sektorerne fremstillingsindustri, Raffinaderier og Tung intern transport:

- **Fremstillingsindustriens** energiforbrug kan teknologisk set omlægges helt til gas og delvist til el. Lav- og mellemtemperaturprocesser kan omlægges helt til el, mens højtemperaturprocesserne er mere vanskelige at elektrificere. Her peger analysen på udviklingsspor for delvis elektrificering suppleret med ledningsgas, samt omlægning af processer for at muliggøre yderligere elektrificering. De primære barrierer for omstillingen vurderes at være økonomiske, mens der dog kræves teknologisk udvikling for visse højtemperaturprocesser og er videnskæssige barrierer om tilgængelig teknologi. Procesomlægninger er ligeledes forbundet med usikkerheder. Procesudledninger kan p.t. ikke nedbringes fuldstændigt uden brug af carbon capture, men kan reduceres med produktudvikling, hvilket primært har teknologiske barrierer.
- **Raffinaderiernes** udledninger stammer primært fra fyring med raffinaderigas, som er et restprodukt fra deres produktionsaktivitet. Konvertering til el eller ledningsgas er kun meningsfuldt, hvis raffinaderigassen kan benyttes andre steder, eller nedbringes gennem omlægning af produktionsaktiviteten. Omlægning kan være enten gennem raffinering af alternative produkter eller ved satsning på PtX-projekter. Begge dele har store omkostninger, og raffinaderierne afventer markedssignaler.
- **Tungere intern transport** kan teknologisk set omlægges til at køre på biobrændstof. Det er aktuelt den eneste løsning, der kan klare alle anvendelser. Biobrændstof er samtidig en begrænset ressource. Øvrige omstillinger har teknologiske og økonomiske barrierer, og omstillingen kræver derfor både intensiv udvikling af alternative teknologier og krav til at disse anvendes i industriens aktiviteter.

Mens der blandt raffinaderier og i fremstillingsindustrien vurderes at være potentiale for såvel konvertering af brændsel, omlægninger af produktion og produktudvikling, knytter potentialet i den interne transport sig primært til konvertering af brændstof. Grøn Industrianalyse viser, på hvilke områder teknologi kræver videreudvikling for at muliggøre en omstilling, samt at der fortsat er specifikke videnskæssige barrierer, der skal overkommes for virksomhederne. Samlet set nuancerer analysen, at fokus ikke alene bør være på konvertering af brændsel, men også produktudvikling og omlægning af eksisterende processer.

# Introduktion

*Baggrund og formål*

# Forord

*Klimaaf tale for energi og industri mv. af 22. juni 2020* var det første skridt på vejen til at sikre en ambitiøs grøn omstilling af industrien, og Grøn Industrianalyse udspringer heraf.

Konkret er baggrunden for Grøn Industrianalyse, at der savnes svar på, hvordan særligt højtemperaturprocesenergi omstilles mest hensigtsmæssigt, herunder også direkte fyrede anlæg og olieraffinaderier. Der mangler også svar på omstillingsmulighederne for tungere intern transport.

Energistyrelsen har udarbejdet Grøn Industrianalyse. Analysen er baseret på rapporter udarbejdet af konsulenter, herunder interviews, og en spørgeskemaundersøgelse gennemført af Energistyrelsen.

Med Klimaaf talem for energi og industri mv. d. 22. juni 2020 blev det aftalt:

*"Partierne er desuden enige om, at der skal igangsættes en analyse, der skal identificere potentialer og barrierer for udfasning af fossile brændsler i erhverv, herunder i de dele af virksomhedernes procesenergiforbrug hvor der i dag er begrænsede muligheder for fossiludfasning, fx højtemperatur processer. Analysen forelægges partierne."*



# Formål

Grøn Industrianalyse giver et overblik over teknologiske potentialer for udfasning af fossile brændsler. Industrianalysens fokus er på et højt specialiseret område, hvor virksomhederne sjældent er sammenlignelige. Med henblik på at nuancere billedet af et heterogent felt, er der valgt en bottom-up tilgang med direkte involvering af industrien.

Derfor præsenterer Grøn Industrianalyse ikke konsoliderede estimater for hvor stor en andel af det tekniske potentiale, som vil kunne realiseres i praksis. Konkrete potentialer på virksomhedsniveau bør baseres på specifikke businesscases for hver virksomhed. Det er uden for analysens scope at kortlægge konkrete projektbeskrivelser for de enkelte virksomheder.

Til illustration af konkrete omstillinger præsenteres der i analysen en række cases, der eksemplificerer anvendelsen af grønne teknologier i industrien. Samtidig illustreres specielle forhold, der gør sig gældende for hver enkelt virksomhed.

Den indsamlede viden skal bruges som baggrund for at identificere løsninger og virkemidler til at understøtte omstillingen af energiforbruget i industrien. Grøn Industrianalyse kan dermed nuancere de overordnede potentialer for CO<sub>2</sub>e-reduktion, som andre analyser præsenterer<sup>1</sup>.

Læs mere om baggrunden for Grøn Industrianalyse i baggrundsnotatet, og de tilhørende bilag, der findes på Energistyrelsens hjemmeside.

<sup>1</sup>Energistyrelsen har bl.a. igangsat arbejde med at kortlægge sektorenes energiforbrug og opgøre besparelspotentialet. Kortlægningen vil kunne bruges i forskellige analyser og modeller for produktionserhvervene. Arbejdet forventes færdiggjort i 2022.

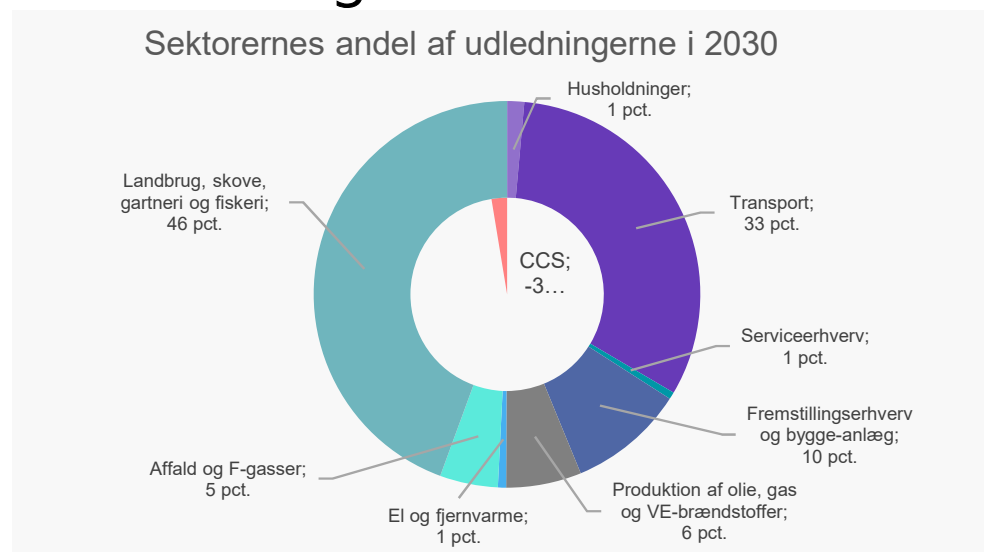
# Grøn Industrianalyse fokuserer på de største udledninger i industrien

Danmark står overfor et ambitiøst mål om, at udledningen af drivhusgasser i 2030 skal være reduceret med 70 pct. i forhold til niveauet i 1990. Senest i 2050 skal Danmark være klimaneutralt. Derfor arbejdes der med CO<sub>2</sub>e-reducerende tiltag i alle udledende sektorer i Danmark.

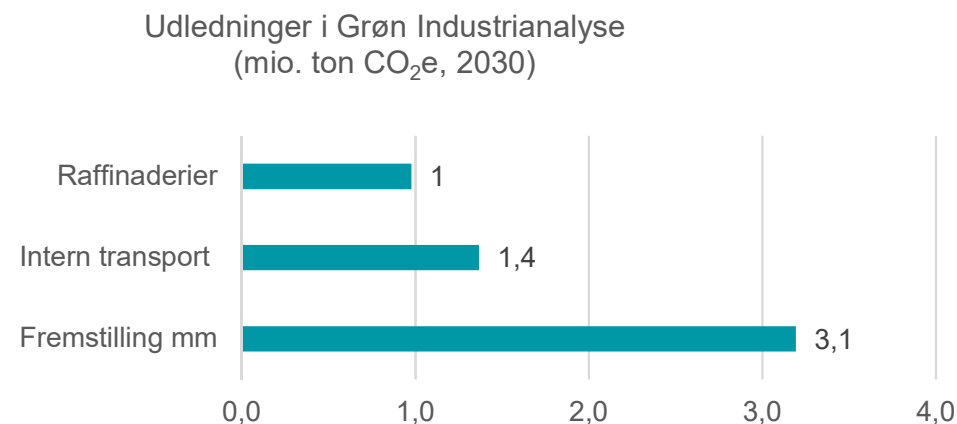
Figur 1 viser sammensætningen af de samlede danske CO<sub>2</sub>e-udledninger i 2030 og indregnede effekter fra vedtagne tiltag. Figur 2 zoomer ind på de udledninger, der fokuseres på i Grøn Industrianalyse, som er raffinaderier, intern transport og fremstillingsindustri. Disse områder udgør knap 15 pct. af de samlede udledninger præsenteret i figur 1 eller ca. 5 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030.

Udledningerne, som Grøn Industrianalyse fokuserer på, kommer primært fra *fremstillingsindustri* (3,1 mio. ton CO<sub>2</sub>e). Heraf udgør udledninger fra de mest energiintensive højtemperaturprocesser - *cement- glas og teglfremstilling* – ca. 76 pct. (2,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e).

Analysens primære fokus er derfor på udledninger fra højtemperaturprocesser. *Intern Transport* samt *Raffinaderier* udgør en mindre andel med henholdsvis 1,4 og 1,0 mio. ton CO<sub>2</sub>e.



Figur 1: Danske kilder til udledninger af drivhusgasser, fordelt på sektorer. Fremskrevet til år 2030  
Kilde: Klimafremskrivning 2021.



Figur 2: Udledninger fra de segmenter af industrien, som Grøn Industrianalyse fokuserer på. Se definition på segmenterne slide 13. Kilde: Særtræk fra Klimafremskrivning 2021.

# Metodisk tilgang

*Herunder afgrænsning og vigtige definitioner*

# Anvendt metode

Gruppen af virksomheder i fokus er relativt lille men samtidig højt specialiseret. Derfor har Energistyrelsen valgt at inddrage virksomhederne direkte via bl.a. spørgeskema og interviews.

Inddragelsen af virksomhederne har to formål:

1. Identifikation af kilderne til udledninger i industrien  
– *Hvordan anvendes fossile brændsler?*
2. Dialog med virksomhederne om deres konkrete udfordringer  
– *Hvad er de oplevede barrierer for at nedbringe udledningerne?*

Grøn Industrianalyse har taget udgangspunkt i en systematisk indsamling af viden, hvor virksomhederne er blevet inviteret til at dele oplysninger om aktiviteter, der udleder drivhusgasser, og oplevede barrierer for reduktion.

Til uddybning af virksomhedernes mulighedsrum for omstilling, medtager analysen input fra Viegand Maagøe, der har kortlagt konkrete teknologier, som er aktuelle for virksomhederne. COWI har nuanceret forståelsen gennem illustrative cases for omstillinger i industrien.

Samlet bidrager det til en bedre forståelse af de teknologiske muligheder for en omstilling, og hvad der står i vejen for deres realisering.

<sup>1</sup>Indsigter fra spørgeskema og interview er naturligvis subjektive og øjeblikbilleder baseret på den enkelte virksomheds holdninger og erfaringer.

<sup>2</sup>Konklusioner i rapporter udarbejdet af konsulenter er konsulenternes egne og ikke et udtryk for Energistyrelsens holdning.

## Sådan har vi gjort :

1. Spørgeskemaundersøgelse og dybdegående interview blandt virksomheder i fremstillingsindustrien har givet indsigt i forudsætninger for produktionen, og virksomhedernes erfarede barrierer for udfasning af fossile brændsler<sup>1</sup>.
2. Viegand Maagøe har kortlagt og vurderet konkrete teknologiske konverteringsmuligheder for industriens kilder til udledninger<sup>2</sup>.
3. COWI har regnet på mulige omstillinger, der illustrerer potentialer for industrien.
4. Energistyrelsen har samlet indsigterne fra dette arbejde i Grøn Industrianalyse.



Figur 3: Metodisk tilgang for Grøn Industrianalyse

# Områdeafgrænsning og terminologi

## Fremstillingsindustrien

Fremstillingsindustrien er defineret som de dele af industrien, der bearbejder råvarer til fremstilling af produkter som fødevarer, byggematerialer mv. Produktionen kan være mere eller mindre energiintensiv, hvilket bl.a. hænger sammen med behovet for varme til fremstillingsprocesser. Aktuelt benytter mange virksomheder fossilt brændsel i større eller mindre grad til at danne den nødvendige varme .

## Høj- og lav- og mellemtemperatur procesenergi

For virksomheder kan der være forskellige krav til temperaturer i fremstillingsprocesserne. Fremstillingsprocesser, der kræver varme over 150 grader, kaldes højtemperaturprocesser. Alle processer ved lavere temperaturer kaldes lav- og mellemtemperaturprocesser.

## Raffinaderier

Raffinaderier benytter varme til at raffinere olie gennem destillationsprocesser. Disse processer forsynes i dag næsten udelukkende med fossile brændsler. Analysen er baseret på de tre danske raffinaderier: Shell, Equinor og Avista Green. Efter analysens dataindsamling har både Shell og Equinor skiftet ejere til hhv. Postlane Partners og Klesch Group Ltd.

## Tungere intern transport

Tungere intern transport betegner de maskiner, hvis hovedformål ikke er vejgående transport. Specifikt behandler analysen tungere intern transport i 3 brancher: Landbrug (traktorer, mejetærskere mv. inkl. maskinstationer), fiskeri (fiskefartøjer) og byggeri (gravemaskiner, lifte mv. til byggepladser).

# Definitioner

## Fossile brændsler

Fossile brændsler dækker over brændsler som olie, kul, koks og petrokoks, ligesom naturgasandelene af ledningsgassen er fossil.

## Potentialer

I Grøn Industrianalyse udforskes potentialer kvalitativt som teknologiske muligheder for en udfasning af fossile brændsler.

## Ledningsgas som teknologi for grøn omstilling.

Ledningsgas består i dag af både fossilt naturgas, og af biogas som er en vedvarende energikilde (VE). VE-andelen i det danske ledningsgasforbrug forventes at stige markant de kommende år. Det skyldes primært forventninger om et faldende gasforbrug i Danmark, sekundært en øget produktion af biogas og andre grønne gasser. Ledningsgassen vil være mindre CO<sub>2</sub>-intensiv end fx kul og olie, og kan derfor være en løsning når elektrificering ikke er det. VE-andelene i gassystemet er dog givet ved den til hver tid producerede mængde biogas, og enhver efterspørgsel på gas ud over denne mængde, vil være efterspørgsel efter naturgas, hvilket er fossilt. Derfor er det fortsat relevant at undersøge, om nuværende anvendelser af fossile kilder, herunder også ledningsgas, kan elektrificeres.

## Barrierer for fossil udfasning

Der skelnes mellem tre primære barrieretyper; teknologiske, økonomiske og videnskæssige.

