



Global Afrapportering 2022 (GA22): Eludveksling

Baggrundsnotat nr. 8

Indholdsfortegnelse

1. Rammesætning.....	2
2. Hovedresultater.....	4
2.1 Dansk eludveksling og beregningstekniske emissioner i udlandet.....	5
2.2 Import og eksport af el fra og til udlandet.....	7
2.3 Effekten ved en yderligere elimport eller –eksport i Danmark.....	8
3. Metode og antagelser.....	10
3.1 Metodebeskrivelse – historiske år.....	12
3.2 Metodebeskrivelse – fremskrivningsår.....	14
3.3 Værktøjer/modeller.....	15
3.4 Overordnede forudsætninger og afgrænsninger:.....	16
3.5 Primære datakilder:.....	17
3.6 Overlap med andre dele af GA22.....	18
4. Resultater og analyse.....	19
4.1 Dansk eludveksling og beregningstekniske emissioner i udlandet.....	19
4.2 Elimport og -eksport i Danmark – samspil med udlandet.....	22
4.3 Effekten ved yderligere dansk eleksport fra vedvarende energi.....	28
4.4 Danmarks indsats.....	30
4.5 Energijøer.....	31
4.6 Sammenligning af resultater med sidste års globale afrapportering.....	32
5. Kvalificering.....	34
5.1 Usikkerhed.....	34
5.2 Følsomhedsanalyser.....	36
5.3 Perspektivering.....	37
6. Kilder.....	38
7. Bilag.....	39

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

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

www.ens.dk

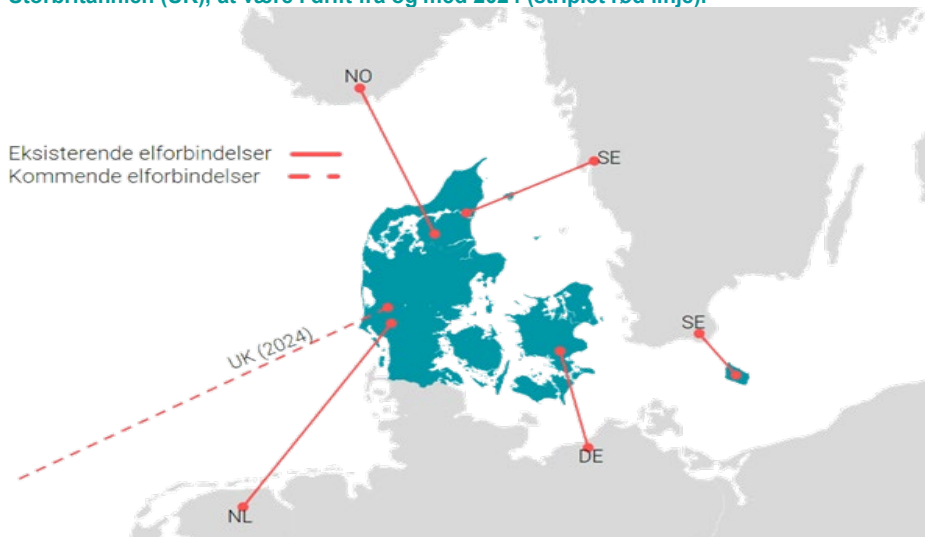
1. Rammesætning

Den globale afrapportering skal – ifølge Klimaloven – synliggøre Danmarks globale påvirkning af klimaet både positivt og negativt (KEFM, 2020a). GA22 fokuserer på de emissioner, der ikke knytter sig til det nationale drivhusgasudledningsregnskab for Danmark, men som alligevel påvirkes af danske aktiviteter, herunder forbrug og produktion¹. Af bemærkningerne til *klimaloven* fremgår det, at den globale afrapportering skal belyse de globale effekter af eleksport fra vedvarende energi. Dette notat omhandler de udenlandske emissioner, der knytter sig til dansk elimport og -eksport.

Danmarks eludveksling påvirker udenlandske udledninger fra elproduktion

El er en vare, der af natur kræver, at produktion og forbrug til enhver tid er i balance. Denne balance opnås på tværs af landegrænser via elsystemet. Når der i Danmark ikke er balance mellem elproduktion og –forbrug, bruges elsystemet således til at sikre balancen ved at transportere el på tværs af landegrænser. Danmark har stærke elforbindelser til udlandet (se figur 1), som anvendes til elimport og –eksport, hvilket er afgørende for at sikre balancen mellem forsyning og forbrug – både i Danmark og udlandet.

Figur 1: I dag har Danmark direkte elforbindelser til Tyskland (DE), Nederlandene (NL), Norge (NO) og Sverige (SE). Derudover forventes "Viking link", som vil skabe elforbindelse til Storbritannien (UK), at være i drift fra og med 2024 (striplet rød linje).



Kilde: Energistyrelsen

Ses der på national elforsyning, kan elimport til at dække et indenlandsk elforbrug reducere det respektive lands territoriale udledninger, fordi produktionen sker i et andet land. Den omvendte situation gør sig gældende ved eleksport. Når Danmark eksporterer el fra havvindmøller, kan det fx reducere elproduktionen på kulraft i

¹ Emissioner, der knytter sig til det nationale drivhusgasudledningsregnskab for Danmark opgøres hvert år i Danmarks klimastatus og –fremskrivning: ENS (2022)



Tyskland, hvilket vil reducere udledningerne i Tyskland. Modsat betyder elimport til Danmark i vindstille perioder, at den importerede el skal produceres i udlandet med dertil knyttede udledninger i udlandet. Danmarks eludveksling påvirker således de udenlandske udledninger.

Notatet omhandler effekten på udlandets udledninger

Udledninger fra dansk elproduktion er afrapporteret i Danmarks Klimastatus og – fremskrivning. Dette baggrundsnotat til GA22 forholder sig derfor kun til *udenlandske udledninger* knyttet til ændringer i udenlandsk elproduktion på grund af dansk eludveksling. Evt. udledninger på dansk jord fx i forbindelse med dansk eleksport indgår således ikke, derimod indgår den effekt på udlandets emissioner, som den danske eleksport giver anledning til.

Energierne og Power-to-X strategien indgår ikke i de centrale resultater

I *Klimaaftale for energi og industri* (KEFM, 2020b) indgår etablering af bl.a. to energier, hhv. Energiø Nordsøen og Energiø Bornholm med en samlet elkapacitet på 5 GW i første fase. Energierne anses på nuværende tidspunkt stadig for at være i planlægningsfasen, og der foreligger ikke endelig aftale omkring etablering, hvorfor energierne ikke medregnes i grundforløbet i KF22 (ENS, 2022a) og dermed ikke i nærværende notat. Ligeledes indgår aftalen om *Udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer* (KEFM, 2022) ikke eftersom aftalen blev indgået efter fastsættelse af analysen forudsætninger.

Notatet baserer sig på to forskellige metoder

Gennemsnitsmetoden opgør den samlede effekt eludveksling på udlandets udledninger. Gennemsnitsmetoden er ikke universel, men en beregningsteknisk metode til at afrapportere dansk eludvekslings påvirkning på udlandets udledninger baseret på de gennemsnitlige udledninger i udlandets elproduktion.

Marginalmetoden opgør effekten af en fremtidig ændring i dansk elhandel på udlandets udledninger. Metoden giver ikke en samlet effekt af dansk eludveksling, men ser på effekten af en ændring (fx en mindre forøgelse af dansk elproduktion).

Notatet dækker over status for historiske år, men anvender i tillæg fremskrivningen af elproduktion og –forbrug i KF22, som en indikation på den fremtidige påvirkning af udlandets emissioner knyttet til dansk eludveksling. Der er forskel i hvilke drivhusgasser som indgår i beregninger for hhv. gennemsnitsmetoden og marginalmetoden. De gennemsnitlige resultater opgøres i CO₂-e, hvor resultaterne for marginalmetoden opgøres i CO₂. Notatet gennemgår først analysens hovedresultater, hvorefter der redegøres for metoden. Herefter udfoldes resultater og analyser inden usikkerheder og perspektivering dækkes under afsnittet om kvalificering.

Notat er udarbejdet af Energistyrelsen



2. Hovedresultater

I dette afsnit vil de væsentlige hovedpointer fra 4. *Analyse og resultater* blive fremhævet.