Teknologiske barrierer eksisterer i de situationer, hvor teknologien til at omstille de aktuelle anvendelser af fossile brændsler endnu ikke er udviklet eller demonstreret tilstrækkeligt til det specifikke formål.

Økonomiske barrierer eksisterer i de tilfælde, hvor indfrielsen af et teknologisk potentiale er en dårlig businesscase for virksomheden. F.eks. via høje investeringsomkostninger og energipriser på brændsel, der afhænger af alternativomkostninger som kvotepriser og prisen på at levetidsforny eksisterende anlæg.

Videnskæssige barrierer eksisterer når en virksomhed ikke kender til teknologiske potentialer for omstilling eller til den konkrete indvirkning på produktion og økonomi. Disse barrierer er tæt forbundet med teknologiske og økonomiske.

# Hvad er fossiludfasning?

*Analysens primære fokus er konverteringer, der reducerer udledningen af drivhusgasser*

Grøn Industrianalyse fokuserer på reduktion af drivhusgasudledninger fra de dele af industrien, som er defineret på side 13.

Analysen har identificeret potentialer og barrierer gennem tre mekanismer:

1. Konvertering af input: Udfasning af fossile brændsler gennem konvertering af den anvendte type af energi. F.eks. konvertering fra kul til ledningsgas eller el. Som en fossiludfasning gennem konvertering undersøges både elektrificering og omstilling til gas fra gassystemet<sup>1</sup>.
2. Ændring af system: Eksisterende systemer i industrien, herunder f.eks. varmekrav til processer, kan i nogle tilfælde ændres. Dette kan reducere forbruget af fossile brændsler gennem et nedsat behov for energi, eller muliggøre en udfasning af fossil energiforbrug via konvertering.
3. Ændring af produkt: Ændringer af råvareforbruget til et færdigt produkt kan både reducere energiforbruget til fremstillingen af et produkt, og procesudledningerne forbundet med produktet.

Førsteprioritet har været at undersøge potentialer og barrierer for konvertering af input (1), som er relevant på tværs af alle analysens områder. Ændringer af system eller produkt (2 og 3), er primært relevant for fremstillingsindustrien og raffinaderier. Tiltagene har forskellige fokusområder, input, system eller produkt og kan derfor være relevante på samme tid. Fællesnævneren for alle mekanismer er dog en reduktion i udslippet af drivhusgasser. Alle metoder til at reducere drivhusgasudledninger gennem de tre mekanismer, betegnes som fossiludfasning.

<sup>1</sup>Elektrificering har potentialet til at levere de største reduktioner givet den høje andel af VE i elnettet. Det skal derfor bemærkes, at en fossiludfasning kan betyde mindre end en komplet omstilling til VE, da der findes fossile andele i både el- og ledningsgasforsyningen. Udfasningen af fossile brændsler handler dermed i særdeleshed om en reduktion af udledningerne ved energiforbruget.

# Fremstillingsindustrien

## Høj- samt lav- og mellemtemperatur

- *Udledninger og processer i fremstillingsindustrien*
- *Mulighedsrum for fossiludfasning*
- *Teknologiske, økonomiske og videnskæssige barrierer*



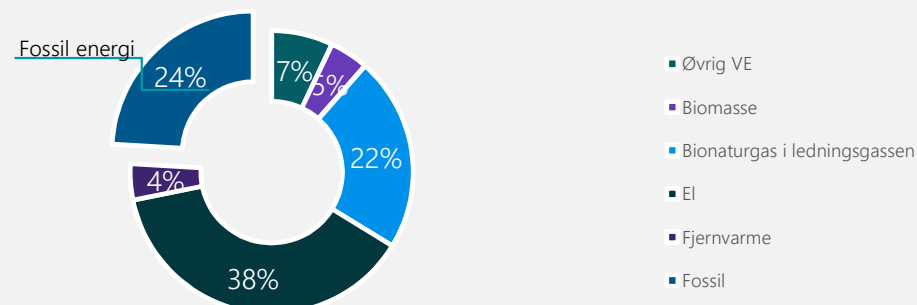
# Energiforbrug i fremstillingsindustri fordelt på energivarer og anvendelser

Figur 4 og 5 viser fordelingen af energiforbrug i fremstillingserhverv, opgjort på henholdsvis energivarer (figur 1) og anvendelser (figur 2).

Det fremgår af figur 4, at 24 pct. af den anvendte energi i fremstillingserhvervene i 2030 forventes at være fossil. 38 pct. forventes at stamme fra el, mens 22 pct. af forbruget er opgjort af den andel gas fra gassystemet, som er bionaturgas. Det er den fossile del, ca. en fjerdedel af industriens energiforbrug, der er i fokus for denne analyse.

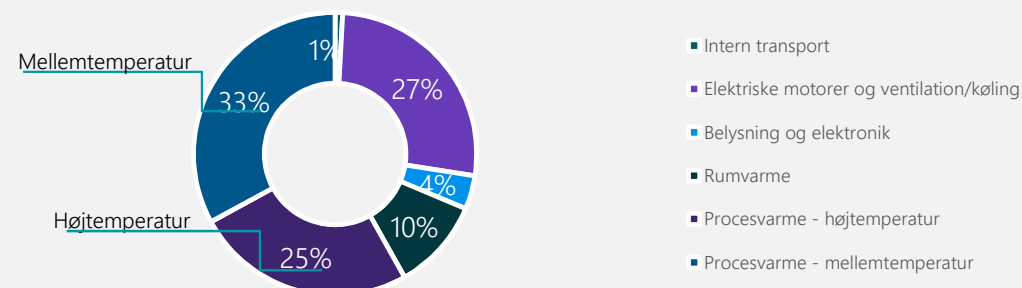
Figur 5 illustrerer, hvor energivarerne anvendes i fremstillingserhverv. De største anvendelser er procesvarme, hvoraf højtemperaturprocesser står for 25 pct. af den anvendte energi, mens lav- og mellemtemperaturprocesser aftager 33 pct. af anvendt energi.

Energiforbrug i fremstillingserhverv fordelt på fossile og øvrige energivarer (PJ) 2030



Figur 4: Fossil energi dækker over kul, koks, petroleumskoks og gas, herunder naturgas i ledningssystemet  
Kilde: KF21

Energiforbrug i fremstillingserhverv fordelt på anvendelser (PJ) 2030



Figur 5: Energiforbrug i fremstillingserhverv fordelt på anvendelser.  
Kilde: KF21

# Processer i fremstillingsindustri

## Højtemperatur udleder mere trods et lavere absolut energiforbrug

Selvom højtemperaturprocesser anvender mindre energi end mellem- og lavtemperaturprocesserne, udleder de alligevel mere CO<sub>2</sub>e, jf. figur 6.

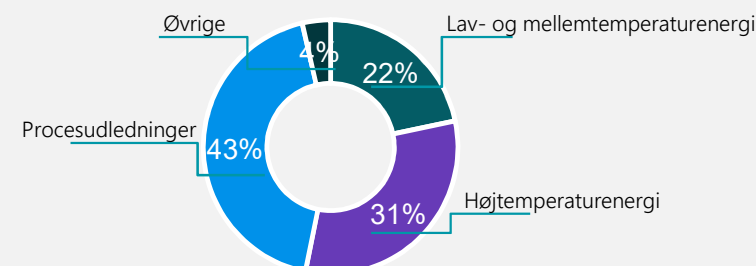
Af fremstillingsindustriens udledninger stammer 31 pct. fra højtemperaturprocesserne, mens 22 pct. er relateret til lav- og mellemtemperatur. Dertil kommer 43 pct. af udledningerne fra procesudledninger, der næsten udelukkende er relateret til højtemperaturprocesser og primært cementproduktion.

Det stemmer overens med, at andelen af fossilinput er væsentlig højere ved højtemperaturprocesser. Højtemperaturprocesserne er oftere fyret med brændsler som kul, koks, petrokoks og naturgas, end det er tilfældet for mellem- og lavtemperaturprocesserne, hvor det fossile input primært kommer fra naturgas fra gassystemet<sup>1</sup>.

Tabel 1 giver et detaljeret overblik over energiforbrug i fremstillingsindustrien. Tabellen viser energiforbruget fordelt på slutanvendelse og temperatur (se også tabel 2, næste slide).

<sup>1</sup>Kilde: Bilag 1 – baggrund for højtemperatur

Udledninger fra fremstillingsindustrien i Grøn Industrianalyse, CO<sub>2</sub>e i 2030



Figur 6: Udledninger fra fremstillingsindustrien fordelt på de segmenter, der indgår i Grøn Industrianalyse.  
Kilde: KF21 særkørsel

Slutanvendelse (Høj- eller lav- og mellemtemperaturprocesser – H / LM)	Andel af fremstillingsindustriens termiske energiforbrug (%)
Brænding/sintring (H)	5,8
Smeltning/støbning (H)	5,1
Destillation (H / LM)	6,7
Tørring (H / LM)	19,2
Anden procesvarme over 150°C (H)	4,8
Opvarmning/kogning (L)	21,6
Anden procesvarme op til 150°C (L)	2,1

Tabel 1: Andelen af det samlede energiforbrug til slutanvendelser.

Kilde: Bilag 1 - Baggrund for højtemperaturprocesser og Erhvervskortlægningen 2015

# Udledninger fra fremstillingsindustrien

Stammer både fra anvendt energi og bearbejdning af råmaterialer

Figur 7 viser de forventede udledninger fra fremstillingsindustrien i år 2030 baseret på Klimafremskrivning 2021. Udledningerne er inddelt i henholdsvis energirelaterede udledninger af CO<sub>2</sub>, metan og lattergas, og procesudledninger fra fremstillingsaktiviteten (se faktabox).

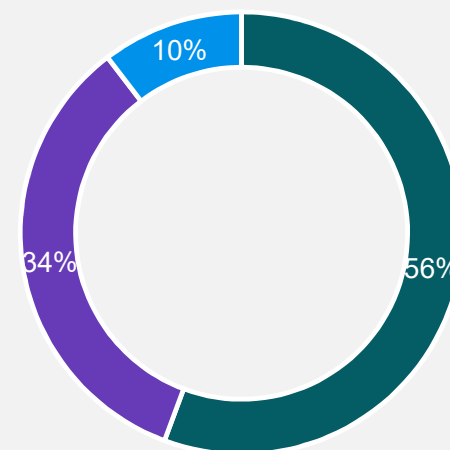
**Energirelaterede udledninger** stammer fra fossile brændsler i den anvendte energi. Som det ses af figuren, udgør dette størstedelen, 56 pct., af udledninger fra industrien. Derfor er fokus først og fremmest på de energirelaterede udledninger.

**Procesudledninger** udgør samlet set 44 pct. af de samlede udledninger. Procesudledninger stammer i særdeleshed fra produktionen af cement. Procesudledninger finder nærmest udelukkende sted i højtemperaturprocesser, og det er et meget begrænset antal virksomheder, der står for disse udledninger.

## Fakta: Procesudledninger

Procesudledninger kommer fra bearbejdningen af råmaterialer under produktionsaktiviteten. De største kilder er processer hvor kalk, ler og kridt indgår som råstof, eksempelvis ved fremstilling af cement og tegl. Cementproduktion kræver opvarmning af kalk til høje temperaturer, for at skabe den kemiske reaktion kalcinerung. Ved kalcinerung frigiver kalk CO<sub>2</sub>, uanset hvilket brændsel der benyttes til opvarmningen.

Kilde: Klimafremskrivning 2021, kap. 6



Udledninger fra fremstillingsindustrien, 2030

- Energirelaterede drivhusgasudledninger
- Procesudledninger - cementproduktion
- Procesudledninger - Øvrige erhverv

Figur 7: Udledninger fra fremstillingsindustrien fordelt på energi og procesudledninger. Kilde: Klimafremskrivning 2021.

# Højtemperaturprocesser: Behov for forskellige grønne løsninger

Slutanvendelse	Procestemperatur (°C)
<b>Brænding</b>	
- Cement	1.500
- Mursten og tegl	>1.100
- Kalk	>850
- Moler	>700
<b>Smeltning/støbning</b>	
- Glas	>1.200
- Stenuld	>1.000
- Jern og metal	>1.000
- Plastprodukter	250-300
<b>Destillation</b>	
- Tjære	300
- Olie (deodorisering)	300
- Kemi	100-300
<b>Tørring</b>	
- Mursten og tegl	800
- Bagning og stegning	200-250
- Asfalt	200-250
- Grus og moler	150-700
- Fødevarer og ingredienser/emulgatorer	200-300
<b>Anden procesvarme &gt; 150°C</b>	
- Genopvarmning metaller	800
- Hærde- og afspændingsprocesser	800
- Flambering og svideovne	800
- Luftafbrænding (lugtgener)	800
- Varmholdelse af produkter	100-300

Tabel 2: Typiske procestemperaturer for udvalgte slutanvendelser for højtemperaturprocesser. Kilde: Bilag 1 - Baggrund for højtemperaturprocesser

<sup>1</sup>Kilde: Bilag 1 - Baggrund for højtemperaturprocesser

Tabel 2 lister typiske højtemperaturprocesser i fremstillingsindustrien, og de maksimalt ønskede temperaturer, der benyttes i processerne.

Der er tale om et stort spænd i temperaturkrav til slutanvendelser, hvilket er en vigtig dimension for omstillingen. De højeste temperaturer anvendes under fremstilling af blandt andet cement, glas, mursten og tegl, mens højtemperaturprocesser i den lavere ende af spektret er relateret til eksempelvis fødevarer og kemi.

Ud over temperaturerne varierer processerne ved måden, varmen leveres på. Nogle af processerne er i dag drevet ved direkte fyring, f.eks. med flammer inde i selve ovnen. I andre processer overføres varmen vha. af et medie, som oftest er damp eller evt. vand. I en omstilling er det derfor vigtigt ikke kun at se på temperaturkravene, men også at se på metoden til processen, da ikke alle processer kan omstilles med samme teknologi. Eksempelvis kan en induktionsovn benyttes til jernsmeltning, men ikke til tørring af tegl, da ler ikke er et magnetisk materiale.

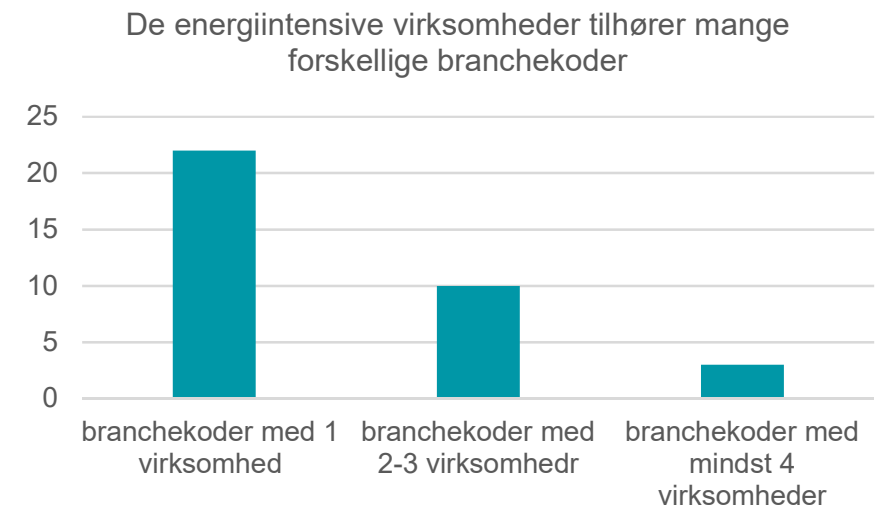
Slutanvendelserne har dermed både forskellige krav til temperatur, og hvordan varmen leveres. Begge dele er vigtige parametre for hvilken omstillingsteknologi, der rent teknisk kan anvendes. Inden for omstillingsteknologierne er der store variationer i hvor høje temperaturer, det aktuelt er muligt at opnå<sup>1</sup>.

## Højtemperaturprocesser: Få virksomheder i samme branche

Figur 8 illustrerer, at der er tale om en heterogen gruppe af virksomheder, der har højtemperaturprocesser.

I Grøn Industrianalyse tages der udgangspunkt i de kvoteomfattede virksomheders branchekode. Indenfor langt de fleste branchekoder er der kun én enkelt virksomhed. Kun ganske få brancher har mere end fire virksomheder, der er kvoteomfattede.

På baggrund af de oplysninger, der er indsamlet i forbindelse med Grøn Industrianalyse, er det vanskeligt at generalisere på tværs af virksomheder, da hver enkelt virksomheds situation ofte er unik i forhold til både potentialer og barrierer.



Figur 8: Virksomheder med højtemperaturprocesser fordelt på NACE-koder.

Kilde: Registeret for kvoteomfattede virksomheder i Danmark. Grafen er baseret på information om de kvoteomfattede virksomheder, der var målgruppe for spørgeskemaundersøgelsen, se Bilag 3.

# Teknologier for elektrificering

*Elektrificeringsteknologier findes i forskellige udviklingsstadier*

Elektrificeringsløsninger er under hastig udvikling. I øverste boks til højre listes fem kendte måder at elektrificere industrielle processer. I praksis findes der mange flere. I følgende foretages en overordnet indflyvning i elektrificeringsmuligheder, jf . Energistyrelsens teknologikatalog for elektrificering af industrielle processer

Varmepumper har begrænset anvendelsespotentiale<sup>1</sup>, men de er energieffektive. I samspil med f.eks. dampkompression kan de nogle steder gøres anvendelige for enkelte processer op til ca. 200 °C. Varmepumper er særligt attraktive på grund af deres høje energiudnyttelse ved lavere temperaturer, hvilket resulterer i lavere driftsomkostninger end fx elkedler og direkte elektrificering.

For hovedparten af processerne i højtemperaturområdet vil der være behov for andre løsninger end varmpumper, fx elkedler og processpecifik elektrificering. En stor del af tørrings- og destillationsprocesserne samt varmholdelse kan elektrificeres ved brug af en elkedel til at generere damp. Processpecifik elektrificering er set i anvendelse ved meget høje temperaturer, men den konkrete anvendelsesmulighed afhænger af kravene til varmeleverance for den enkelte proces.

Elkedler og lavtemperaturvarmpumper er markedsmodne teknologier. Øvrige elektrificeringsløsninger er som hovedregel forbundet med større investeringsomkostninger end de bedre kendte og mere markedsmodne fossile teknologier. På baggrund af kendte processtyper og tilgængelig teknologi, kan der optegnes tre generaliserede mulighedsrum for omstillingen, som uddybes i det følgende.

Elektrificering er overordnet set muligt ad fem veje:

1. Varmepumper
2. Dampkompression
3. Elkedler
4. Processpecifik elektrificering
5. Kombinationer af ovenstående

*Kilde: Bilag 1 - Baggrund for højtemperaturprocesser*

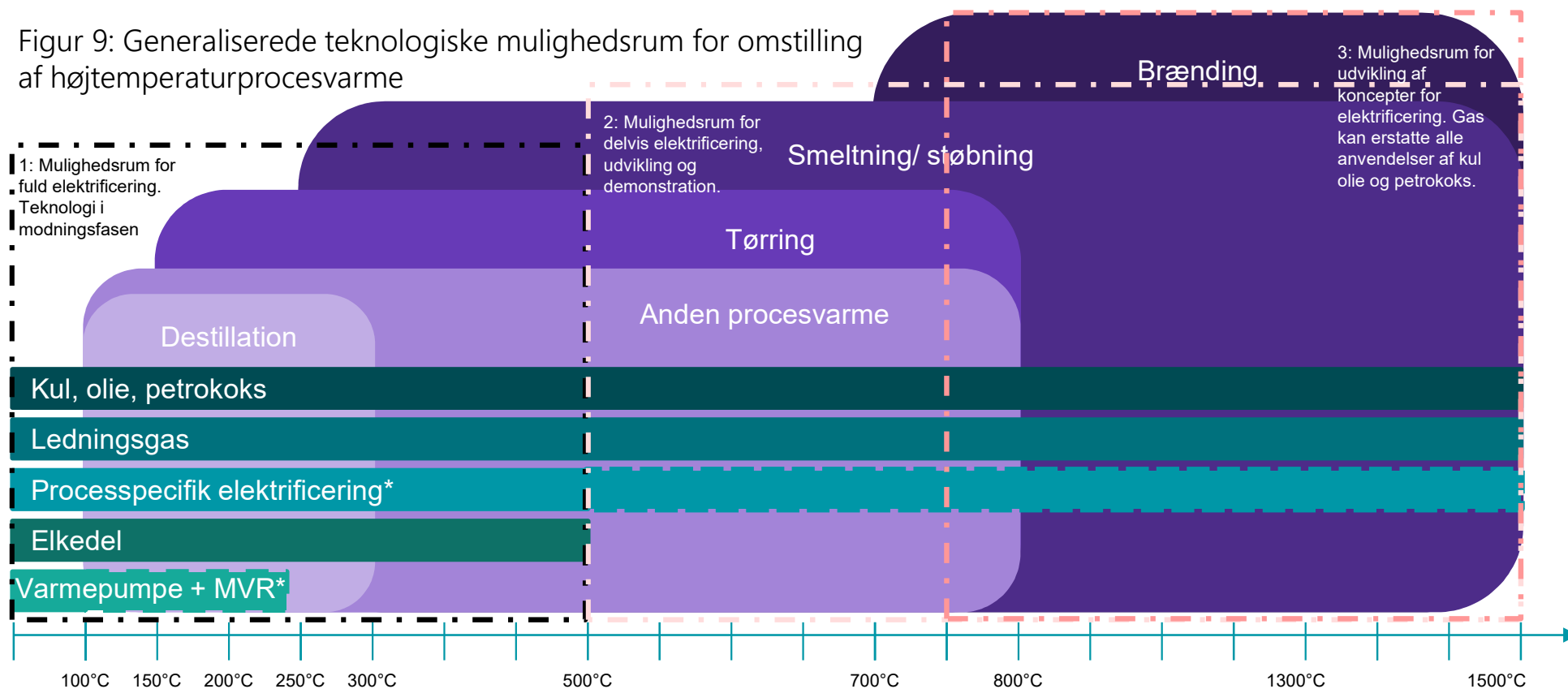
## Definition: Markedsmoden teknologi

En teknologi er markedsmoden, når den kan købes til konkurrencedygtige priser og på samme vilkår som anden teknologi. Med vilkår menes f.eks. driftsgarantier og muligheder for forsikring.

<sup>1</sup>Se også Energistyrelsens teknologikatalog for industrielle processer for en uddybning af teknologiernes anvendelsesområde.

# Tre teknologiske mulighedsrum for konvertering i fremstillingsindustrien

Figur 9: Generaliserede teknologiske mulighedsrum for omstilling af højtemperaturprocesvarme



Note: Mulighedsrummet for omstilling af højtemperaturprocesvarme. Afrundede bokse angiver temperaturspændet for typiske slutanvendelser af højtemperaturprocesenergi baseret på Tabel 2. Rektangler indikerer forskellige teknologier til at forsyne processerne med varme. Stiplede bokse angiver tre overordnede mulighedsrum for en elektrificering, baseret på hvordan den aktuelle teknologi matcher varmekravene.

Mulighedsrummet er generaliseret, og temperaturskellene bør tolkes med forsigtighed.

\*Stiplede linjer for processpecifik elektrificering og varmpumpe + MVR indikerer at teknologiens anvendelighed er stærkt afhængigt af den specifikke proces. Der er stadig langt fra skalerbare og markedsmodne løsninger.

MVR er dampkompression (Mechanical Vapor Recompression), der løfter tryk og temperatur på damp.

Kilde: Grøn Industrianalyse. Baseret på indsigter fra Viegand & Maaagøe samt COWIs analyser præsenteret i bilag 1, 2 og 6. Se også Energistyrelsens teknologikatalog for industrielle processer for en uddybning af teknologiernes anslåede anvendelsesområde.

# Mulighedsrum for konvertering

## *De teknologiske potentialer og barrierer for fossiludfasning gennem konvertering af input*

På baggrund af figur 9 på forrige slide kan der udledes tre pointer:

1. Det er teknologisk muligt at konvertere alle energirelaterede udledninger fra fremstillingsindustri væk fra fossile brændsler.
2. Ledningsgas kan erstatte de nuværende anvendelser af mere CO<sub>2</sub>-udledende fossile brændsler som kul, olie og petrokoks.
3. Mulighederne for elektrificering af højtemperaturprocesserne er processpecifikke, og størst for de lavere temperaturer.

Dele af fremstillingsindustriens energibehov kan teknologisk set elektrificeres, mens hele behovet kan leveres med gas fra gassystemet. Forudsat tilstrækkelige mængder biogas i systemet, vil en komplet grøn omstilling derfor være mulig. Det er dog en barriere, at de fossile andele i systemet stiger med efterspørgslen efter gas, og at gassystemet endnu ikke er fuldt udbygget. Det er derfor samfundsmæssigt hensigtsmæssigt at omstille de dele af fremstillingsindustrien, der kan, til elektricitet, så den grønne gas kan benyttes hvor elektrificering p.t. ikke er en mulighed.

Figur 9 viser tre generaliserede mulighedsrum for elektrificering af fremstillingsindustrien. Der forventes i praksis at være et overlap mellem de tre mulighedsrum, som er vanskeligt at udrede. Overlappet skyldes, at en omstilling af processerne ud over temperaturen afhænger af behov for direkte fyring i processen, samt at teknologien til de konkrete slutanvendelser kan være på forskellige udviklingsstadier. Mulighedsrummene er simplificerede, og illustrerer kun den dimension af omstillingen, der handler om temperatur.

Selvom en teknologi kan levere høje temperaturer til én fremstilling i én type proces, er det ikke ensbetydende med, at samme temperaturer kan leveres på en måde, så varmestrømmen kan benyttes i en anden. Eksempelvis er det muligt at foretage en delvis elektrificering af smeltning af glas (ca. 1200 °C) ved brug af elektroder. Elektroder kan dog ikke elektrificere tørring af mursten på trods af et lavere temperaturkrav (ca. 800 °C). Her undersøges i stedet løsninger baseret på mikrobølger, hvilket endnu ikke er en teknologi, der ses i anvendelse til produktion<sup>1</sup>.

I det følgende beskrives de teknologiske potentialer og tilhørende teknologiske barrierer for omstillingen af fremstillingsindustrien. Først gennemgås mulighederne ved at omstille til ledningsgas, hvorefter de tre mulighedsrum for elektrificering udfoldes. Dernæst præsenteres øvrige identificerede barrierer, og deres samspil med de teknologiske muligheder.

<sup>1</sup>Kilde: Bilag 1 - Baggrund for højtemperaturprocesser.



# Ledningsgas: Teknologisk set ubegrænset potentiale for omstilling

*Ledningsgas kan erstatte aktuelle anvendelser af mere CO<sub>2</sub>-udledende brændsler som kul, olie og petrokoks.*

Store dele af fremstillingsindustrien er allerede drevet med ledningsgas som brændsel. Kortlægningen af nuværende anvendelser og nye teknologier viser, at de processer, der i dag drives med kul, olie og petrokoks, kan omstilles til ledningsgas<sup>1</sup>. Med tilstrækkelige mængder biogas i systemet, ville hele industrien dermed kunne omstilles med tilgængelig teknologi.

Virksomhedernes mulighed for en omstilling til gas afhænger især af to faktorer:

1. Virksomhedens geografiske placering
2. Virksomhedens nuværende anlæg

Den geografiske placering påvirker virksomhedens mulighed for at blive tilsluttet gassystemet, og dermed for en omstilling til ledningsgas. Aktuelt udbygges gassystemet i flere dele af Danmark, herunder til områder med energiintensiv fremstillingsindustri som Lolland-Falster og Nordjylland. Dermed får disse dele af industrien mulighed for at omstille sig til den mindre udledende ledningsgas. En kommende gasstrategi angiver scenarier for den fremtidige efterspørgsel efter ledningsgas, og påkrævede tilpasninger af gassystemet for at efterkomme den geografiske forskydning der kan være mellem udbud og efterspørgsel af grøn gas.

Det varierer, om virksomheden skal udskifte enkelte brændere eller hele anlæg for at konvertere til ledningsgas. Generelt er konvertering til ledningsgas væsentligt mindre indgribende end elektrificering.

Knap 20 danske virksomheder står for den største del af forbruget af kul, olie og petrokoks. Disse virksomheder udleder tilsammen ca. 1,3 mio. tons CO<sub>2</sub> om året. Deres forbrug udgør dermed 42 pct. af fremstillingsindustriens samlede udledninger.

En del af disse virksomheder anvender samtidig ledningsgas i mindre grad. Konvertering til gas er dermed til rådighed for disse virksomheder. Andre er i gang med tilkoblingen til gassystemet, mens enkelte ikke har udsigt til opkobling endnu.

<sup>1</sup>Kilde: Bilag 1 – Baggrund for højtemperaturprocesser

# Mulighedsrum 1: Fuld elektrificering er i modningsfasen

*Lav- og mellemtemperaturprocesser samt højtemperatur op til ca. 500 °C kan teknologisk set elektrificeres*

Typiske lav- og mellemtemperaturprocesser som opvarmning, kogning og tørring er isoleret set mulige at elektrificere. Visse steder vil varmepumpeteknologi kunne håndtere varmekravet, og andre steder er kombination med dampkompression og elkedler nødvendig<sup>1</sup>.

Dog kan lav- og mellemtemperaturprocesser være integreret med mange andre anvendelser, der kan foregå ved højere temperaturer. Processen med højeste varmekrav er oftest udslagsgivende for hele varmeforsyningen i nuværende installationer. Derfor skal omstillingen af de lavere temperaturer ses i sammenhæng med de højere. Dette kan komplicere en omstilling af lav- og mellemtemperaturprocesserne, og gør det svært at generalisere én løsningsmulighed til processerne i praksis.