- Danmarks udveksling af el med udlandet estimeres at have medført yderligere udledninger i udlandet på ca. 0,6 mio. ton CO₂e per år i perioden 2018-2020.
- I 2018-2020 har Danmark haft mere elimport end eleksport, og denne nettoimport har svaret til mellem 13 og 24 pct. af det indenlandske elforbrug².
- Fremskrivningen viser, at dansk eleksport stiger i løbet af dette årti, og bliver nettoeksportør, hvor det især er eleksport til Tyskland, der driver udviklingen.
- Fremskrivningen indikerer også, at dansk eludveksling vil reducere udledninger i udlandet – det skyldes bl.a. øget eleksport, og er en ændring fra i dag, hvor eludvekslingen øger udlandets udledninger.
- Danmark importerer hovedsageligt el fra Norge og Sverige og på tidspunkter, hvor deres el hovedsageligt er produceret af vandkraft – både i dag og fremadrettet.
- Danmark eksporterede i 2020 hovedsageligt el til Tyskland og Sverige og på tidspunkter, hvor modtagerlandene har haft en høj andel af vand-, vind- og atomkraft, men også en del elproduktion på kul, gas og olie.
- En øget dansk eleksport estimeres i fremskrivningen – alt andet lige – at medføre reduktion i udlandets emissioner, idet udlandet, især Tyskland, i fremskrivningen forsat gør brug af kul og gas.
- Modsat vil en øget dansk elimport medføre yderligere emissioner i udlandet pga. merproduktion til at dække dansk elforbrug. Udlandets gennemsnitlig emissionsfaktor er dog faldende pga., at elproduktionen bliver stadig mere grøn.

I de efterfølgende afsnit præsenteres hovedresultaterne nærmere.

- Afrapportering af historiske år (2018-2020) skal ses som en beregningsteknisk gennemsnitsbetragtning for, hvordan dansk eludveksling har påvirket de samlede udledninger i udlandet.
- Afrapporteringen for den fremskrevne periode efter 2020 skal anses som et pejlemærke for udviklingen i dansk eludveksling. Det skyldes, at resultaterne er baseret på modelsimulationer med samme forudsætninger som i KF22 frem til 2035.

² Indenlandsk elforbrug opgjort jf. Energistatistik 2020 (ENS, 2020)



2.1 Dansk eludveksling og beregningstekniske emissioner i udlandet

Hovedresultater for de tre historiske år 2018-2020.

I 2020 har det danske elsystem for at dække det danske elforbrug importeret mere el end der er eksporteret. Det kan med udgangspunkt i udlandets gennemsnitlige emissioner beregningsteknisk siges at have medvirket til yderligere emissioner svarende til ca. 0,6 mio. ton CO₂e per år i perioden 2018-2020, jf. tabel 1. Dette nøgletal er på samme niveau som de foregående år.

I 2020 har Danmark haft relativ høj elimport. Nettoelimporten, dvs. årets elimport fratrukket eleksporten, er på ca. 7 TWh, hvilket svarer til ca. 20 pct. af det indenlandske elforbrug. Dog er 2020 et særligt år, da der er tale om overskud i vandreservoirerne pga. en mild vinter og store mængder sne i vinteren 2019/20, hvilket har givet anledning til øget elproduktion på vandkraft i Norge og Sverige, som bl.a. har medført højere dansk elimport. Derudover påvirkede Coronapandemien adfærdsmønstrene, som havde afledte effekter på energimarkedet, hvilket også har haft en indflydelse på eludvekslingen i hele Europa.

Det er derfor relevant at se på flere historiske år. Ses der på nettoelimporten for 2018-2020, har Danmarks nettoelimport dækket mellem 13-22 pct. af det indenlandske elforbrug i de tre år.

Tabel 1 afrapporterer nøgletal for emissioner i udlandet knyttet til dansk eludveksling. Tabellen omfatter også elimport og –eksport (TWh) og udlandets gennemsnitlige emissionsfaktor (g CO₂e/kWh), der danner baggrunden for nøgletallet. Udlandets gennemsnitlige emissionsfaktor opgøres for de timer, hvor Danmark enten eksporterer eller importerer til udlandet. Eleksport vil overordnet reducere udledninger, og elimport øge udlandets udledninger. Positive (negative) netto-emissioner betyder i tabellen øgede (reducerede) udledninger i udlandet. Afsnit 4.1 uddyber tallene yderligere.

Tabel 1: Elimport og eleksport i Danmark samt estimeret effekt på de udenlandske emissioner for historiske år

Nøgletal	Type	2018	2019	2020
Nettoimport TWh	Import af el	6,3	6,3	8,4
	Eksport af el	2,1	1,9	1,3
	Nettoimport	4,2	4,4	7,2
Udlandets gennemsnitlige emissionsfaktor, g CO ₂ e/kWh	Når Danmark importerer	130	115	100
	Når Danmark eksporterer	115	80	175
Nøgletal: Effekt på udlandets emissioner, Mio. ton CO ₂ e	Ved dansk elimport, øget udledning	0,8	0,7	0,9
	Ved dansk eleksport, reduceret udledning	0,2	0,1	0,2
	Netto-emissioner	0,6	0,6	0,6



Kilde: Energistyrelsen. **Anm.:** Nøgletallet for effekten på udlandets emissioner er lig import (eller eksport) x Emissionsfaktor når Danmark importerer (eller eksporterer) = Effekt på emissioner.

Hovedresultater fra fremskrivningsperioden 2021-2035

I fremskrivningen forudsættes det at dansk elproduktion oplever en større relativ procentvis stigning ift. udviklingen i dansk elforbrug frem mod 2030. Den primære årsag er, at flere havvindmølleparker³ forventes at komme i drift inden udgangen af 2030. Dermed øges eleksporten og nettoimporten er faldende. Det betyder, at Danmark i analysen vurderes at bevæge sig fra at være nettoimportør til nettoeksportør i 2030 og 2035 baseret på frozen-policy forudsætningerne i KF22⁴.

Dansk elhandels effekt på udlandets emissioner set henover året estimeres at skifte fra at øge udlandets udledninger til at reducere udlandets udledninger. Dette skyldes den stigende eleksport, men også at Danmark fremover importerer relativt mindre og på tidspunkter, hvor elektriciteten er mere grøn end de tidspunkter, hvor vi eksporterer til udlandet. Det betyder, at den gennemsnitlige emissionsfaktor i udlandet er lavere, når Danmark importerer, relativt til udlandets emissionsfaktor når Danmark eksporterer.

Derudover skal det også bemærkes, at resultaterne indikerer, at dansk eleksport af grøn el fremadrettet ikke vil ske på tidspunkter med lige så meget kul- og gasbaseret el, som det er tilfældet i dag, men gradvist også vil ske på tidspunkter med mere sol- og vindbaseret el. Dette kan indirekte ses ved den faldende gennemsnitlige emissionsfaktor i udlandet ved eksport i tabel 2.

Tabel 2 afrapporterer nøgletal for emissioner i udlandet knyttet til dansk eludveksling. Tabellen omfatter også elimport og –eksport (TWh) og udlandets gennemsnitlige emissionsfaktor (g CO₂e/kWh), der danner baggrunden for nøgletallet. Udlandets gennemsnitlige emissionsfaktor opgøres for de timer, hvor Danmark enten eksporterer eller importerer til udlandet. Eleksport vil overordnet reducere udledninger, og elimport øge udlandets udledninger. Positive (negative) netto-emissioner betyder i tabellen øgede (reducerede) udledninger i udlandet. Afsnit 4.1 uddyber tallene yderligere.

³ Vesterhav Nord og Syd, Thor og Hesselø samt de to yderligere aftalte parker ifm. Finansloven 2022

⁴ Der findes flere detaljer om frozen-policy og forudsætningerne i KF her: (ENS, 2022b)



Tabel 2: Import og eksport af el i Danmark samt estimeret effekt på de udenlandske emissioner for fremskrivningsår

Nøgletal	Type	2025	2030	2035
Nettoimport TWh	Elimport	6,9	7,6	11
	Eleksport	6,8	14,1	12,7
	Nettoimport	0,1	-6,5	-1,7
Udlandets gennemsnitlig emissionsfaktor, g CO ₂ e/kWh	Når Danmark importerer	70	30	35
	Når Danmark eksporterer	90	55	40
Nøgletal: Effekt på udlandets emissioner, Mio. ton CO ₂ e	Ved dansk elimport, øget udledning	0,5	0,2	0,4
	Ved dansk eleksport, reduceret udledning	0,6	0,8	0,5
	Netto-emissioner	-0,1	-0,6	-0,2

Kilde: Energistyrelsen. **Anm.:** Nøgletallet for effekten på udlandets emissioner beregnes grundlæggende ved import (eksport) x gns. emissionsfaktor når Danmark importerer (eksporterer) = Effekt på emissioner. Det skal bemærkes, at fremskrivningen er baseret på frozen policy og at energierne evt. markant udbygning med PtX mv. ikke indgår i beregningen.

2.2 Import og eksport af el fra og til udlandet

Hovedresultater for de tre historiske år 2018-2020.