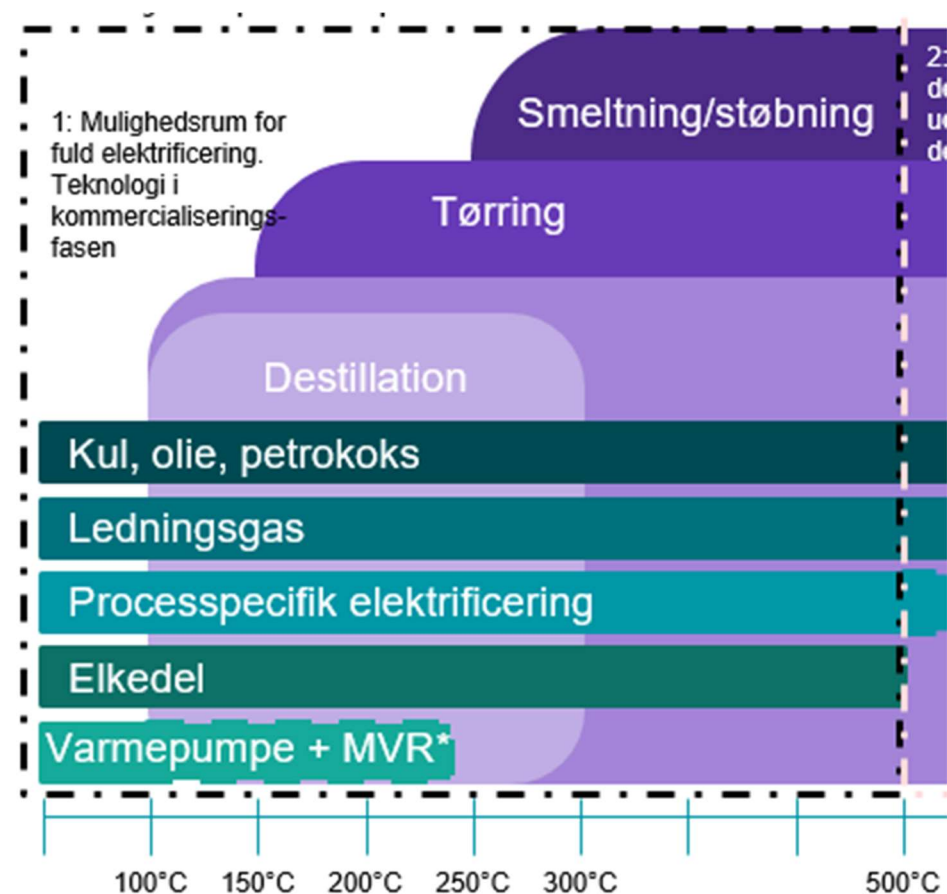
Løsningsmulighederne skal undersøges med de virksamheder, de skal bruges hos.

For højtemperaturprocesser fra ca. 150 °C til 500 °C er der ligeledes et teknologisk mulighedsrum for elektrificering, hvilket dækker over at eksisterende teknologier enten er set i brug, eller det teknologisk vurderes som muligt at levere denne varme med fx elkedler<sup>2</sup>. Modsat lav- og mellemtemperatursegmentet er varmepumper sjældent en mulighed i dette felt, hvorfor en stor del af elektrificeringen i stedet kan dækkes af elkedler.

Mens elkedler er afprøvet og kendt teknologi, er varmepumper under hastig udvikling. Særligt til højere temperaturspænd er varmepumper relativt ny teknologi (stiplede linjer i figur 10).

<sup>1</sup> For en mere detaljeret gennemgang af teknologiske potentialer henvises til Energistyrelsens Procesteknologikatalog, hvor potentialet for brugen af varmepumper, elkedler og dampkompression, beskrives. Kataloget kan hentes på [www.ens.dk](http://www.ens.dk)

<sup>2</sup> Vurderet af Viegand og Maagøe. Kilde: Bilag 1: Baggrund for højtemperaturprocesser



Figur 10: Mulighedsrum 1. Skærmbillede fra figur 9, hvoraf forklarende note fremgår.

## Mulighedsrum 2: Delvis elektrificering med processpecifikke løsninger

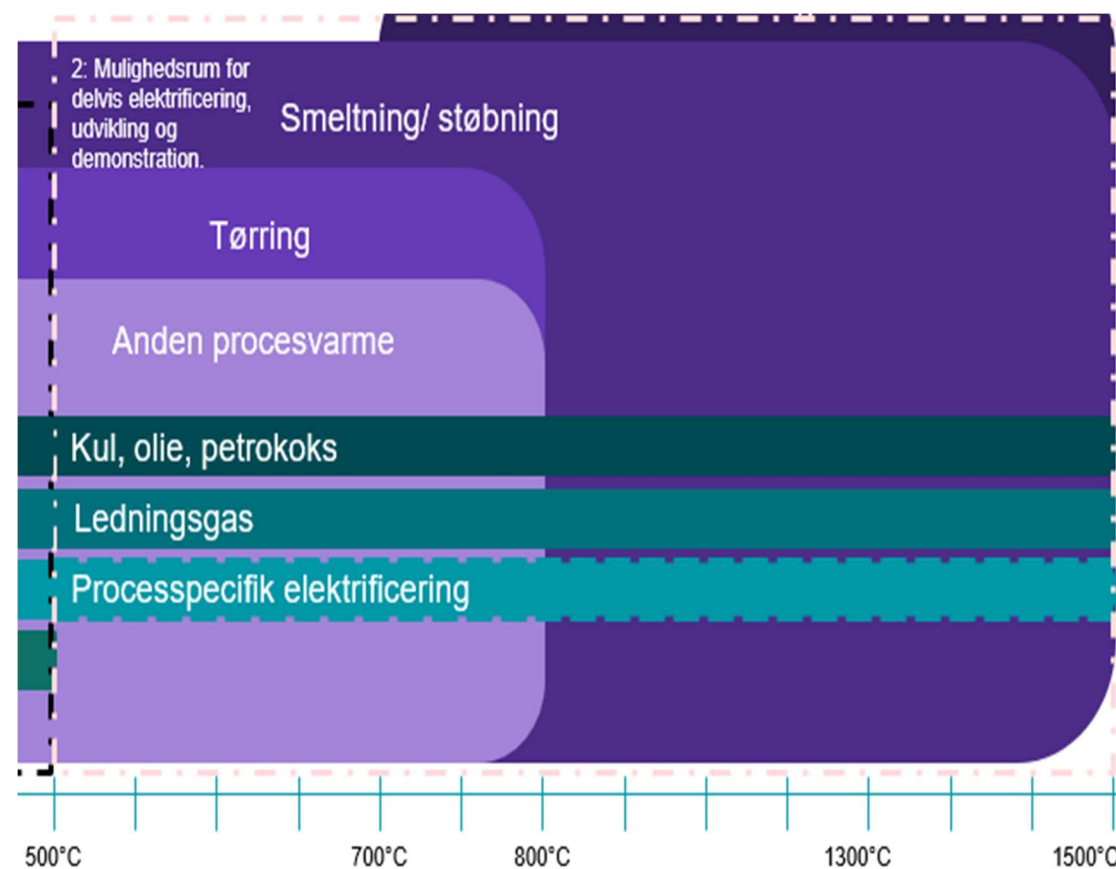
*Anvendelig teknologi er stadigvæk under afprøvning*

Mulighedsrum 2 dækker processer i temperaturspænd, for hvilke der endnu ikke er skalerbare elektrificeringsløsninger, der kan erstatte fossile brændsler med el – enten helt eller delvist.

Identificerede løsninger i dette område giver ofte kun mulighed for delvis elektrificering, som f.eks. delvis elektrificering af glassmelting eller tørring i forbindelse med asfalt mv. Andre løsninger giver mulighed for fuld elektrificering, men er omvendt processpecifikke. Eksempelvis kan smeltning af mineraluld ved op til 1500 °C elektrificeres i en el-ovn, men denne løsning kan ikke umiddelbart skaleres til andre processer.

For enkelte processer i dette spænd vil der være muligheder for procesomlægninger, der sænker den anvendte temperatur. Det kan i nogle tilfælde gøre mere markedsmoden teknologi anvendeligt, men indebærer risiko for produktionsstop og utilsigtet indvirkning på produktet<sup>2</sup>.

Hvorvidt og i hvilken udstrækning elektrificeringsløsninger kan anvendes på processerne er således en konkret vurdering fra proces til proces. Det kræver virksomhedsnære og tekniske projektbeskrivelser at fastslå reduktionspotentialer gennem elektrificering.



Figur 11: Mulighedsrum 2. Skærmbillede fra figur 9, hvoraf forklarende note fremgår.

<sup>1</sup> Kilde: Bilag 1 – baggrund for højtemperatur og Bilag 6 - Cases – beregninger og udfasningsmuligheder

<sup>2</sup> Se også slide 51 for uddybning af denne pointe

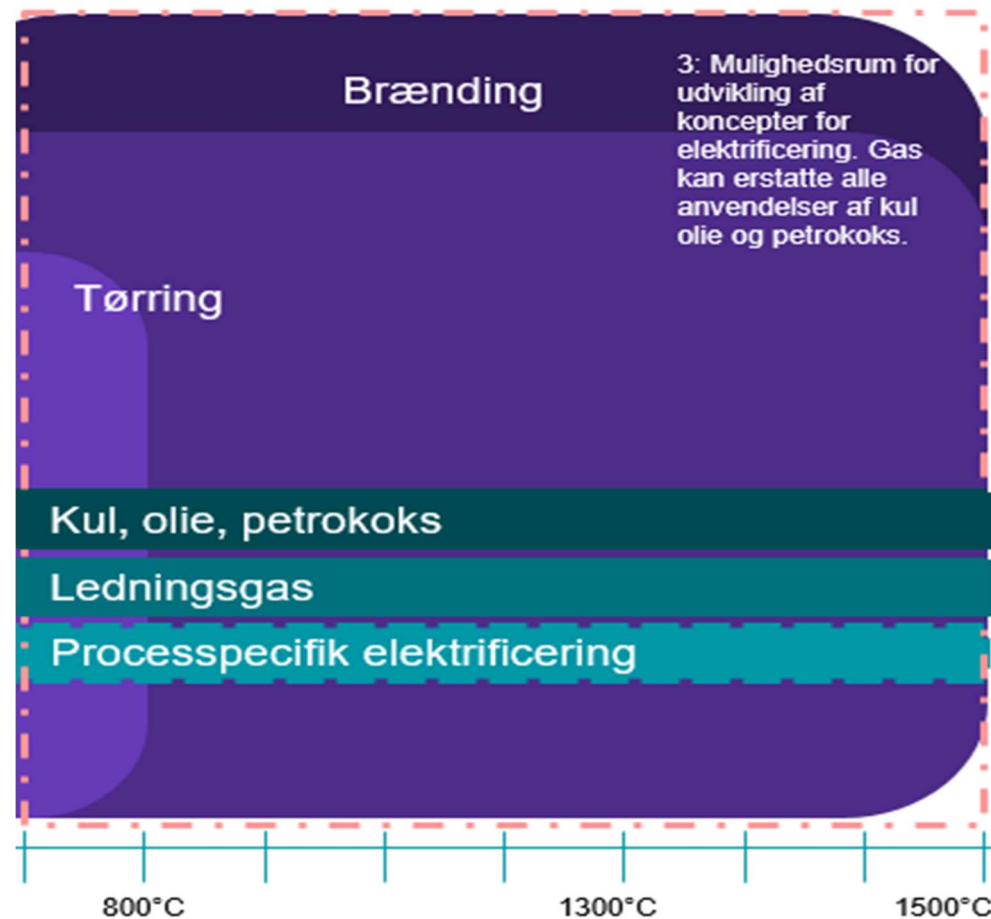
## Mulighedsrum 3: Begrænset elektrificeringspotentiale

*Udviklings- og demonstrationsprojekter kræves, hvis denne del skal kunne elektrificeres*

Elektrificeringsløsninger til brug for processer indenfor særligt brænding og tørring er begrænsede og kræver teknologiudvikling. Eksempler på produktion med teknologiske barrierer er brænding af cement (1500 °C) samt tørring af tegl (800 °C).

Problemstillingen afspejler især, at flere af disse processer i dag er direkte fyrede, hvilket forudsætter en flamme<sup>1</sup>. Begrænsningen i kendt teknologi skyldes samtidige krav til temperatur og varmeoverførsel, der betyder, at en høj temperatur i sig selv ikke er nok. For nogle processer skal varmen også kunne kontrolleres og leveres på en egnet måde<sup>2</sup>. Derfor må der enten udvikles helt ny teknologi specifikt til disse processer, eller videreudvikles på eksisterende koncepter.

Inden for fremstilling af cement er man endnu langt fra at finde et fungerende elektrisk alternativ til brændsler som kul og koks. For tørring af tegl findes endnu ikke skalerbare elektrificeringsløsninger, men der udvikles koncepter i dialog med industrien, og med EUDP-tilskud<sup>3</sup>.



Figur 12: Mulighedsrum 3. Skærmbillede fra figur 9, hvoraf forklarende note fremgår

<sup>1</sup> Også enkelte processer inden for smeltning er direkte fyrede i dag, men her ses lovende udvikling for direkte brug af el. fx til glassmeltning jf. slide 27.

<sup>2</sup> Fx kan sten smeltes til mineraluld ved temperaturer omkring 1500 °C, her er det vigtige ikke en nøjagtig temperatur, men tilstrækkelig varme til smeltning. Dette kan ikke oversættes til cementproduktion, der kræver en forholdsvis kontrolleret kemisk proces. Der er ikke set elektrificerede alternativer til dette endnu.

<sup>3</sup> Kilde: Bilag 1 – baggrund for højtemperatur. Eneste identificerede forsøg på elektrificering af cement er med plasmaovne i Sverige, men Viegand Maagøe vurderer at dette har meget lange udsigter, og desuden er plasma meget dyrt.

# Produktudvikling reducerer udledninger

*Fossiludfasning gennem ændring af produkter er primært relevant for højtemperaturprocesser*

Produktudvikling er en anden tilgang til reduktion af drivhusgasudledninger. Produktudviklinger kan reducere udledninger på særligt to måder:

1. Reducere procesudledninger fra produktionen
2. Reducere varme- eller energibehovet under produktionen

Procesudledninger udgør en stor andel af udledningerne fra fremstillingsindustrien. De stammer særligt fra cement, og i mindre grad fra bl.a. tegl og kalkproduktion. Flere virksomheder i disse brancher arbejder med muligheder for at reducere procesudledningerne gennem ændringer i råvaresammensætningen. Muligheden for cementproduktion beskrives i boksen til højre. Udledninger fra teglproduktion kan aktuelt reduceres gennem tilsætning af ler eller brug af nye lertyper med lavt kalkindhold. Effekterne er dog små for nuværende<sup>1</sup>.

Reduktion af varmebehov under produktion ses bl.a. under fremstilling af asfalt, hvor de energirelaterede udledninger kan reduceres med op til 30% under produktion af mindre varmekrævende produkter ved at sænke temperaturen 10-30°C. Lignende tiltag pågår for teglproduktion<sup>1</sup>.

Produktudvikling vil dog føre til en ændring af produktet, der skal markedsføres som nyt. Mens nye, grønnere produkter på den ene side er en mulighed for virksomheden, når det gælder markedsføring, er produkterne ofte dyrere, og kvaliteten kan adskille sig fra standarden.

<sup>1</sup>Kilde: Bilag 1 – Baggrund for højtemperaturprocesser

**Produktudvikling af nye cementtyper kan sænke procesudledninger, men har et begrænset anvendelsesområde**

Cementproduktion er den suverænt største kilde til procesudledninger fra dansk fremstillingsindustri, og forventes at udgøre godt 1 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030.

Procesudledningerne stammer især fra opvarmning af kalk, der gennem kalcinering udleder CO<sub>2</sub>. Kalcinering er afgørende for kvaliteten og bæreevnen af cement og beton.

For de alternative cementprodukter kan procesudledningerne reduceres i størrelsesordenen 50-70 pct. Det er dog ikke muligt at reducere procesudledningerne fra alle typer cement, og det kræver derfor en efterspørgsel efter disse mere grønne produkter.

Kilde: Bilag 1- Baggrund for højtemperaturprocesser, Klimafremskrivning 2021, samt Bilag 6 – Cases – beregninger og udfasningsmuligheder, case 1.