Danmark importerede hovedsageligt el fra Norge og Sverige, men også en mindre mængde fra Tyskland og Nederlandene i 2020, hvilket ligeledes var tilfældet i de to tidligere år. Samlet set kom omtrent 70 pct. af elimporten fra Norge og Sverige i 2020, hvor den store stigning i elimport overordnet skyldes yderligere import fra Norge sammenlignet med 2019.

Analysen viser også, at dansk eleksport hovedsageligt gik til Tyskland og Sverige i 2020. Det er en ændring ift. de foregående år, hvor Norge og Sverige har været de lande, som Danmark har eksporteret til. Som nævnt pga. overskud i vandreservoirerne har der været mindre behov for dansk el i 2020 sammenlignet med tidligere år. Generelt var der i løbet af 2020 en mindre eleksport til udlandet end de to foregående år, hvilket hovedsageligt skyldes et fald i eleksporten til Norge og Sverige.

Overordnet set har Danmark i 2020 importeret el på tidspunkter, hvor vandkraft er dominerende i de lande, der importeres fra. For eleksporten gælder, at den er sket på tidspunkter, hvor modtagerlandene har haft en høj andel af vand-, vind- og atomkraft. Modtagerlandene har dog også haft elproduktion baseret på kul og naturgas, når vi har eksporteret, hvorfor eksporten isoleret set kan siges at have haft en positiv effekt i udlandet. Afsnit 4.2 uddyber figurer og tal yderligere.



Resultater for den fremskrevne periode 2021-2035.

I fremskrivningsperioden estimeres dansk elimport at fortsætte med at komme fra Norge og Sverige samt en betydelig import fra Storbritannien via den kommende Viking Link-forbindelse og en mindre mængde fra Tyskland og Nederlandene. Primært er elimporten fra de nordiske lande karakteriseret ved tæt på nul-emissioner, hvilket især skyldes vandkraft, hvor elimporten fra Storbritannien i større grad udgøres af bl.a. kul og gas, men en stigende andel vil komme fra vedvarende energikilder frem mod 2035. Størstedelen af elimporten vil komme fra Norge og Sverige, hvilket betyder relativ lave udledninger sammenlignet med elimport fra de resterende lande. Dertil vil en stigende andel af elimporten udgøres af vindkraft.

El fra Danmark bliver i fremskrivningen primært eksporteret til Tyskland, Sverige og Norge i fremskrivningsperioden men på sigt også Storbritannien og Nederlandene. Hvis man tager afsæt i hvilke teknologityper, der er i modtagerlandenes elmiks, når Danmark eksporterer, viser analysen, at der overordnet er vind-, vand- og solkraft i udlandet på tidspunkter, hvor Danmark eksporterer. Der vil dog også, fx i Tyskland, fortsat være el produceret på kul og gas, hvorfor resultaterne indikerer, at eleksport fra Danmark også fremadrettet har en positiv klimaeffekt i udlandet.

Kombinationen af grundlæggende elimport på tidspunkter med vandkraft og eksport til lande som fx Tyskland og Nederlandene medfører, at dansk eludvekslings effekt på længere sigt estimeres til at være aftagende, men have en gavnlig effekt på udlandets emissioner. Årsagen til at effekten aftager trods øget eleksport er, at udlandets klimaambitioner gradvist forøges, hvilket påvirker, hvilke teknologier dansk eleksport fortrænger i fremtiden⁵.

2.3 Effekten ved en yderligere elimport eller –eksport i Danmark

Generelt kan det siges, at analysen af en yderligere dansk eleksport indikerer reduktioner i udlandets emissioner, idet udlandet fortsat forudsættes at gøre brug af kul og gas. Udlandets elproduktion vil dog blive grønnere og grønnere bl.a. pga. nedlukning af konventionelle kraftværker i Europa. Derfor vil yderligere dansk eleksport fortsat reducere udlandets emissioner men med en aftagende effekt i fremtiden.

En yderligere dansk elimport vil medvirke til opjusteringer af udlandets elproduktion og derfor øge emissionerne i udlandet. En yderligere import vil dog dækkes af øget elproduktion i udlandet, der i stigende grad forudsættes at blive mere grøn. Det betyder, at en yderligere dansk elimport fremadrettet fortsat vil give yderligere emissioner i udlandet, men også med en aftagende effekt pga. stigende andel af vedvarende energi i udlandet.

⁵ Se afsnittet om afgrænsninger ift. udlandets betydning for resultaterne i afsnit 5.1



Overordnet giver tabellen indikationer på, hvad yderligere elimport eller –eksport vil betyde for udlandets marginale udledninger. Generelt viser analysen, at øget eksport ved at etablere yderligere sol eller havvind reducerer emissioner i udlandet fra mellem 390-400 g CO₂/kWh til mellem 160-180 g CO₂/kWh for sol og havvind i perioden 2025 til 2035.

Øges det danske elforbrug med 1 TWh årligt, knyttes der til den medførende elimport en udenlandsk marginal emissionsfaktor på 450 g CO₂/kWh faldende til 220 g CO₂/kWh i perioden fra 2025 til 2035. For såvel øget eksport og øget elimport er disse resultater en indikation på, at effekten af ændringer i eludvekslingen vil reduceres set i forhold til i dag

Tabel 3 opgør beregningsteknisk udlandets marginale emissionsfaktor, hvis Danmark enten øger elforbruget (øget import) eller installerer mere sol eller havvind (øget eksport).

Tabel 3: Udlandets gennemsnitlige marginale emissionsfaktor når Danmark hhv. øger elforbrug eller –produktion.

Udlandets gennemsnitlige marginale emissionsfaktor (g CO ₂ /kWh)	2025	2030	2035
Solceller (1 TWh ekstra årlig produktion)	400	240	180
Havvind (1 TWh ekstra årlig produktion)	390	210	160
Øget elforbrug (1 TWh ekstra årlig forbrug)	450	250	220

Kilde: Energistyrelsen. **Anm:** Emissionsfaktoren for hhv. øget elforbrug eller elproduktion (Vind eller sol) har modsatrettede effekt, idet øget elforbrug øger den marginale emissionsfaktor, hvor øget elproduktion reducerer udlandets gennemsnitlige udledninger.

Afsnit 4.3 uddyber tallene og udviklingen yderligere.



3. Metode og antagelser

Eludvekslingen (elimport og -eksport) belyses både for historiske år (2018-2020) og for fremskrivningsår frem til 2035. I GA22 er eludveksling det eneste område, hvor opgørelsen omfatter fremskrivningsår, bl.a. fordi den kan baseres på konsoliderede data fra KF22. Selve metodebeskrivelsen er i det følgende opdelt på historiske år og fremskrivningsår.

Der er ikke overlap med Klimastatus og –fremskrivning

Klimastatus og –fremskrivning opgør årligt emissioner på dansk jord – de såkaldte territoriale udledninger. Eludveksling i GA22 omfatter kun emissioner udledt uden for Danmark men knyttet til dansk eludveksling. Dermed er der ikke overlap mellem KF22 og GA22 inden for opgørelserne af eludveksling. Væsentligt er dog, at opgørelsen for fremskrivningsår i GA22 er baseret på de samme beregninger og forudsætninger, der ligger bag netop KF22, inkl. valget af at energijørerne ikke indgår i beregningen af grundforløbet.

Eludveksling indgår også andre steder i GA22

Emissioner i udlandet knyttet til dansk import, eksport og forbrug behandles i andre dele af GA22. I disse dele beregnes samlede opgørelser over globale emissioner, hvor eludveksling delvist indgår. Nærværende baggrundsnotat har udelukkende fokus på at belyse eludvekslingen, mens det i de andre dele indgår i bredere opgørelser som et delelement. Se afsnit 3.6 for uddybning af overlap til andre dele af GA22.

Analyser er baseret på to metoder

Opgørelsen af de udenlandske udledninger som dansk elforbrug og elproduktion påvirker bliver i dette notat kvantificeret ud fra en gennemsnitsmetode samt en marginalmetode. For begge metoder gælder, at de ikke ser på hvilke anlæg, der producerer i Danmark, men udelukkende fokuserer på hvordan udlandets elproduktion påvirkes.

Samlet set er der tre beregninger bag opgørelsen af de udenlandske udledninger som dansk elforbrug og elproduktion påvirker:

- En for historiske år baseret på statistik og gennemsnitsmetoden
- En for fremskrivningsår baseret på modelberegning og gennemsnitsmetoden
- En for fremskrivningsår baseret på modelberegning og marginalmetoden

Gennemsnitsmetoden lægger sig op af den metode, der benyttes i den øvrige GA22 (se ovenstående omkring overlap), mens marginalmetoden skal ses som en hvad-nu-hvis beregning. Da der i elsystemet ikke kan skelnes mellem elproduktion til hhv. nationalt elforbrug og eksport, er der for fremskrivningsår valgt to forskellige metoder for bedst muligt at belyse effekten af eludveksling.