# Barriererne for grøn omstilling af fremstillingsindustrien

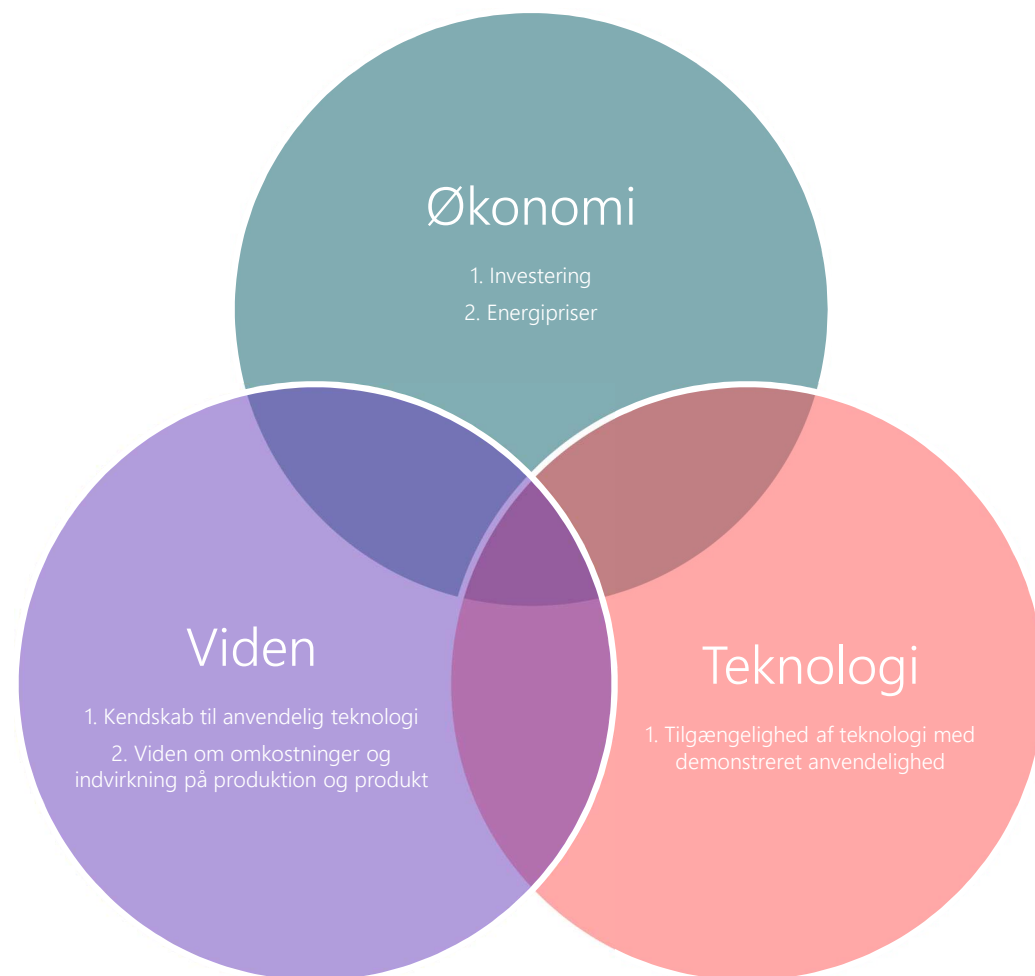
## Tre overordnede typer barrierer

Grøn Industrianalyse viser, at barriererne for omstillingen af fremstillingsindustrien hovedsageligt er af økonomisk og teknologisk karakter, om end viden om virksomhedernes faktiske muligheder for omstilling også spiller en væsentlig rolle.

Figur 13 til højre er et kondensat af de identificerede barrierer, som Grøn Industrianalyse finder på baggrund af Viegand Maagøes vurderinger, og inddragelse af virksomhederne i forbindelse med spørgeskemaundersøgelse samt COWIs udarbejdelse af cases.

Barriererne er tæt forbundne, og til tider overlappende. For eksempel blandt virksomheder, hvor den praktiske anvendelse af ny teknologi ikke er fuldt ud demonstreret, hvorfor der kan være ukendte konsekvenser for produktionen og deraf muligheden for at afsætte produktet<sup>1</sup>. Alle tre typer af barrierer bør derfor holdes i mente, når tiltag skal planlægges. For bedre indblik i de enkelte barrierers mekanismer, præsenteres de enkeltvis i det følgende.

Teknologiske barrierer er uddybet i forbindelse med mulighedsrummene for omstilling i foregående slides. I de følgende præsenteres først vidensbarrierer og økonomiske barrierer.



Figur 13: Identificerede barrierer for omstilling af fremstillingsindustrien. Kilde: Grøn Industrianalyse

<sup>1</sup> For et eksempel se slide 51 og Bilag 6 – Cases – beregninger og udfasningsmuligheder, case 6 om Haldor Topsøe

# Virksomhedernes incitament til grøn omstilling er overvejende økonomisk

*Nuværende priser på energi og investeringsstrukturer, gør en fortsættelse med fossil energi mest attraktiv*

Interviews blandt virksomheder i fremstillingsindustrien viser, at flere virksomheder indenfor de seneste år er kommet til den erkendelse, at deres evne og villighed til at omstille deres virksomhed til en grønnere praksis sandsynligvis bliver udslagsgivende for deres evne til at konkurrere – eller ligefrem deres eksistensgrundlag – inden for de kommende år<sup>1</sup>.

Udtalelserne fra fremstillingsvirksomheder i boksen til højre illustrerer en vished blandt virksomhederne om, at CO<sub>2</sub>-udledninger fra industrien skal begrænses. Citaterne tydeliggør samtidig, at virksomhedernes tilgang til den grønne omstilling er funderet på økonomiske og forretningsmæssige motiver.

Potentialerne og barriererne for omstillingen skal ses i det lys. Omstillingen kan ikke forventes at finde sted, hvis ikke virksomhederne kan se en økonomisk fordel eller nødvendighed i den. Fordelene ved en omstilling skal opveje alternativomkostningerne.

Interviewundersøgelsen har afdækket virksomhedernes opfattede incitamenter for en grøn omstilling:

- Energibesparelser
- Lavere afgiftsbetalinger og udgifter til kvoter
- Effektivisering og produktforbedringer
- Efterspørgsel efter grønnere produkter
- Forbedring af virksomhedens image

Kilde: Bilag 1 – Baggrund for højtemperaturprocesser

Virksomhederne ser en fremtidig nødvendighed af omstilling:

*"[Grøn omstilling] er med til at gøre, vi kan blive ved med at være konkurrencedygtige i fremtiden."*

*"Vi vil selvfølgelig rigtig gerne ned i energiforbrug, da udgifter til brændstof er rigtig dyre. Men derudover mærker vi også et øget pres for vores kunder, som gerne vil have bæredygtige produkter. "*

*" Det er kun et spørgsmål om tid, før det lukkes ned for, hvis ikke vi gør noget."*

Kilde: Bilag 1 – Baggrund for højtemperaturprocesser

<sup>1</sup>Kilde: Bilag 1 – Baggrund for højtemperaturprocesser

# Vidensbarrierer

*Teknologien er ny, og det er vanskeligt at overskue muligheder og konsekvenser ved en omstilling*

I spørgeskemaundersøgelsen findes både eksempler på virksomheder, der øjensynligt ikke kender muligheder for elektrificering af deres processer, og virksomheder, der er i gang med at undersøge dem.

Mangel på viden eksemplificeres i første citat i boksen, som stammer fra en virksomhed med højtemperaturprocesser ved 175 °C. Virksomheden er af den opfattelse, at teknologien til en elektrificering af processerne ikke findes, på trods af at den anvendte temperatur er inden for spændet af teknologisk mulig elektrificering<sup>1</sup>.

Opfattelsen kan umiddelbart have to årsager:

1. Virksomheden har ikke viden om mulige elektrificeringsløsninger.
2. Virksomheden har overblik over løsninger, men anser ikke teknologien for tilgængelig, fordi den indebærer andre usikkerheder – fx ikke vurderes økonomisk rentabel, eller påvirkning på produktion er ukendt (se også andet citat i boksen, ser illustrerer vidensbarrierer om indvirkningen af ny teknologi på produktionen).

Begge årsager kan betyde, at virksomheder venter på mere økonomisk tilgængelige og afprøvede teknologier. Dog kan der opstå en first-mover problematik, hvor virksomheder har incitament til at vente til, at andre har afprøvet ny teknologi<sup>1</sup>.

Lige nu skal virksomheder selv investere i at få lettet vidensbarrierer, gennem fx en teknologisk gennemgang af reduktionsmuligheder. Dette har usikre gevinster, men kan være afgørende for omstillingen af den enkelte virksomheds energiforbrug.

## Virksomhederne siger:

*"der findes ikke teknologi til elektrificering af vores tørreproces"*

*"Svært at finde kommercielt tilgængelige teknologier, der muliggør udfasning af naturgas. Eksisterende produktionsprocesser er optimeret gennem mange år og der er risici ved omlægning af produktionsprocesser. Ved udskift af spraytørrer blev spinflashtørrer og fluid bed testet. De var energiøkonomisk bedre. Men produktet kunne ikke bruges! Vi valgte så at forsætte med spraytørring."*

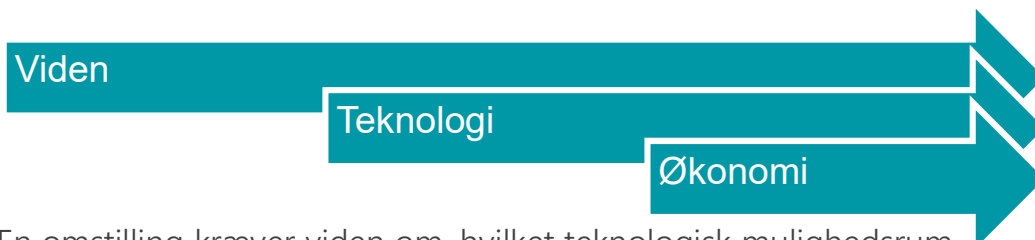
Kilde: Bilag 3 – Beskrivelse af spørgeskemaundersøgelse

<sup>1</sup> Kilde: Bilag 1 – Baggrund for højtemperatur. Jf. også figur 9, og uddybning på slide 26.



# Viden er en nødvendig men ikke tilstrækkelig betingelse for en omstilling

*Mulighederne for en omstilling skal identificeres før øvrige barrierer kan opdages og overkommes*



En omstilling kræver viden om, hvilket teknologisk mulighedsrum, virksomheden befinder sig i. Dette indebærer viden om:

1. Muligheden for at processer kan foregå ved lavere temperaturer
2. Kompatibel teknologi til virksomhedens processer, herunder opdateret viden om teknologisk modenhed
3. Mulig produktudvikling og markedet for grønne produkter

At opnå denne viden kræver enten erfaringsudveksling, fx i et virksomhedsnetværk eller via kompetent rådgivning. Samtidig fordrer det en risikovillighed fra virksomhedernes side. Imidlertid viser interviews med virksomheder og rådgivere et broget billede af virksomhedernes risikovillighed. Det illustreres i citatboksen. Det er forbundet med omkostninger og risici for virksomhederne at gøre sig erfaringer med ny teknologi, og derfor er der klar interaktion med økonomiske barrierer.

Citaterne i boksen fra virksomhedsrådgivere illustrerer, at mange virksomheder står overfor usikkerheder grundet manglende erfaring med ny teknologi.

Virksomhedsrådgivere påpeger en risikoovers industri:

*"Man skal ikke glemme, der er en vis risiko forbundet med at investere i de her maskiner – hvad hvis de ikke performer som forventet? Det er så nyt det hele, så man har ikke 20 års driftsdata, man kan læne sig op ad."*

*"Man prøver jo helt klart at finde løsninger, som kan passe ind i ens eksisterende fabrik. Og det er ikke altid nemt."*

Kilde: Bilag 1 – Baggrund for højtemperaturprocesser

Virksomhederne selv fremhæver de økonomiske barrierer, der opdages efter videnskæssige og teknologiske er overkommet:

*"[Virksomhedsnavn] har udarbejdet et projekt ved undersøgelsen. Elektrificering af fødevarerindustrien. Et projekt der er arbejdet med siden 2015, men falder desværre på investeringens størrelse og risikoen."*

*"udfasning af de fossile brændstoffer vurderes primært at medføre barrierer af økonomisk karakter i form af store anlægsinvesteringer."*

Kilde: Bilag 3 – Beskrivelse af spørgeskemaundersøgelse

# Økonomiske barrierer for elektrificering

*Investeringer i elektrificering opleves sjældent som attraktivt på markedsvilkår*

Som hovedregel vil det være væsentligt dyrere for højtemperaturvirksomheder at elektrificere end at benytte fossile brændsler eller omstille til gas. De økonomiske barrierer i investering og driftsomkostninger varierer dog efter de konkrete processer, der skal elektrificeres:

## Mulighedsrum 1 (procestemperaturer <500 C):

Varmepumper har meget høje investeringsomkostninger, men indebærer energieffektiviseringer. Derfor lettes businesscasen, hvis denne teknologi er anvendelig, og virksomheden har tilstrækkelig likviditet eller puljestøtte til investeringen. Elkedler har en mere konkurrencedygtig investeringspris, men dårligere udnyttelse af energien end varmpumper.

## Mulighedsrum 2 og 3 (procestemperaturer >500 C):

Elektrificering vil kræve processpecifikke installationer med høje investeringsomkostninger. Fuld elektrificering kræver ofte total ombygning og nye anlæg. Spørgeskemaundersøgelsen blandt højtemperaturvirksomhederne viser, at det varierer betragteligt hvor lange restlevetider, de eksisterende anlæg har.

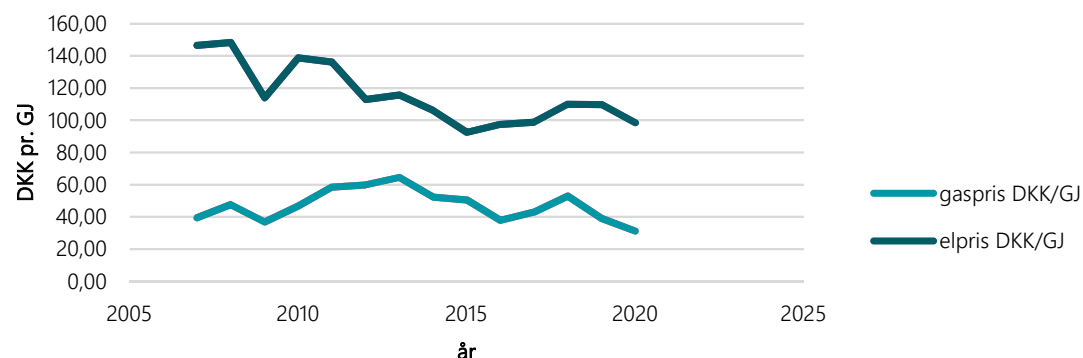
Figur 14 viser at elprisen over de sidste 10 år har været minimum dobbelt så høj som gasprisen. Dermed vil driftsøkonomien i elektrificering være kraftigt udfordret, hvis ikke energiforbruget samtidig kan reduceres væsentligt, fx ved anvendelse af varmpumper.

Virksomhederne fremhæver især tre økonomiske barrierer for elektrificering:

1. Ny el-teknologi indebærer store merinvesteringer
2. Høje elpriser sammenlignet med fossile brændsler
3. Bundne investeringer i fossile anlæg med potentielt lang restlevetid

Barriererne betyder at virksomhedernes typisk stramme krav for tilbagebetalingstider ikke kan opfyldes. Oven i dette kommer længere produktionsstop under omlægning. Yderligere nævnes usikkerhed om udvikling i alternativomkostninger, bl.a. kvotepriser, og omkostninger til opgradering af det lokale elnet.

*Kilde: Bilag 1 – Baggrund for højtemperatur*



Figur 14: Energipriser på el og gas for industrivirksomheder med et stort forbrug, dvs mellem 1.000.000 GJ < 4.000.000 GJ årligt. Priser ekskl skatter og afgifter.

*Kilde: Energistyrelsens prisdatabase*

# Økonomiske barrierer for omstilling til ledningsgas

## *Investeringsomkostninger og energipriser*

Flere virksomheder er allerede undervejs med omstillingen til ledningsgas, som er mindre fossilintensiv end olie, kul og koks.

Omstillingen til gas er ofte mindre kompliceret end elektrificering, og billigere i både investering og drift. Dog kan denne omstilling kun være grøn ved brug af bæredygtig biogas. Denne er dyrere at producere end el, og bør prioriteres til de dele af industrien, der ikke kan elektrificeres.

Årsagen til manglende omstilling fra olie, kul, koks og petrokoks til ledningsgas skønnes at omhandle den relativt højere gaspris, og gassystemets udbygningsgrad. Prisen stiger yderligere, hvis virksomheden vil gøre produktionen grøn gennem fx oprindelsesgarantier for biogas.

Udbygning af gassystemet er undervejs i mange dele af Danmark, og denne barriere forventes derfor at være kortsigtet.

Højtemperaturvirksomhederne oplever især to økonomiske barrierer for en omstilling til ledningsgas:

1. Det fortsat er billigere at benytte kul og koks som brændsel
2. Enkelte virksomheder er uden for gassystemets rækkevidde

Som det fremgår af citaterne herunder fra interviews med højtemperaturvirksomheder, ser virksomhederne biogas som en teknisk tilgængelig løsning. Enkelte virksomheder og rådgivere fremhæver dog også, at de er usikre på om biogas bliver ved med at kunne betragtes som grønt.

### Højtemperaturvirksomhederne udtaler om biogas:

*"Biogas vil tage få måneder at skifte over til, men en el-ovn vil tage flere år."*

*"Vi vil egentlig hellere elektrificere frem for at konvertere til biogas. Der er for mange variabler i spil, og spørgsmålet er, om det overhovedet er CO<sub>2</sub>-neutralt om 20 år? Folk siger forskellige ting."*

Kilde: Bilag 1 – Baggrund for højtemperaturprocesser

# Lav- og mellemtemperaturprocesser: Økonomi er den primære barriere

*Investeringsomkostninger, energipriser for el og gas og risici ved ny teknologi*

Selvom det teknologiske mulighedsrum for elektrificering af processerne under 150 °C er stort, oplever virksomhederne væsentlige økonomiske barrierer i form af særligt investeringsomkostning og energipris.

Virksomhederne oplever visse vidensbarrierer, idet teknologiens anvendelighed i forhold til deres specifikke proces måske ikke er afprøvet endnu. Dette er særligt tilfældet, hvis virksomheden vælger at investere i dampkompression eller omlægge processerne.

Ny teknologi for omstilling til elektricitet kan indebære en risiko for midlertidigt produktionsstop, som er en risiko, de færreste virksomheder vil løbe.

Virksomheder med lav- og mellemtemperaturprocesser oplever, at selvom elektrificering er teknologisk mulig i langt de fleste tilfælde, så er den omkostningstung.

Den økonomiske udfordring ved elektrificering relaterer sig særligt til at:

1. Det er besværligt at få gennemgået produktionslinjerne af en rådgiver, og det kræver prioritering af ressourcer
2. Teknologien kræver en større investering, og involverer en større risiko, end fossile anlæg, der typisk er mere markedsmodne
3. Prisen på el er højere end for fossile brændsler og ledningsgas

Viegand og Maagøe vurderer, at omstillingen er primært økonomisk vanskelig, og at dette særligt gælder for de dele af lav- og mellemtemperatursegmentet, hvor varmepumper endnu er på udviklingsstadiet for at kunne levere den nødvendige varme til processen. Her anslås, at der mangler tilskudsmuligheder for elkedler, hvis virksomhedernes ønsker at elektrificere frem for at satse på biogas, eller afvente teknologisk udvikling. Endelig er det konsulenternes vurdering, at viden om teknologiske muligheds modenhed er en barriere for særligt varmepumper.

*Kilde: Bilag 2: Baggrund for lav- og mellemtemperaturprocesser*

# Opsamling på fremstillingsindustri

Grøn Industrianalyse finder tre veje til fossiludfasning i fremstillingsindustrien:

1. Konverteringer til elektricitet og biogas gennem gassystemet,
2. Procesomlægninger
3. Produktudvikling

Grøn Industrianalyse giver en første indgang til at dykke mere ned i disse potentialer. Det kræver teknologiske gennemgange af processerne for at få dem kvantificeret, belyst for virksomhederne og adresseret.

## Potentialer for konvertering, procesomlægning, og produktudvikling

De største udledninger er relateret til energiforbrug, og her viser analysen et stort mulighedsrum for konvertering til el, og et ubegrænset mulighedsrum for konvertering til ledningsgas. Lav- og mellemtemperaturprocesserne, samt de af højtemperaturprocesserne, der anvender mediedreven varme op mod 500 °C, vil teknologisk set kunne elektrificeres fuldt ud.

Mere varmekrævende højtemperaturprocesser er i højere grad specialiserede processer, hvor konverteringsmulighederne er en blanding af el og gas, assisteret af procesomlægninger, der kan muliggøre mere omfattende konverteringer af brændsel.

Udledninger relateret direkte til processen kan i dag ikke fuldt ud elimineres uden brug af CO<sub>2</sub>-fangst, men nedbringes i nogen grad gennem produktudvikling.

## Tre centrale konklusioner om fremstillingsindustri

1. Det er teknologisk muligt at konvertere alle energirelaterede udledninger fra fremstillingsindustrien til ledningsgas. Elektrificering kan i høj grad dække lav- og mellemtemperaturprocesser, mens teknologien endnu er under udvikling og modning for visse højtemperaturprocesser.
2. De nuværende energianvendelser i industrien er forskellige, og teknologiens egnethed varierer. Muligheder for omlægning af produktions-systemer, der kan muliggøre brug af kendt teknologi, bør undersøges nærmere.
3. Selv hvis de energirelaterede udledninger konverteres, vil procesudledningerne stadig stå tilbage. Her er der i begrænset omfang muligheder for at reducere udledningerne gennem ændringer af produktet.

## Særligt økonomiske barrierer for at opnå potentialerne

De forskellige mekanismer til fossiludfasning har varierende potentialer i fremstillingsindustrien. Imidlertid viser analysen også, at et potentiale ikke er tilstrækkeligt for at en omstilling kan finde sted. Særligt den økonomiske barriere ved ny elbaseret teknologi er svær for virksomhederne at overkomme, da risikoen og alternativomkostningerne ved at fortsætte afbrændingen af fossile brændsler er væsentligt lavere end ved at lade være.

# Opsamling på fremstillingsindustri

Fremstillingserhverv	Segment	Teknologisk mulighed	Videnskæssige barrierer	Økonomiske barrierer
	Højtemperatur	<p><u>Energirelaterede udledninger:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fuldt ud muligt med enten el eller gas.</li> <li>Procesomlægninger og produktudvikling kan udvide potentialet for el.</li> </ul> <p><u>Procesudledninger:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Delvist muligt gennem produktudvikling.</li> </ul>	<p><u>Kun relevant for elektrificering:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Uklarheder om indvirkning af elektrificering på produktion og økonomi.</li> <li>Behov for yderligere udvikling og demonstration for højere temperaturer, og markedsmodning i hele spektret.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Høje investeringsomkostninger, særligt for elektrificering.</li> <li>Energipriser er i fossile brændsleres favør.</li> <li>Der vil derfor sjældent kunne opnås en positiv driftsøkonomi.</li> </ul>
Lav- og mellemtemperatur	<p><u>Energirelaterede udledninger</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fuld elektrificering er en mulighed.</li> <li>Procesomlægninger kan undersøges for at udbrede brug af varmepumper.</li> </ul>	<p><u>Kun relevant for elektrificering:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Uklarheder om indvirkning på produktion hvis der foretages produktionsomlægninger.</li> <li>Hastig udvikling af elektrificeringsteknologier gør det svært at danne sig et klart billede af teknologisk status hos virksomhederne.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Høje investeringsomkostninger for elektrificering, særligt med højtemperaturvarmepumper, der stadig er i modningsfasen.</li> <li>Uvished om konsekvenser for produkt og afsætning.</li> <li>Energipriser er i fossile brændsleres favør, særligt hvis varmepumper ikke kan anvendes.</li> <li>For nogle investeringer er det vanskeligt at opnå en positiv driftsøkonomi - for andre kan tilbagebetalingstiden være lang.</li> </ul>	

Tabel 3: Opsummerede muligheder og barrierer for omstilling af fremstillingsindustrien. Kilde: Grøn Industrianalyse

# Raffinaderier

- *De nuværende anvendelser af fossile brændsler i industrien.*
- *Identificerede muligheder og barrierer for udfasning*

# Raffinaderiernes fossile brændsler er raffinaderigas og naturgas

Figur 14 viser, at udledningen fra de tre danske raffinaderier tilsammen forventes at udgøre knap 1 mio. tons CO<sub>2</sub> i 2030. Der er en vis forskel på de tre danske raffinaderier, som består af to traditionelle olieraffinaderier, og ét, der raffinerer genindvundet olie<sup>1</sup>. I dette og følgende slide præsenteres først omstillingsmuligheder for traditionel raffinering, og derefter raffinering af genindvundet olie.

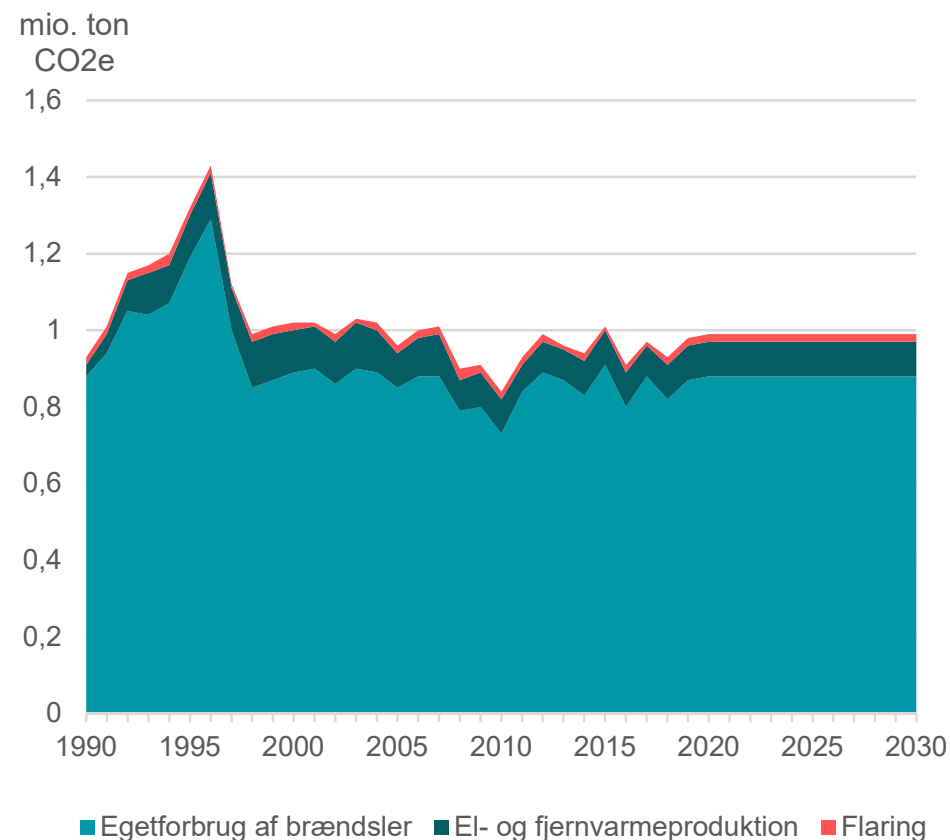
## Traditionel raffinering kræver håndtering af raffinaderigas

Hovedaktiviteten for de traditionelle olieraffinaderier er destillation af råolie til forskellige produkter som benzin, dieselolie, gasolie og kerosen. Destillationen foregår ved temperaturer op til 500°C, og er hovedsageligt fyret med raffinaderigas, som er et restprodukt fra destilleringen af olie. Da raffinaderierne er drevet af et restprodukt fra deres egen produktion, vil en omstilling af brændslet efterlade en overskydende mængde raffinaderigas, som skal bortskaffes på anden vis, og som vil resultere i de samme udledninger et andet sted.

Det vurderes dog at noget af raffinaderigassen vil være metan, som kan sendes ud i gassystemet, ligesom noget af gassen vil kunne omdannes til flydende brændstof. Dette vil dog stadig være fossilt baserede produkter, og det er uklart præcist hvor store mængder, der kan anvendes fra produktionen. Separering og opgradering vil kræve investeringer i nye anlæg. En traditionel omstilling af disse raffinaderier via elektrificering, energieffektivisering eller omlægning til ledningsgas vil derfor ikke direkte eliminere udledningerne relateret til raffinering.

<sup>1</sup> Kilde: Bilag 4 – Baggrund for raffinaderier.

Alle tre danske raffinaderier har været i tale i forbindelse med Viegand Maagøes vurdering af muligheder og barrierer for omstillingen af raffinaderier, men det bemærkes at de to traditionelle raffinaderier har skiftet ejere siden interviewene.



Figur 15: Fremskrivning af udledninger fra raffinaderier, Kilde: KF21



# Fossiludfasning på raffinaderier afhænger af en omstilling til nye produkter

For begge traditionelle olieraffinaderier er en grøn omstilling mulig gennem omlægning af produktionen på særligt to måder:

- Destillation af alternative olier, der er "lettere" end råolie. Fx genindvundne, syntetiske eller grønne olier.
- Større PtX-projekter med fremstilling af methanol, ethanol, ammoniak m.m.

Destillation af alternative olier danner ikke i samme omfang raffinaderigas, og raffinering af grønne olier vil danne raffinaderigas, der kan betragtes som VE-brændsel.

I disse tilfælde er der tale om en udskiftning af råvarer, og dermed en væsentlig anden omstilling end en konvertering af anvendt brændsel. Omstillingen af PtX beror på investeringer i milliardklassen og etablering af helt nye produktionsfaciliteter.

## Raffinering af genindvundet olie kan elektrificeres

Raffinaderiet, der primært destillerer genindvundet olie adskiller sig fra aktiviteten på de traditionelle raffinaderier. Her er produktet ikke benzin o.l., temperaturerne i processerne er højest 290°C, og der er meget lav produktion af raffinaderigas. I stedet anvendes fortrinsvis ledningsgas som brændsel. Derfor er det både meningsfuldt og teknologisk muligt at elektrificere under væsentligt samme hensyn som anført for øvrige højtemperaturvirksomheder.

*Kilde: Bilag 4 – Baggrund for raffinaderier*

## Olieraffinaderiernes opfattede barrierer for en omlægning af produkter:

Raffinaderierne anfører, at disse omstillinger er meget følsomme overfor politiske rammebetingelser, navnlig EU-kravene til dokumentation af "grøn strøm" samt fremtidig prioritering af nye brændsler til transportformål.