Gennemsnitsmetoden

I gennemsnitsmetoden regnes der med, at udledningerne per kWh produceret el i et land er ens for både den del der går til indenlandsk forbrug, og den del der eksporteres. Her tages der ikke stilling til hvilke produktionsanlæg, der mere specifikt påvirkes af elhandlen. Gennemsnitsmetoden er således udviklet til at skabe sammenlignelige resultater på tværs af historiske og fremskrivningsår. Den valgte gennemsnitsmetode skal dog ikke ses som en universel metode i forhold til at opgøre udledninger i forhold til elhandel, da der findes andre metoder hertil. Metoden er sammenlignelig med den attributive metode, der i GA22 bl.a. anvendes til forbrugsbaserede opgørelser⁶, men selve beregningerne og grundlaget herfor er væsensforskelligt.

Gennemsnitsmetoden i GA22 kan sammenlignes med Energinets metode i miljødeklarationen for dansk elforbrug, da der i begge tilfælde benyttes en gennemsnitlig emissionsfaktor for de lande, som Danmark udveksler el med. Forskellen er, at i Energinets beregning medregnes elhandel udelukkende, når der er en nettoelimport til Danmark, da fokus er på de emissioner, som er forbundet til dansk elforbrug. Med gennemsnitsmetoden i GA22 regnes der også på de timer, hvor Danmark er netto eksportør, idet formålet er at belyse dansk eludvekslings samlede påvirkning på emissionerne i udlandet.

Gennemsnitsmetoden er mindre god, hvis man skal se på, hvad effekten af danske tiltag vil være i udlandet. Det skyldes at fx øget dansk eleksport i højere grad vil reducere termisk elproduktion (kul- eller gasfyret), end at den vil medføre mindre elproduktion på solceller eller vindmøller på kort sigt⁷. Her vil marginalmetoden, som beskrives nedenfor, i større grad kunne belyse effekten af danske tiltag.

Marginalmetoden

At det på kort sigt i højere grad er termisk produktion, der justeres, kan belyses ved at anvende en marginal metode. Metoden belyser eleksportens effekt på udlandets emissioner fra en anden vinkel end gennemsnitsmetoden (beskrevet ovenfor), idet der ses på en hvad-nu-hvis tilgang. Her beregnes effekten af øget elforbrug eller eleksport fra Danmark på udenlandske udledninger fra elproduktionen. Denne tilgang er væsentlig forskellig fra tilgangen for gennemsnitsmetoden og tilgangen til opgørelse af Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk, hvor der også anvendes en gennemsnitstilgang.

Marginalmetoden ser på den kortsigtede konsekvens af en fremtidig ændring i dansk elforbrug og elproduktion, dvs. metoden belyser klimaeffekten ved en fremtidig ændret produktion på det marginale værk i udlandet. Marginalmetoden

⁶ Både den attributive metode og gennemsnitsmetoden i GA22 anvender et gennemsnit af emissioner for en sektor, der tilskrives til strømme af hhv. penge eller el.

⁷ Ændringer i elhandlen vil alt andet lige medføre ændringer i elpriserne, som på længere sigt enten vil tilskynde til udbygning af VE eller omvendt, og dermed på længere sigt påvirke produktion på VE.



benyttes kun på fremskrivningsår pga. tilgangen og skal ses som en fremadskudende bud på en marginal ændring i forhold til potentielle udviklinger. Marginalmetoden blev også anvendt i sidste års globale afrapportering.

Andre opgørelsesmetoder i forbindelse med eludveksling

Der findes mange metoder til at opgøre betydningen af elhandel. I dansk kontekst er der bl.a. elhandelskorrektion i Energistyrelsens energistatistik (ENS, 2020) og Energinets miljødeklaration (Energinet, 2020) for dansk elforbrug.

Intentionen med elhandelskorrektion i Energistyrelsens energistatistik er at opgøre, "hvad energiforbruget ville have været, hvis den danske elproduktion lige netop havde svaret til elforbruget i Danmark" (ENS, 2016). Beregningen af elhandelskorrektionen baseres på et regulerbart reference anlæg. Brændselsforbruget på referenceanlægget beregnes ud fra et 5-årigt gennemsnit af brændselsforbruget til elproduktion på de anlæg, der antages at ville op- eller nedregulere afhængigt af elhandlen. I dette gennemsnit indgår brændselstyperne kul, olie, naturgas, skovflis og træpiller.

I Energinets miljødeklaration for dansk elforbrug beregnes en emissionsfaktor (i g CO₂e/kWh-el) for hver emissionstype, herunder metan, NO_x m.fl. I de timer hvor dansk elproduktion overstiger dansk elforbrug er det kun dansk elproduktion der indgår i emissionsberegningerne, mens der i de timer med nettoelimport tages højde for produktionen i de lande Danmark importerer fra (Energinet, 2021). I den forbindelse beregner Energinet en emissionsfaktor for hvert naboland, som Danmark har direkte elhandel med for hver time. Emissionsfaktoren i Energinets miljødeklaration er baseret på et simpelt gennemsnit for produktionen i det givne land på timebasis, dvs. summen af de elproduktionsrelaterede udledninger delt med den samlede elproduktion.

Der tages ikke højde for effekten på og fra kvotemarkedet

Der er ikke taget højde for, hvilken effekt kvotemarkedet har på en mérproduktion/fortrængning af elproduktion i udlandet. Der vurderes dog ikke at være en effekt af kvotemarkedet frem til og med 2023. Efter 2023 er det usikkert, hvordan kvotemarkedet vil blive reguleret og dermed også, hvordan der bedst tages højde for kvotemarkedet i analyser som den udført ifm. GA22⁸.

3.1 Metodebeskrivelse – historiske år

Til at belyse den globale klimaeffekt af eleksport fra Danmark i historiske år (2018-2020) anvendes gennemsnitstilgangen til opgørelsen. Gennemsnitsmetoden tager udgangspunkt i, at udlandet øger eller mindsker sine udledninger fra elproduktionen, når Danmark hhv. importerer og eksporterer.

⁸ Se afsnit 5.1 Usikkerheder for yderligere forklaring



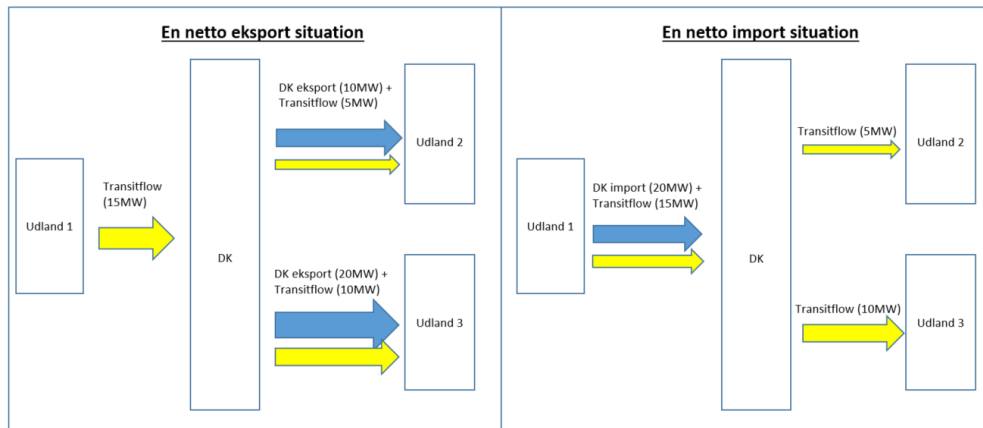
Klimaeffekten i historiske år beregnes på basis af Energinets beregninger i forbindelse med deres beregning af miljødeklaration for elforbrug i Danmark. Metoden til at beregne klimaeffekten af dansk eleksport antager, at den el, der eksporteres, fortrænger elproduktion i importlandet med en emissionsfaktor svarende til importlandets gennemsnitlige emissionsfaktor i den givne time. Klimaeffekten af dansk elimport beregnes ligeledes ud fra eksportlandenes emissionsfaktor i de timer, Danmark importerer el.

Gennemsnitsmetoden afspejler ikke de kortsigtede effekter af, hvad der ville være sket i udlandet, hvis der ikke var nogen handel med Danmark. I et sådant tilfælde ville det være mere metodisk fyldestgørende med marginalmetoden, hvor det udelukkende ville være de marginale værker, der indgik i beregningen. Det skyldes, at på kort sigt er f.eks. vindmøller og solcellers produktion i høj grad uafhængige af forbruget, herunder elhandlen, mens andre anlæg som gasturbiner og vandkraft især reguleres for at balancere forbrug og produktion.