Endelig rejses en bekymring for, om der kan skaffes råvarer nok til at retfærdiggøre at satse på en produktionsomlægning til alternative olier. Markedet vurderes af raffinaderierne som underudviklet både med hensyn til forsyningsikkerhed og regulering.

*Kilde: Bilag 4 – Baggrund for raffinaderier*

# Opsamling på raffinaderier

De danske raffinaderier anvender alle gas i dag. Der er teknologisk set mulighed for en omstilling af raffinaderierne gennem biogas fra gassystemet eller elektrificering af hovedaktiviteten, destillation af olie.

Dette er dog primært meningsfuldt hvor produktionen af raffinaderigas er lav som ved raffinering af genindvundne olier. For raffinering af råolier, som er den største aktivitet i industrien, vil omstilling af brændslet betyde en uændret mængde raffinaderigas fra produktionen, som vil udlede CO<sub>2</sub> andre steder. Udledningerne kan dermed kun helt elimineres, hvis produktionen omlægges fra raffinering af råolie, eller raffinaderigassen kan finde anvendelse andetsteds, hvilket aktuelt kun er delvist muligt, og kræver anlægsinvesteringer. Endelig er perspektiverne for omlægning til andre produkter usikre. Raffinering af biogene og andre lettere olier, som reducerer raffinaderigas, kræver et stort forbrug af disse alternative olieprodukter, hvilket er begrænsede ressourcer i øjeblikket.

Omstilling til PtX-projekter kræver store anlægsinvesteringer, og virksomhederne angiver at være usikre på markedet for dette.

Raffinaderier	Segment	Teknologiske muligheder	Økonomiske barrierer
	Traditionelle Olieraffinaderier	<ul style="list-style-type: none"> <li>Omlægning af produktion eneste mulighed for komplet grøn omstilling, da fossil raffinaderigas produceres under destillation, og skal afbrændes under alle omstændigheder.</li> <li>Raffinaderigas kan i mindre omfang fortrænge anden fossil energi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Markante investeringer i forbindelse med helt nye produktionsfaciliteter.</li> <li>Markedet for alternative produkter er usikkert ifølge virksomhederne.</li> </ul>
	Raffinering af genindvundet olie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forbruget af naturgas kan omlægges til elektrificering eller biogas gennem gassystemet.</li> <li>Minimal produktion af raffinaderigas betyder at omlægning af produkt ikke er nødvendigt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Høje investeringsomkostninger, særligt for elektrificering</li> <li>Energipriser er i fossile brændslets favør.</li> </ul>

Tabel 4: Opsummerede muligheder og barrierer for omstilling af raffinaderier. Kilde: Grøn Industrianalyse

# Intern Transport

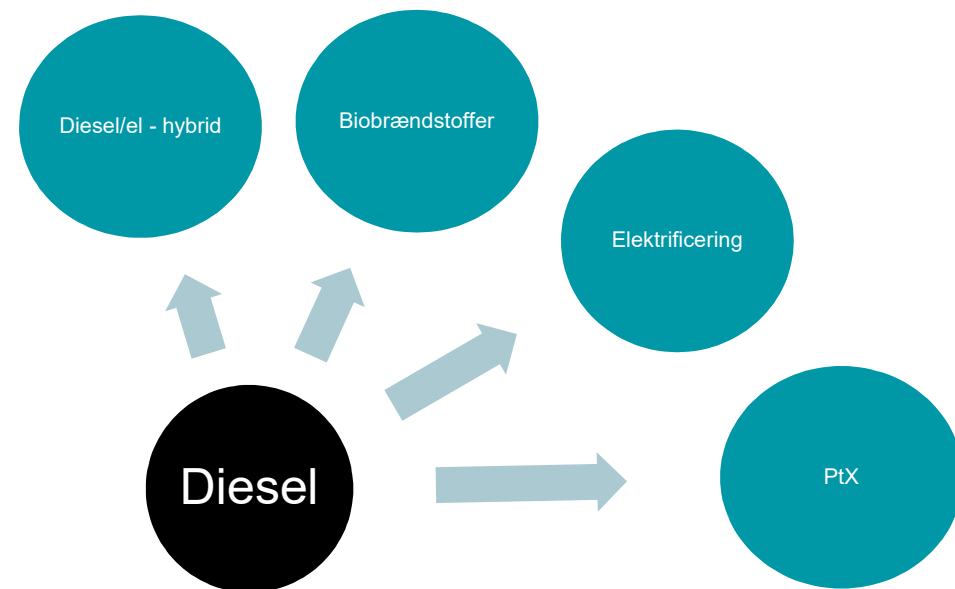
- *De nuværende anvendelser af fossile brændstoffer i industrien.*
- *Identificerede muligheder og barrierer for udfasning*

# Dele af den interne transport kan på kort sigt elektrificeres suppleret med hybrid og biodiesel, på længere sigt kan PtX-teknologier blive relevante

Fossiludfasningen i intern transport kan teknologisk set dækkes med biobrændstof, der 1:1 kan erstatte fossil diesel, givet at tilstrækkelige mængder kan produceres på bæredygtig vis<sup>1</sup>. Da bæredygtig biobrændstof imidlertid er en knap ressource, forventes energibehovet for den interne transport at skulle dækkes af flere forskellige teknologier, hvoraf alle dog kræver yderligere udvikling og markedsmodning.

På længere sigt forventes udviklingen i PtX-teknologier, som brændselsceller og brint, at være teknologier, der får en rolle for omstillingen, men overordnet er teknologien endnu på udviklingsstadiet. Viegand og Maagøe vurderer på baggrund af interviews, at både prisen og udbredelsen af infrastruktur til PtX-teknologier bliver en udfordring<sup>1</sup>.

Frem mod 2030 er det elektrificering, biobrændstoffer og hybrider heraf, der er de mest oplagte muligheder på tværs af sektorer. Hybridløsninger mellem diesel og batteridrift kan anses som en overgangsteknologi i de anvendelser, hvor løsninger med ren el ikke er teknologisk muligt, eller ren anvendelse af biobrændstof ikke er økonomisk attraktivt. Diesel/el-hybrid er dog i sig selv stadig på et tidligt udviklingsstadium, og primært set i anvendelse i bygge- og anlæg samt kystnært fiskeri. Det er usikkert om teknologien er egnet til brug i landbruget, hvor biobrændstof og PtX vurderes som mere direkte anvendelige alternativer<sup>1, 2</sup>.



Figur 16: Der er flere muligheder for konverteringer af brændstofforbruget til intern transport, og det er endnu for tidligt pege på "den rigtige" løsning. Biobrændstoffer som HVO er allerede et tilgængeligt alternativ til alle anvendelser af diesel, men væsentligt dyrere end diesel. Elektrificering og i særdeleshed PtX er teknologier som i mindre grad er tilgængelige nu og her, men som er under kraftig udvikling.

<sup>1</sup> Kilde: Bilag 5 – Kilde: Bilag 5 – Intern transport baggrund og barrierer. Det er kun en særlig type biodiesel, HVO, der kan erstatte fossil diesel 1:1.

<sup>2</sup> Kilde: Bilag 6 – Cases – beregninger og udfasningsmuligheder, se case 2 om intern transport.

## Teknologiske barrierer

### Tungere intern transport kræver lange driftstider

Historisk har diesel været foretrukket i alle sektorer af den interne transport på grund af driftssikkerheden og motorernes evne til at være i drift hele dage uden stop. Det er netop på disse punkter, at de største udfordringer ift. omstillingen ses.

### Batterier – størrelsen og kapacitet en udfordring

Inden for alle tre sektorer er det generelt et problem, at antallet af driftstimer og størrelsen på maskinen kan gøre det svært at lave en batteripakke, der er stor nok. Derfor er det kun en begrænset andel af maskinparken, der kan elektrificeres i dag<sup>2</sup>.

### Sektorspecifikke muligheder – ikke én bred løsning

Inden for byggeri og anlæg anses mindre batteridrevne maskiner under 2,5 tons aktuelt som tilgængelig teknologi, men med et begrænset antal forhandlere. Større maskiner end dette findes i dag specialbyggede, men Viegand og Maagøe vurderer gode udsigter til markedsmodning inden for 5-6 års tid (op til 12 tons)<sup>1</sup>.

Indenfor landbruget vurderer Viegand Maagøe, at batteridrevne maskiner ikke er markedsmodne og har lange udsigter. Kun biobrændstof kan aktuelt imødekomme kapacitetskravene<sup>1</sup>. PtX kan ligeledes blive en relevant teknologi her.

Fiskeriets behov for kystnært fiskeri kan teknologisk set omstilles med hybrider mellem el og diesel<sup>2</sup>. Behovet for energianvendelser til havgående sejlads kan på kort sigt omstilles ved brug af biobrændstof og på længere sigt PtX<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Kilde: Bilag 5 – Intern transport baggrund og barrierer

<sup>2</sup> 18 pct af gravemaskiner vurderes af COWI at kunne omstilles. Kilde: Bilag 6 – Cases – beregninger for udfasningsmuligheder, case 2. Andelen vurderes af være væsentligt lavere når fiskeri og landbrug tages med i ligningen

## Økonomiske barrierer

### Investeringer og energipriser

For en konvertering til batteridrevne maskiner vurderes investeringspriserne at være en central barriere. Batteridrevne maskiner har lave driftsomkostninger og god energiudnyttelse, hvorfor elpriserne ikke vurderes at være en stor barriere for omstillingen<sup>1</sup>.

Omstilling til biobrændstof er omvendt ikke belagt med krav om nye investeringer, da brændstoffet kan anvendes i aktuelle motorer. Derimod er brændstoffet dyrt, som følge af at det er en knap ressource<sup>1,2</sup>.

### Bygge- og anlæg: Manglende efterspørgsel efter grøn omstilling

Specifikt for denne sektor angiver adspurgte virksomheder at manglende efterspørgsel efter anvendelsen af dyrere maskineri med lavere klimaaftryk gør det for risikabelt at investere<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Kilde: Bilag 5 – Intern transport baggrund og barrierer

<sup>2</sup> Andre typer biodiesel end HVO vil kræve investeringer i mindre ombygninger af eksisterende maskineri

## Opsamling på intern transport

*Høje investeringsomkostninger og lav tilgængelighed udgør store barrierer for omstillingen af den tunge interne transport. Teknologien er dog i hastig udvikling.*

Der er identificeret både teknologiske og økonomiske barrierer for omstillingen af den tungere interne transport. Generelt er barrierer for de tre sektorer 1) markedsmodenhed af alternative teknologier, 2) høje omkostninger, og 3) kapacitetsbehov og energitæthed.

Udviklingen af teknologier til omstillingen af intern transport drives primært internationalt og i større infrastrukturprojekter.

For byggeri- og anlæg samt landbrug forventes udviklingen at blive drevet af CO<sub>2</sub>-reduktionskrav til brændstofleverandørerne samt større bæredygtighedskrav.

For fiskeri drives udviklingen af fartøjer især i Norge, samt andre sektorer som shipping, krydstogtskibe, færger, støttestøtøjer og lignende, hvorfor disse andre sektorer må holdes in mente, når der planlægges virkemidler.

Intern transport	Segment	Aktuelle teknologiske muligheder	Økonomiske barrierer
		Biobrændstof er en begrænset ressource, med mulighed for 1:1 erstatning af diesel	Skyggepris stiger med maskinens størrelse
	Landbrug	<ul style="list-style-type: none"><li>• Biobrændstof eneste aktuelle mulighed. PtX på sigt.</li><li>• Batterier på prototypestadiet, hybrider har tvivlsomme anvendelser.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Høje investeringer for elektrificering, Høje priser på biobrændsel og PtX.</li></ul>
	Bygge- og anlæg	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mindre maskineri (2,5 tons) kan elektrificeres. Tungere maskineri (op til 5 tons) inden for næste 2 år og op til 12 tons inden for 5-6 år.</li><li>• Elektrificering udfordret af elforsyning og -kapacitet i systemet til byggepladser.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Virksomhederne oplever manglende efterspørgsel efter grønne løsninger.</li><li>• Høje investeringsomkostninger (el).</li></ul>
Fiskeri	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hybrider med el og diesel til kystnære fiskeri.</li><li>• Længere fisketogter kan forsynes med biobrændstof og på sigt ses udviklingsspor med brændselsceller og PtX.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Store investeringsomkostninger for elektrificering, høje priser for alternative brændstoffer.</li></ul>	

Tabel 4: Opsummerede muligheder og barrierer for omstilling af Intern transport. Kilde: Grøn Industrianalyse. Se også Bilag 5 – Intern transport baggrund og barrierer.

# Perspektivering

*Cases til illustration af potentialer og barrierer for den grønne omstilling*

# Cases illustrerer perspektiverne for en omstilling

*Der illustreres bl.a. store usikkerheder i skyggepriser, og teknologi, der endnu er for umoden til en businesscase*

En af de centrale pointer i Grøn Industrianalyse er, at en afdækning af potentialer for så specialiserede anvendelser som fremstillingsindustri og tungere intern transport forudsætter en væsentligt mere ressourcekrævende og virksomhedsnær tilgang. Derfor er der ikke i forbindelse med Grøn Industrianalyse beregnet generelle potentialer for fossiludfasning.

For at illustrere hvordan omstilling kunne se ud i virkeligheden, har Energistyrelsen bedt COWI om at udarbejde en række cases for omstillingsmuligheder i fremstillingsindustri og intern transport. Disse er vedlagt i bilag 6 og udfoldes kort her.

Målet med cases er at anskueliggøre relationen mellem reduktionspotentialer og omkostningerne ved en given omstilling. Til det formål præsenteres en driftsøkonomisk CO<sub>2</sub>-reduktions-skyggepris samt relevante antagelser og forbehold. Cases beskriver et basisscenarie samt ét eller flere alternative scenarier for enten konvertering af brændsel, eller omlægning af produktionen til mere energieffektive processer.

Basisscenariet antager en situation, hvor eksisterende produktionsanlæg skal fornyes, og virksomheden enten kan vælge at reinvestere i samme produktionsform som hidtil, eller konvertere til grønnere produktionsformer. Dette er imidlertid en skrøbelig antagelse, da mange eksisterende produktionsanlæg i praksis holdes i drift ud over deres forventede tekniske levetid, og efter at anlægget er fuldt afskrevet. Mange virksomheder vil derfor i stedet stå i en situation hvor konvertering medfører en ny investering, mens *business-as-usual* ikke gør. Denne praksis er svær at indregne i en økonomisk analyse, og skyggepriserne skal derfor tolkes med forsigtighed<sup>1</sup>.

I tråd med beskrivelsen af potentialer og barrierer i fremstillingsindustrien<sup>2</sup>, viser cases et heterogent billede af omstillingsmuligheder og -omkostninger. Eksempelvis illustrerer casen for Aalborg Portland og Intern Transport, at det er for tidligt at lave en businesscase for visse omstillingsformer. Andre cases, som for produktionen af mælkepulver, illustrerer et relativt realistisk omstillingsscenarie.

I det følgende præsenteres udvalgte cases, og deres funktion som perspektivering af fundene for Grøn Industrianalyse.

<sup>1</sup> Kilde: Bilag 6 – Cases – beregninger for udfasningsmuligheder

<sup>2</sup> Se slides 37-38 for en opsamling på fremstillingsindustrien.