Transitflow

Der tages højde for, at en del af eltransmissionen er transitflow ved bestemmelse af hvor meget elimport eller eleksport, der er i Danmark i en given time. Det vil sige, at en del af den el, der importeres til Danmark, samtidigt eksporteres til et andet land. Der ses bort fra transitflow i beregningerne, dvs. at el, der inden for den samme time både importeres og eksporteres til/fra Danmark, ikke indregnes som en del af import og eksport af el (se Figur 2). På den måde regnes Danmark som værende enten nettoeleksportør eller nettoelimportør i hver time. I de timer, hvor Danmark er nettoeleksportør, beregnes der en fortrængning af udledninger i de lande, der importerer fra Danmark, og i de timer, hvor Danmark er nettoelimportør, regnes der en øget udledning i de lande, der eksporterer til Danmark.

Figur 2: Illustration af metoden for opgørelse af transitflow. De gule pile illustrer transitflow (indgår ikke), mens de blå netto eksport/import (er grundlag for beregning). Til venstre illustreres en tænkt situation, hvor Danmark har en nettoeksport på 30 MW (10 MW til Udland 2 og 20 MW til Udland 3). Til højre illustreres en tænkt situation, hvor Danmark har en nettoimport på 20 MW fra Udland 1.



Kilde: Energistyrelsen

3.2 Metodebeskrivelse – fremskrivningsår

Både gennemsnits- og marginalmetoden anvendes til at belyse den globale klimaeffekt af elhandlen fra Danmark i fremtiden.

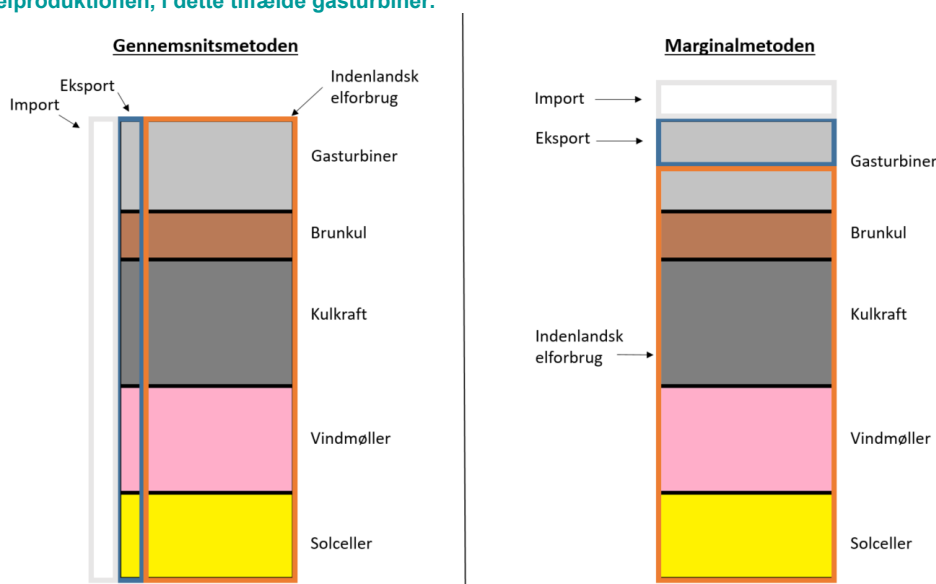
Gennemsnitsmetoden giver et overordnet billede af det klimaaftryk, dansk elhandel forårsager. Den gennemsnitlige tilgang er også velegnet til at sammenligne med den historiske opgørelse, der jf. afsnit 3.1 også anvender en gennemsnitstilgang. Gennemsnitsmetoden indebærer, at der ligesom for historiske år beregnes en emissionsfaktor for hvert af de områder, som Danmark har en direkte elhandel med. Emissionsfaktoren og eludvekslingen beregnes ud fra de samme forudsætninger, som ligger til grund for KF22. Der er således ikke udviklet nye fremskrivninger eller scenarier specifikt til brug for GA22. KF22 indeholder elproduktion og brændselsforbrug for hver time i Danmark og i hvert af Danmarks nabolande, samt eludvekslingen fra og til disse, og indeholder dermed det nødvendige datagrundlag.

Marginalmetoden tager udgangspunkt i referenceberegningen (grundforløbet i KF22). Med udgangspunkt i referenceberegningen laves yderligere beregninger, hvor der ændres på dansk VE produktion eller dansk elforbrug. Ved at beregne på forskellen mellem referencen og alternativet estimerer man groft, hvad de kortsigtede konsekvenser af ændret udbygning med dansk vedvarende energi eller ændring i dansk elforbrug vil betyde for udledningerne i udlandet. Hermed fås et billede af de effekter, ændringer i dansk elproduktion eller elforbrug påvirker klimaaftrykket fra elproduktion i udlandet.

Dette gør den marginale tilgang mere velegnet til at belyse de klimamæssige konsekvenser af tiltag, der enten ændrer dansk elforbrug (fx flere elbiler, mere PtX eller øget energibesparelsesindsats) eller øger dansk elproduktion (fx ved en øget udbygning solceller). Referencen i den marginale beregning er fremskrivningen fra KF22.

I den valgte marginale tilgang ses der på, hvordan øget eller mindsket dansk eksport forskyder elproduktionen i udlandet i forhold til KF22. Den marginale metode belyser den kortsigtede marginal, dvs. forskydninger i produktionen på den givne produktionskapacitet i udlandet, og ikke på hvordan øget eller mindsket eksport påvirker investeringsbeslutningerne i udlandet som følge af lavere eller højere elpriser.

Figur 3: Illustration af henholdsvis gennemsnitsmetoden og marginalmetoden. Søjlerne repræsenterer en given produktion i et naboland til Danmark. "Eksport" betegner landets eksport til Danmark, som i gennemsnitsmetoden regnes som et gennemsnit af den samlede produktion. I marginalmetoden er eksporten repræsenteret som den stigning i den marginale elproduktionen, i dette tilfælde gasturbiner.



Kilde: Energistyrelsen

3.3 Værktøjer/modeller

Fremskrivningen af den samlede el- og fjernvarmeproduktion finder sted i Ramses. Ramses er en teknisk-økonomisk model udviklet i Energistyrelsen, der beregner den fremtidige produktion af el og fjernvarme i et vilkårligt antal elområder og varmeområder.

På nuværende tidspunkt omfatter modellen det meste af Europa i form af 23 lande fordelt på 18 elprisområder: Danmark (to prisområder), Norge, Sverige, Finland,



Tyskland-Luxembourg, Østrig, Nederlandene, de britiske øer, Frankrig, Belgien, Spanien-Portugal, Schweiz, Italien, Baltikum (Estland-Letland-Litauen), Polen, Tjekkiet-Slovakiet samt Ungarn.

Ramses er en lineær optimeringsmodel, der kan beregne elproduktion, varmeproduktion, brændselsforbrug, emissioner m.m. for et meget stort antal på forhånd givne værker på timebasis. Da modellen primært er beregnet til analyser af effekter i Danmark, er de danske værker p.t. beskrevet mere detaljeret end værkerne i udlandet. Modellen beregner desuden en række systemresultater, bl.a. estimeres spotprisen for el, fordelt på prisområderne, og eludvekslingen mellem prisområder. Antagelserne i forbindelse med KF22 er beskrevet i ENS (2022a).

3.4 Overordnede forudsætninger og afgrænsninger:

I beregningerne for emissionerne fra elproduktion medtages udelukkende de direkte emissioner ved elproduktion. Det skal forstås som emissionerne fra forbrænding af fossile brændsler i elproduktion og ikke emissionerne til opførelse af elproducerende anlæg eller andre indirekte emissioner som fra fx transport af brændsler og udledninger ved drift og vedligehold.

Gennemsnitsmetoden

I gennemsnitsmetoden antages det, at dansk elhandel udelukkende påvirker emissionerne i de lande, Danmark har en direkte eludveksling med (dvs. Norge, Sverige, Tyskland og Nederlandene samt Storbritannien efter Viking link bliver taget i drift). I virkeligheden betyder eleksport til fx Tyskland, at Tysklands eleksport til fx Frankrig påvirkes, og igen Frankrigs eleksport til Spanien osv. Med andre ord er det europæiske elsystem af sådan en karakter, at dansk elhandel har betydning for hele det europæiske elsystem. Med udgangspunkt i Energinets beregninger af emissionsfaktorer til miljødeklarationen for dansk elforbrug er der valgt en tilgang, hvor der udelukkende ses på emissionerne i de lande, som er direkte forbundet med Danmark.

Marginalmetoden

I marginalmetoden antages det, at dansk elhandel påvirker emissionerne i de lande, der indgår i modellen Ramses (se afsnit 3.3).

I marginalmetoden regnes der med, at elproduktionskapaciteten i udlandet udvikler sig over tid, jf. KF22, men at udviklingen sker på den samme måde i alle beregninger uanset variationerne i den danske eleksport. Hvis dansk eleksport øges markant, kan det have en effekt på eksempelvis tempoet i kuludfasning i det kontinentale elsystem. Det kan ligeledes medføre at en planlagt udbygning med vedvarede energi bliver udskudt. Sådanne effekter er ikke inkluderet.



Metoden er dermed afgrænset til at se på effekten på driftsmønstrene for elproduktionsanlæggene i udlandet, dvs. uden hensyntagen til yderligere afledte effekter, herunder betydningen for udbygningen med vedvarende energi og udfasningen af eksisterende anlæg i udlandet. En øget dansk elimport kan fx medføre en større udbygning af vedvarende energi samt langsommere kuludfasning i udlandet. Omvendt kan en øget dansk eleksport fx medføre en langsommere udbygning af vedvarende energi samt hurtigere udfasning af fossile brændsler i udlandet. Dertil er der heller ikke taget højde for, at en stigning i elforbrug som følge af udbygning med Power-to-X teknologier kan give en afledt effekt i form af sparet brændstof andetsteds i energisystemet.

3.5 Primære datakilder:

I forhold til beregningerne i de historiske år er datakilderne Energinets beregninger af emissionsfaktorer for Norge, Sverige, Tyskland og Nederlandene, samt statistik for eludvekslingen fra Energinets Energidataservice (Energinet, 2022a).

De anvendte resultater fra Energinet er et datasæt bestående af udledningsfaktorer i g/kWh for hhv. CO₂, SO₂, NO_x, NMVOC⁹, CH₄, CO, N₂O, partikler, flyveaske og slagger. Alle emissionsfaktorer er udregnet to gange, med henholdsvis 125% metoden og 200% metoden for fordelingen mellem el- og fjernvarmeproduktion¹⁰. Disse udledningsfaktorer er opgjort per time per land og per produktionstype. De produktionstyper der er opgjort er:

- Affald
- Anden VE
- Atomkraft
- Brunkul
- Fuelolie
- Kul
- Naturgas
- Havvind
- Landvind
- Træ mm.
- Vandkraft

For hver produktionstype er der også angivet hvor stor andel af den samlede elproduktion i den givne time, typen udgjorde af elproduktionen i det givne land.

⁹ non-metan flygtige organiske forbindelser

¹⁰ Når brændselsforbruget og udledninger fra kraftvarmeværker skal opgøres på hhv. el- og fjernvarmeproduktion, er en gængs metode at antage en virkningsgrad for varmeproduktionen for dermed at beregne hvor meget af brændslet der tilskrives fjernvarmeproduktionen, mens det resterende brændselsforbrug tilkendes elproduktionen. 125% metoden betyder at man regner med en virkningsgrad for varmeproduktionen på 125%. I Energistyrelsens beregninger til GA22 benyttes 125%-metoden.



Fra Energidataservice er datasættet "transmissionlines" tilgængeligt, som bl.a. indeholder den mængde el, som er blevet udvekslet på hver af de danske udlandsforbindelser for hver time.

I forhold til beregningerne på fremskrivningen (for både gennemsnits- og marginalbetragtningen) er datakilden fremskrivningen fra KF, som igen bygger på en lang række datakilder for elproduktionskapaciteter, handelskapaciteter, VE-produktion og elforbrug, herunder evt. energigør. Primært bygger fremskrivningerne for elproduktionskapaciteter, handelskapaciteter, VE-produktion og elforbrug i udlandet på TYNDP20 scenarieret "National Trends" fra ENTSO-E (ENS, 2022c).

3.6 Overlap med andre dele af GA22

I GA22 er Danmarks forbrugsbaserede klimaaftrek opgjort (se baggrundsnotatet *Forbrug*). Det forbrugsbaserede klimaaftrek inkluderer både danskproducerede varer forbrugt i Danmark og importerede varer forbrugt i Danmark. Elektricitet indgår blandt de varer, som er opgjort i det forbrugsbaserede klimaaftrek. Der er dermed for historiske år et vist overlap mellem opgørelserne i nærværende baggrundsnotat om eludveksling og det forbrugsbaserede klimaaftrek, da opgørelserne begge steder inkluderer klimaaftrekket for importeret elektricitet.

Der er dog en væsentlig forskel på opgørelsesmetoderne. Det forbrugsbaserede klimaaftrek inkluderer en bred vifte af forskelligartede varer og er udregnet på basis af emissioner per kr. ud fra en koblet Input-Output-model (IO-model). Den koblede IO-model anvender en top-down tilgang, hvor det forbrugsbaserede klimaaftrek beregnes med udgangspunkt i danske og internationale økonomiske transaktioner. Klimaaftrekket beregnes dermed ud fra værdien af varer og ydelser og ikke ud fra mængden af varer og ydelser.

I nærværende notat er grundlaget en bottom-up analyse baseret på historiske data for timeværdier for den specifikke fysiske elhandel og elproduktion. Dette baggrundsnotat udfolder derfor mere detaljeret klimaeffekten i udlandet ved dansk eludveksling sammenlignet med både det forbrugsbaserede klimaaftrek (hvor det kun indgår som en mindre del) og den del af GA22 der omfatter import (se baggrundsnotatet *Import*), som er opgjort på samme måde som klimaaftrekket.

Det gælder for dansk eleksport, at det ikke karakteriseres som dansk elforbrug, og fratrækkes derfor det forbrugsbaserede klimaaftrek ligesom andre eksporterede varer. Eleksport indgår derimod som et delelement i den del af GA22, der omhandler eksport (se baggrundsnotatet *Eksport*), men der er ikke overlap til resultaterne i nærværende baggrundsnotat. Det skyldes, at hvor eksport i GA22 dækker klimaaftrekket af eksport, herunder el, *indtil* det krydser den danske grænse, så belyser nærværende baggrundsnotat klimapåvirkningen i udlandet *efter* eleksporten har krydset den danske grænse.



4. Resultater og analyse

El er en vare, der af natur kræver, at produktion og forbrug balanceres time for time. For Danmark er eludveksling med udlandet afgørende ift. at sikre denne balance. Danmark forventes i de kommende år i stigende omfang at eksportere el baseret på vedvarende energi til en række lande i Europa. En øget eleksport fra fx havvind i Danmark kan alt andet lige medføre en tilsvarende reduktion i produktionen på udenlandske elproduktionsanlæg for at sikre balancen.

Eludveksling med udlandet har en klimaeffekt, fordi den påvirker elproduktionen i landene omkring os. Formålet med dette afsnit er at belyse disse effekter bredere, end det gøres ved opgørelse af Danmarks forbrugsbaserede klimaaftryk (baggrundsnotat *Forbrug*), hvor der alene fokuseres på effekten af den el, der forbruges i Danmark.

Afsnittet udfolder hovedresultater der indgår i afsnit 2, og er opdelt i hhv. eludveksling og emissioner, import og eksport og effekten af yderligere dansk eleksport. Dertil indeholder afsnittet en række yderligere elementer: Sammenligning med sidste års globale afrapportering, sammenligning mellem gennemsnitsmetoden og marginalmetoden, en beskrivelse af Danmarks indsatser samt belyser energigørernes betydning.

4.1 Dansk eludveksling og beregningstekniske emissioner i udlandet

Dette afsnit udfolder hovedresultaterne fra afsnit 2.1: Estimerede emissioner i udlandet i relation til 1) dansk elhandel, 2) elimport til Danmark og 3) eleksport fra Danmark. Resultater for emissioner er baseret på gennemsnitsmetoden beskrevet i afsnit 3 og tager dermed udgangspunkt i et beregningsteknisk nøgletal i mio. ton CO_{2e} baseret på udlandets udledninger på tidspunkter med elhandel med Danmark. Nøgletallet siger noget om udlandets udledninger knyttet til Danmarks eleksport og elimport.