# Case: Fuld elektrificering af mælkepulverproduktion

*Nogle højtemperaturprocesser kan elektrificeres*

Enkelte højtemperaturprocesser vurderes at kunne elektrificeres uden ændring af den anvendte temperatur. Dette er tilfældet for produktionen af mælkepulver, der foregår ved spraytørring ved temperaturer mellem 200-220°C, og som visse steder drives med damp lavet på ledningsgas.

Processen kan elektrificeres på flere måder, enten ved elektrificering af de eksisterende anlæg eller ved brug af varmepumper decentralt eller centralt. Som vist i tabel 5, vurderer COWI det muligt at reducere CO<sub>2</sub>-udledninger fra produktionen med 80% til en driftsøkonomisk skyggepris på ca. 200 DKK pr. ton.

Scenarie	Annuserede totalomkostninger,	CO <sub>2</sub> -emissioner, tons CO <sub>2</sub> pr. år	CO <sub>2</sub> -reduktionsskyggepris,
	DKK/år	(%-vis reduktion)	DKK/ton CO <sub>2</sub>
Ledningsgas	36.000.000	27.000	-
Elektrificeret central varmepumpe	40.000.000	5.000 (81%)	200

Tabel 5: Omkostninger og CO<sub>2</sub>-reduktioner ved elektrificering af mælkepulverproduktion.  
Kilde: Bilag 6 – Cases – beregninger for udfasningsmuligheder (case 5).



# Case for mineraluld

## *Illustration af investeringsomkostninger og den økonomiske tyngde af eksisterende anlæg*

Casen er baseret på smeltning i forbindelse med mineraluldsproduktion, der i dag foregår ved temperaturer helt op til 1500 °C. Eksempler på elektrificering af processerne er set i Norge, hvor Rockwool opererer med el. I Danmark produceres mineraluld typisk med gas.

Elektrificering af den nødvendige smelteproces er teknisk mulig<sup>1</sup>, men der skal investeres i et helt nyt produktionsapparat. Beregningen fremgår af tabel 6. For et anlæg med en produktionskapacitet på 120.000 tons mineraluld bliver merinvesteringen ved el frem for ledningsgas 26 mio. kr. Elektrificering vil kunne reducere CO<sub>2</sub>-udledningen med knap 40.000 tons årligt. Pr. reduceret ton CO<sub>2</sub> vil omkostningen dog være omkring 1300 DKK.

Skyggeprisen på 1300 DKK/ton CO<sub>2</sub> er dog baseret på en antagelse om, at der bygges en ny fabrik, og investering i en ny gaskapacitet holdes dermed op imod investeringen i en elektrificeret løsning. Hvis en virksomhed skulle foretage omstillingen ud fra en eksisterende produktion med gas, ville eksisterende anlæg skulle skrottes, og skyggeprisen ved en elektrificering øges markant.

Dette illustrerer to ting. Dels et potentiale for elektrificering af enkelte processer, som foregår ved meget høje temperaturer. Dels størrelsen af de økonomiske barrierer i investering, herunder alternativomkostningen ved at skrotte eksisterende anlæg.

Scenarie	Annuserede totalomkostninger, DKK/år	CO <sub>2</sub> -emissioner, tons CO <sub>2</sub> pr. år (%-vis reduktion)	CO <sub>2</sub> -reduktionsskyggepris, DKK/ton CO <sub>2</sub>
Ledningsgas	164.000.000	52.000	-
Elektrificering	214.000.000	13.000 (74%)	1300 DKK

Tabel 6: Omkostninger og CO<sub>2</sub>-reduktioner ved elektrificering af mineraluld. Bilag 6 – case 4

<sup>1</sup> Se også side 27 for denne pointe. Bemærk, at selv om temperaturer op til 1.500 °C kan leveres til denne proces, er der andre krav til leverancen i andre typer af processer som fx brænding i forbindelse med cementfremstilling.

# Case for produktionsomlægninger

*Gentænkning af aktuelle anvendelser kan give nye muligheder for en konvertering*

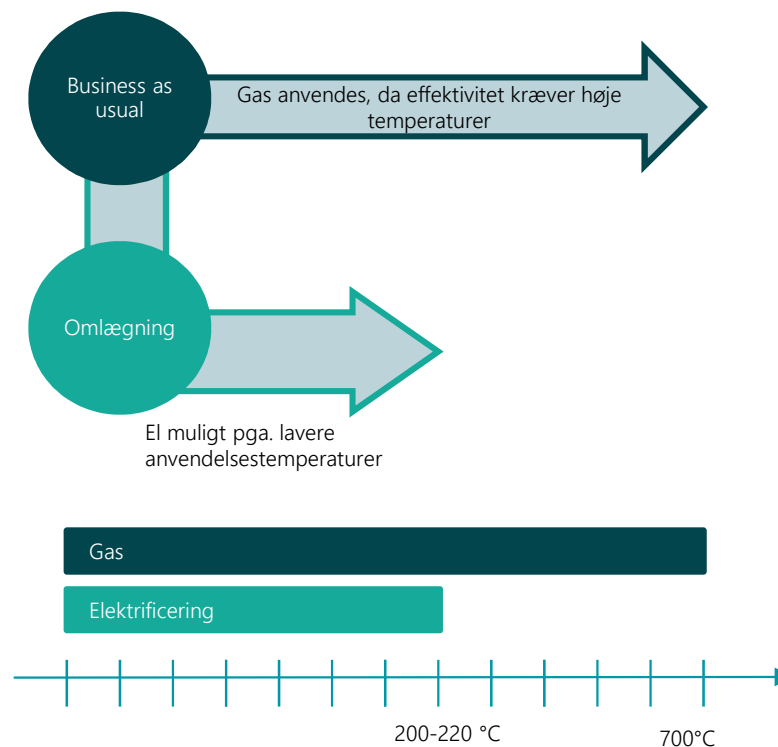
En gennemgang af de aktuelle anvendelser af varme i højtemperaturprocesser kan pege på muligheder for procesomlægninger, der teknisk set muliggør elektrificering. Dog forventes det at give en række barrierer for virksomhederne i praksis, hvor flere andre faktorer end de rent teknologiske spiller ind.

Figur 15 til højre eksemplificerer en sådan omlægning på en gasdrevet tørreproces fra *business-as-usual* til lavere temperaturer. Omlægningen reducerer varmekravet fra ca. 700 °C til ca. 200 °C, hvilket teoretisk set muliggør en elektrificering med varmepumper og dampkompression efter samme metode som casen på side 49, og som vil medføre lavere driftudgifter<sup>1</sup>.

Den specifikke omstillingsmulighed for en virksomhed vurderes dog at være belagt med risici og konsekvenser for produktionen. Særligt vil der være tvivl om, hvor meget de lavere temperaturer har betydning for effektiviteten, eller risikoen for produktionsstop. Den lavere effektivitet kan tillige betyde, at anlægget skal udvides betragteligt for at producere de samme mængder, hvilket vil medføre yderligere anlægsomkostninger. Grundet de store usikkerheder ved casen præsenteres ingen tal.

Der er derfor markante økonomiske og videnskabelige barrierer ved denne løsning, selvom den er teknologisk mulig. Casen illustrerer udfordringerne ved procesomlægninger, men kan inspirere til at andre tilgange end ren konvertering af eksisterende processer.

<sup>1</sup> Kilde: Bilag 6 – Cases – beregninger for udfasningsmuligheder (case 7)



Figur 17: Omlægning baner vejen for elektrificering

Note: Baseret på case om fossiludfasning udarbejdet af COWI. Omlægningen er forbundet med en lavere effektivitet, og dermed store omkostninger.  
Kilde: Bilag 6 – Cases – beregninger for udfasningsmuligheder (case 7)

# Intern transport: Lettere elektrificering og hybride løsninger

*Det er for tidligt at lave en businesscase for tungere anvendelser af intern transport*

Det er i dag primært de lettere anvendelser af intern transport, der kan elektrificeres. Beregningerne fra cases ses i tabel 7.

## Bygge- og anlæg – lettere gravemaskiner har en skyggepris på ca. 300 DKK/ton CO<sub>2</sub>

Inden for byggeri og anlæg ses i dag eksempler på gravemaskiner med op til 20 kW effekt svarende til lettere elektrificering under 2,5 ton. Større gravemaskiner til bygge- og anlægsarbejde har et kapacitetskrav på op mod 200 kW, men det vurderes som for tidligt at lave en businesscase på disse anvendelser.

## Fiskekuttere – kystnære elhybrider med skyggepris på ca. 2400 DKK/ton CO<sub>2</sub>

Brug af elmotor til navigation i havn og på fiskepladsen samt brug af diesel til transporten frem og tilbage betyder, at den driftssikre diesel kan bruges til de arbejdsopgaver, hvor batteriet i dag ikke har kapacitet nok. En elektrificering af mindre fiskekuttere har dog store investeringsomkostninger.

Det generelle billede tyder på, at skyggeprisen stiger med maskinernes størrelse. Dermed skønnes det, at der skal væsentligt mere udvikling til for at nå en elektrificering af det tungere maskineri.

Scenarie	Brændsel	Anniserede totalomkostninger,	CO <sub>2</sub> -emissioner, tons CO <sub>2</sub> pr.	CO <sub>2</sub> -reduktionskyggepris,
		DKK/år	år (%-vis reduktion)	DKK/ton CO <sub>2</sub>
Gravemaskiner	Diesel	142.000	28	-
	Elektrificering	149.000	4 (87%)	300
Fiskekutter	Diesel	104.000*	44	-
	Elektrificering	177.000*	14 (70%)	2.400

Tabel 7: Omkostninger og CO<sub>2</sub>-reduktioner ved elektrificering af intern transport. Bilag 6 – case 2

# Konklusion

# Konklusion

Grøn Industrianalyse viser, at al energirelaterede udledninger fra industrien teknologisk set kan omstilles med en blanding af biobrændsler og el. Biogas og -brændstof er dog begrænsede ressourcer, og anvendelsen må prioriteres fremadrettet. Prioriteringen vil afhænge af, hvilke energiforbrug det er muligt at omstille gennem f.eks. elektrificering.

Grøn Industrianalyse illustrerer muligheder for elektrificering af fremstillingsindustrien, som kan støtte denne prioritering af biogas overfor elektricitet.

For raffinaderier viser Grøn Industrianalyse, at mulighederne for omstilling vil afhænge af produktionsomlægning til helt andre produkter, eller at der findes måder at benytte den overskydende raffinaderigas på.

Energiforbruget til tung intern transport kræver fortsat megen teknologisk udvikling for at kunne omstilles gennem andre teknologier end biobrændstoffer. Her peger analysen på forskellige udviklingsspor og specifikke barrierer inden for anvendelserne i landbrug, byggeri og anlæg samt fiskeri.

Grøn industrianalyse viser tre overordnede typer barrierer ved en omstilling:

1. **Viden** om nye teknologier, herunder deres indvirkning på produkt og virksomhedsøkonomi, er en nødvendig, men ikke tilstrækkelig betingelse for omstillingen.
2. **Tilgængelig teknologi.** Der er flere lovende udviklingsspor, men mange teknologier er stadig på udviklingsstadiet. Særligt supplerende teknologier, som bl.a. varmepumper, undergår en hastig udvikling, der bør ansøres.
3. **Økonomi er nøgleudfordringen.** Økonomi er bagtæppet for virksomhedernes beslutninger om at omstille fra fossile brændsler. Omstilling indebærer risici, og ofte en væsentlig fordyring af produktionen, særligt grundet de relativt højere elpriser og investeringsomkostninger. Økonomien skal hænge sammen før omstilling prioriteres, og barriererne afspejler dels udviklingsstadiet for megen teknologi, dels at prissætningen på fossile brændsler er lav i forhold til grønne alternativer som el.

**Selvom der peges på tre typer barrierer, er de tæt forbundne.**

Det er derfor ikke nok at håndtere barriererne enkeltvis, der skal arbejdes med alle tre. Omstillingsmuligheder skal kommunikeres klart ud til virksomheder, og der skal leveres et incitament, så de økonomiske kalkuler peger i retning af både grøn omstilling og grøn bundlinje.

## Efter Grøn Industrianalyse

Grøn industrianalyse skaber et første skridt til forståelse af reduktionspotentialerne i industrien

Grøn Industrianalyse viser, at der på mange områder er meget specifikke udfordringer for hver enkelt virksomhed. Dermed er intensiteten af de økonomiske, teknologiske og videnskabelige barrierer forskellige virksomhederne imellem. Omstillingen kræver initiativer, der tager højde for de forskellige typer af barrierer.

Identifikation af de mulige løsninger for den enkelte virksomhed vil i mange tilfælde kræve, at virksomhederne får foretaget en konkret teknisk gennemgang.

Grøn Industrianalyse giver os:

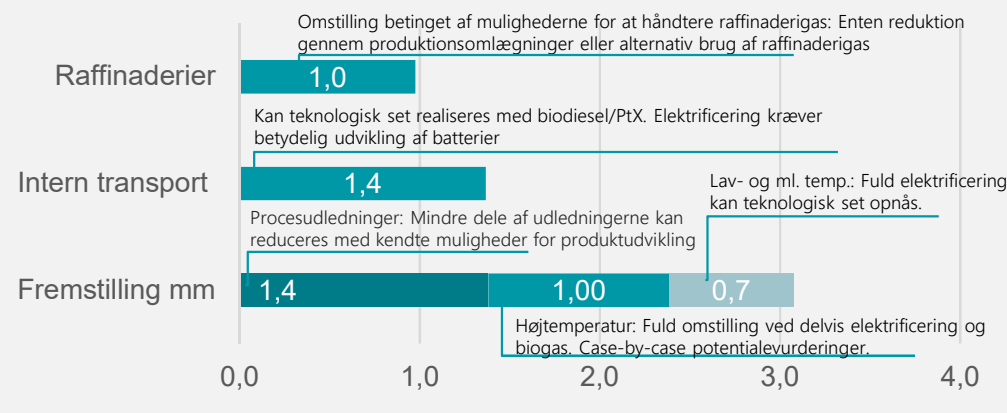
- Overblik over industriens anvendelser og muligheder for omstilling samt de tilknyttede barrierer.
- Viden til brug for udvikling af indsatser, der tager højde for en mere nuanceret industri end hidtil.

Det, vi ikke ved med Grøn Industrianalyse, er:

- De kvantificerede optimerings- og omstillingsmuligheder for konkret teknologi, eller inden for konkrete processer.
- Hvilke specifikke barrierer, der vejer tungest i de enkelte virksomheder.

For at favne et bredt og heterogent felt har kortlægningsaktiviteter været prioriteret i Grøn Industrianalyse. At kvantificere og vægte potentialer og barrierer vil kræve dyberegående samarbejde med virksomhederne.

### Udledninger undersøgt i Grøn Industrianalyse (MtCO<sub>2</sub>, 2030)



Figur 16: Udledninger fra de segmenter af industrien, som Grøn Industrianalyse fokuserer på. Hvert segment er suppleret med konklusioner på mulighederne for en omstilling ud fra fundene i Grøn Industrianalyse. Kilde: Særtræk fra Klimafremskrivning 2021.

Figur 16 samler op på udledningerne som Grøn Industrianalyse har undersøgt muligheder for at nedbringe. Af figuren fremgår desuden de hovedkonklusioner om muligheder for en omstilling, som er identificeret i de enkelte kapitler af analysen.



Energistyrelsen  
Carsten Niebuhrs Gade 43  
1577 København V  
Tlf: 33 92 67 00  
ens@ens.dk