Ved elimport til Danmark vil der være en negativ effekt i udlandet – alt andet lige – fordi den el, Danmark importerer, skal produceres i udlandet med dertilhørende udledninger. Ved eleksport er effekten modsat, fordi udlandet kan undlade at producere den el, som Danmark eksporterer. I analysen estimeres udledninger baseret på timeniveau. Når effekten henover et år opsummeres fås nettoemissionen:

$$\begin{aligned} & \textit{Emissioner ved dansk import} - \textit{Emissioner ved dansk eksport} \\ & = \textit{nettoemission} \end{aligned}$$



Næsten upåvirkede emissioner i 2020 trods øget nettoimport

Dansk nettoimport¹¹ af el er estimeret til at have en effekt på udlandets emissioner svarende til 0,6 mio. ton CO₂e. Det er stort set uændret set ift. de foregående års estimerede effekt på emissionerne. Lægges import og eksport sammen har det danske elsystem i de seneste historiske år haft mere elimport end eleksport, hvilket også er afspejlet i kolonnen nettoemissioner i tabel 4. Det har betydet, at dansk elforbrug har medvirket til en stigning i elproduktionen i udlandet pga. import til at dække det danske elforbrug og dermed medvirket til øgede udledninger i udlandet.

Tabel 4: Elimport og eleksport i Danmark samt estimerede emissioner for historiske år

Nøgletal	Type	2018	2019	2020
Nettoimport TWh	Import af el	6,3	6,3	8,4
	Eksport af el	2,1	1,9	1,3
	Nettoimport	4,2	4,4	7,2
Udlandets gennemsnitlige emissionsfaktor, g CO ₂ e/kWh	Når Danmark importerer	130	115	100
	Når Danmark eksporterer	115	80	175
Nøgletal: Effekt på udlandets emissioner, Mio. ton CO ₂ e	Ved dansk elimport, øget udledning	0,8	0,7	0,9
	Ved dansk eleksport, reduceret udledning	0,2	0,2	0,2
	Netto-emissioner	0,6	0,6	0,6

Kilde: Energistyrelsen.

Danmark importerede større mængder el i 2020 end foregående år for at dække det indenlandske elforbrug. På trods af dette var der tæt ved uændret påvirkning på udlandets samlede udledninger, da nøgletallet for effekten på emissionerne i alle tre år er estimeret til ligge på et niveau omkring 0,6 mio. ton CO₂e.

Forklaringen ligger i, at der er forskel på hvor meget én kWh estimeres til at udlede på tværs af landegrænser, sæson og tidspunkt. Det tager nøgletallet højde for:

Import i 2020: Danmark importererede i 2020 ca. 33 pct. mere el fra udlandet end i 2018 og 2019, men de dertil knyttede emissioner i udlandets elproduktion er næsten konstante (se 3. sidste række i tabel 3). Det skyldes bl.a., at udlandets gennemsnitsemmissioner på tidspunktet for dansk elimport i 2020 i større grad bestod af vedvarende energi og dermed var karakteriseret ved en lavere emissionsfaktor end i de to foregående år (se 4. række i tabel 4).

Eksport i 2020: I denne opgørelse vil eleksport fra Danmark betyde en positiv klimapåvirkning i udlandet, idet deres emissioner til elproduktion reduceres.

¹¹ Nettoimport er import til Danmark minus eksport til udlandet og giver således et samlet tal for både import og eksport og hvis det er større end nul er importen større end eksporten.



Resultaterne indikerer, at dansk eleksport beregningsteknisk har medvirket til at reducere udlandets emissioner med 0,2 mio. ton CO_{2e} i 2020, hvilket sammenlignet med foregående år er højere eller på samme niveau. Det er på trods af, at det danske elsystem havde en betydelig mindre eleksport til udlandet end i 2018 og 2019 og dermed fortrængte mindre udenlandsk elproduktion. Det skyldes, at eleksport fra Danmark i 2020 i større grad er sket i timer, hvor elproduktionen i udlandet har været baseret på fossile brændsler, hvorfor effekten på udlandets emissioner kan siges at være på samme niveau trods mindre reduktion i udlandets elproduktion. Det giver en højere emissionsfaktor på den fortrængte udenlandske elproduktion.

Danmark var nettoimportør af el i 2020

Der bliver i dag sendt mere el til Danmark for at dække elforbruget, end der bliver sendt til udlandet. I de to foregående år har det danske elsystem dermed været nettoimportør af el, hvilket også er tilfældet i 2020. I tabel 4 afrapporteres dansk elimport og -eksport i perioden 2018-2020 samt beregnede udenlandske emissioner på baggrund af eludvekslingen i de respektive år.

I tabellen ses det blandt andet, at det danske elsystem havde en nettoimport på over 7 TWh i 2020. Det er en stigning på mere end 60 pct. sammenlignet med året før. Det skyldes hovedsageligt, at der blev importeret en væsentlig større mængde el fra udlandet (2,1 TWh) og et mindre fald i eksport (0,6 TWh). Det resulterede i en stigning i nettoimport fra 4,4 TWh i 2019 til 7,2 TWh i 2020. Til sammenligning var Danmarks indenlandske elforsyning i 2020 ca. 35 TWh. Uagtet relative større nettoimport var effekten af den yderligere elimport begrænset set ift. påvirkningen på udlandets emissioner.

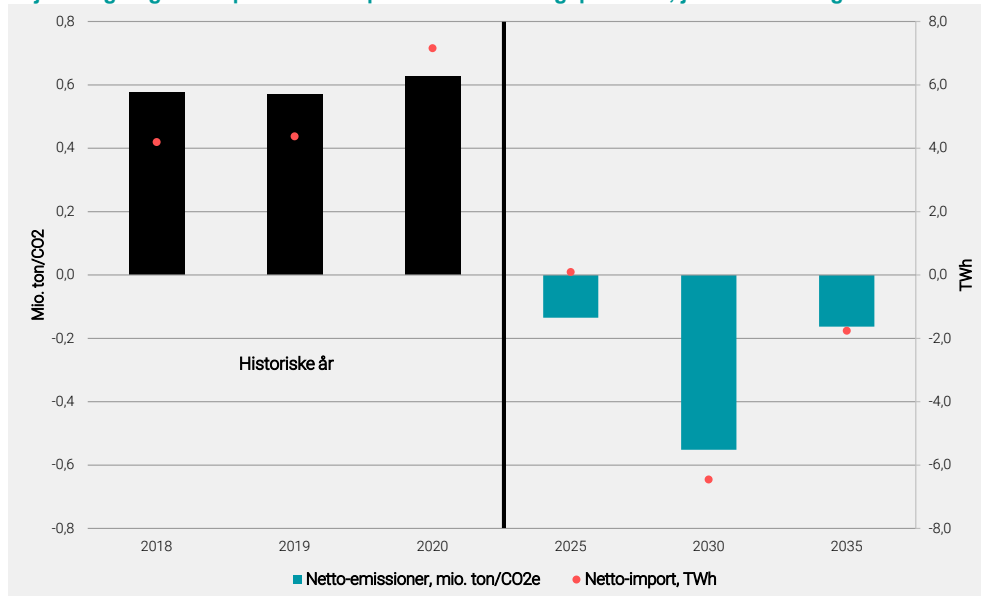
Den store stigning skal ses i lyset af, at 2020 var et såkaldt vådår. Et vådår er et år med 10 pct. mere nedbør end normalt. Det betyder lavere elpriser fordi det er billigt at producere el på vandkraft i Norge og Sverige, hvilket igen betyder at det er en god forretning at øge importen af el til Danmark, da vi ikke har nævneværdig elproduktion på vandkraft.

Kommende år: Skift til nettoeksport af el og skift til positiv effekt i udlandet

Danmark importerer i dag mere el, end der eksporteres. Resultaterne indikerer, at Danmark skifter til at blive nettoeksportør, hvilket kan ses i figur 4 ved at nettoimporten bliver negativ i fremskrivningsårene. Det betyder, at Danmark trækker mindre på udlandets elproduktion for at dække det danske elforbrug, end vi reducerer udlandets elproduktion pga. eksport af danskproduceret el.

En af årsagerne er, at flere havvindmølleparker¹² forventes at komme i drift inden udgangen af 2030. De planlagte energigør indgår ikke, idet de ikke er en del af grundforløbet i KF22, som fremskrivningen baserer sig på.

Figur 4: Nettoemissioner og nettoimport (elimport fratrukket eleksport) for historiske og fremskrivningsår. Årsagen til faldet mellem historiske år og fremskrivningsår er en relativ højere stigning i eleksport end elimport i fremskrivningsperioden, jf. forudsætningerne. KF22.



Kilde: Energistyrelsen.

For de fremskrevne år skal det bemærkes, at resultaterne indikerer at dansk eludveksling medfører reducerede udledninger i udlandet på trods af, at Danmark i 2025 har en lille nettoimport af el (0,1 TWh jf. tabel 2 i afsnit 2.1). Dette virker umiddelbart kontraintuitivt, men skyldes, at elimporten i vid udstrækning vil ske fra Norge og Sverige på tidspunkter, hvor det er norske og svenske vandkraftanlæg, som producerer el. Elimporten fra Storbritannien vil delvist bestå af fossil og vedvarende energi viser resultaterne, hvor fossil energi vil stå for den største del, men andelen af vedvarende energi vil stige frem mod 2035. Modsat vil en del af Danmarks eleksport i disse år strømme til Tyskland¹³ og Nederlandene. Det forventes at ske på tidspunkter, hvor der også er en andel af kul, olie og gas i elproduktionen i de respektive lande. Derfor kan Danmark rent beregningsteknisk over et år importere mere el, end vi eksporterer, men stadig reducere emissioner i udlandet.

4.2 Elimport og -eksport i Danmark – samspil med udlandet

Afstemningen af elproduktion og -forbrug foregår på det nordeuropæiske elmarked. Danmarks vigtigste elhandelspartnere er Tyskland, Norge og Sverige. Norges og

¹² Vesterhav Nord og Syd, Thor og Hesselø samt de to yderligere aftalte parker ifm. Finansloven 2022

¹³ Det skal bemærkes, at resultaterne ikke tager højde for nedregulering af dansk elproduktion pga. interne flaskehalse i Tyskland. Se evt. 5.1 Usikkerheder for uddybning



Sveriges elsystemer har en høj andel af vandkraft, som fungerer som ellager. Ellagrene fungerer således, at produktionen kan udskydes, og vandet gemmes til elproduktion, når der er højere efterspørgsel på el, og elprisen dermed er høj. Det vil den fx være i perioder med lav vindkraftproduktion.

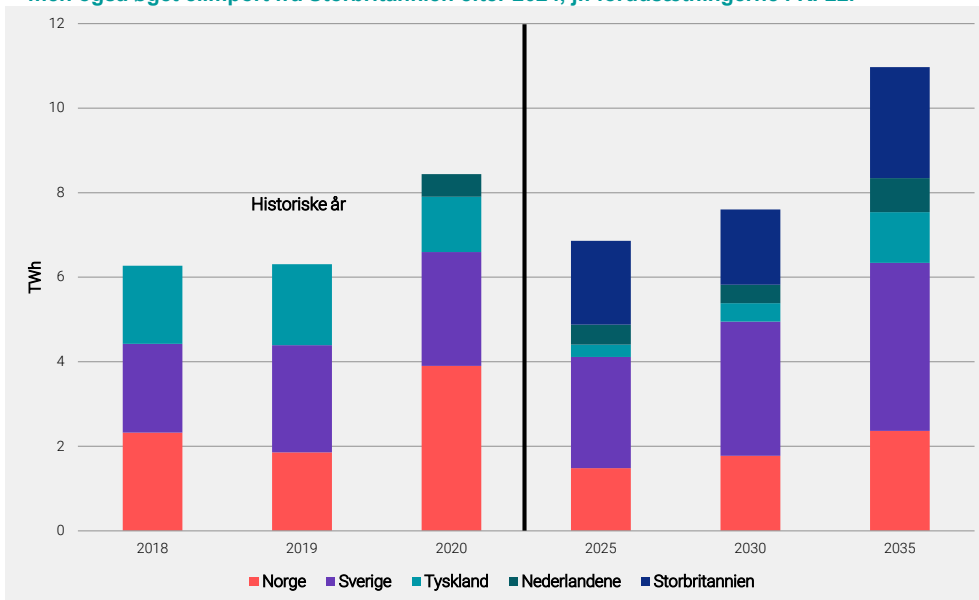
Dette afsnit udfolder hovedresultaterne fra afsnit 2.2: Dansk elimport og eleksport for at balancere Danmarks elforbrug og produktion. I sidste afsnit viste resultaterne for fremskrivningsårene at Danmark skifter til at blive nettoeksportør af el i indeværende årti. I nærværende afsnit udfoldes hhv. elimport og eleksport for at give et billede af elementerne i udviklingen fra nettoimportør til –eksportør, som resultaterne indikerer Danmark vil gennemgå. Resultaterne i dette afsnit er baseret på gennemsnitsmetoden både for fremskrevne og historiske år.

Danmark får mest el fra Norge og Sverige – og fremadrettet også fra Storbritannien

I de historiske år (2018-2020) har det danske elsystem importeret mere el for at dække det danske elforbrug, end der er blevet eksporteret. Det har betydet, at dansk elforbrug har medvirket til en stigning i elproduktionen i udlandet og dermed haft indflydelse på udlandets elproduktion og udledninger.

Elimporten kom hovedsageligt fra Norge og Sverige, men også Tyskland og Nederlandene i 2020. Tæt på 80 pct. af elimporten kom fra Norge og Sverige i 2020. Det er især den øgede elimport fra Norge, som har medført at dansk elimport er steget sammenlignet med de to foregående år, hvilket kan ses i figur 5. Der var flere vandressourcer nordpå i 2020 pga. vådår, hvorfor det var muligt for Danmark at importere større mængder billig el fra Norge og Sverige sammenlignet med tidligere år.

Figur 5: Dansk elimport fordelt på lande baseret på elmikset i udlandet på de tidspunkter hvor vi importerer. En stor del af dansk elimport vil fortsat komme fra Sverige og Norge, men også øget elimport fra Storbritannien efter 2024, jf. forudsætningerne i KF22.



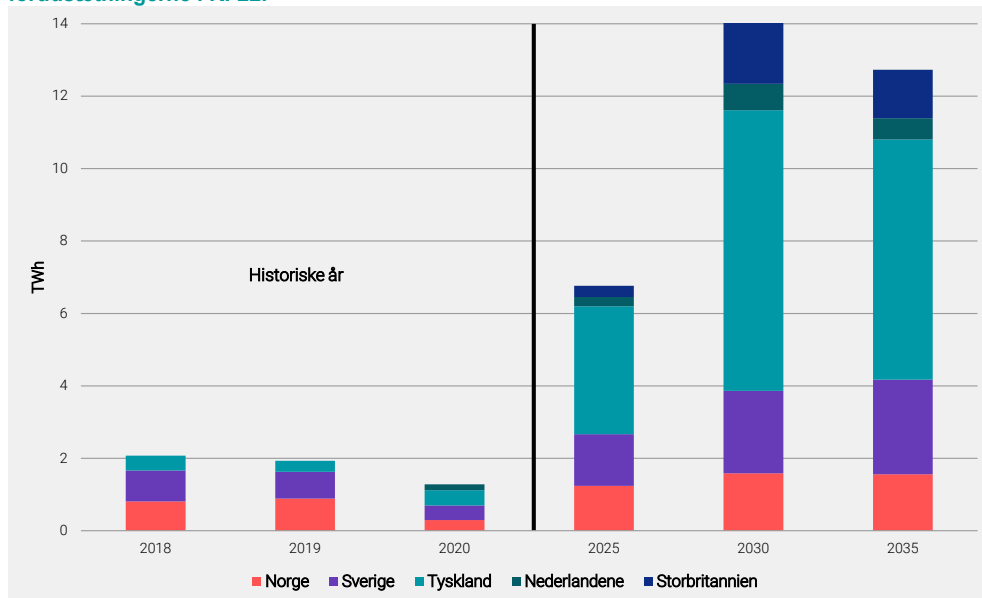
Kilde: Energistyrelsen

I fremskrivningsperioden 2021-2035 viser resultaterne, at Danmark fortsat vil importere meget el fra Norge og Sverige. De to nabolande, Norge og Sverige, vil gennemsnitligt stå for over 60 pct. af dansk elimport i perioden, som dog hovedsageligt består af vedvarende energi, og derfor ikke resulterer i yderligere udledninger. Derudover vil der forekomme elimport fra Storbritannien via en ny udlandsforbindelse til Storbritannien, der forventes etableret primo 2024. Der vil også importeres el fra Tyskland og Nederlandene, men det vil kun udgøre en mindre del af dansk elimport.

Danmark eksporterede mindre el til udlandet i 2020 – stor stigning i kommende år

Det danske elsystem eksporterer hvert år el til udlandet, hvilket betyder en reduktion i udenlandske emissioner. Der er sendt el til Norge, Sverige og Tyskland i 2020 som i de to foregående år, selvom der også blev importeret endnu mere el samlet set fra disse lande. Den danske elproduktion resulterede i en eksport på 1,3 TWh til udlandet i 2020. Sammenlignet med årene før betyder det, at eleksporten faldt med 0,6 TWh i 2020, hvilket skyldes en væsentlig mindre eleksport til det norske elsystem. Overskuddet i vandressourcerne i 2020 har haft indflydelse på, at Norge i mindre grad har haft brug for el fra dansk elproduktion.

Figur 6: Dansk eleksport fordelt på lande baseret på elmikset i udlandet på de tidspunkter hvor vi eksporterer. En stor del af dansk eleksport vil i stigende grad eksporteres til Tyskland, jf. forudsætningerne i KF22.



Kilde: Energistyrelsen.

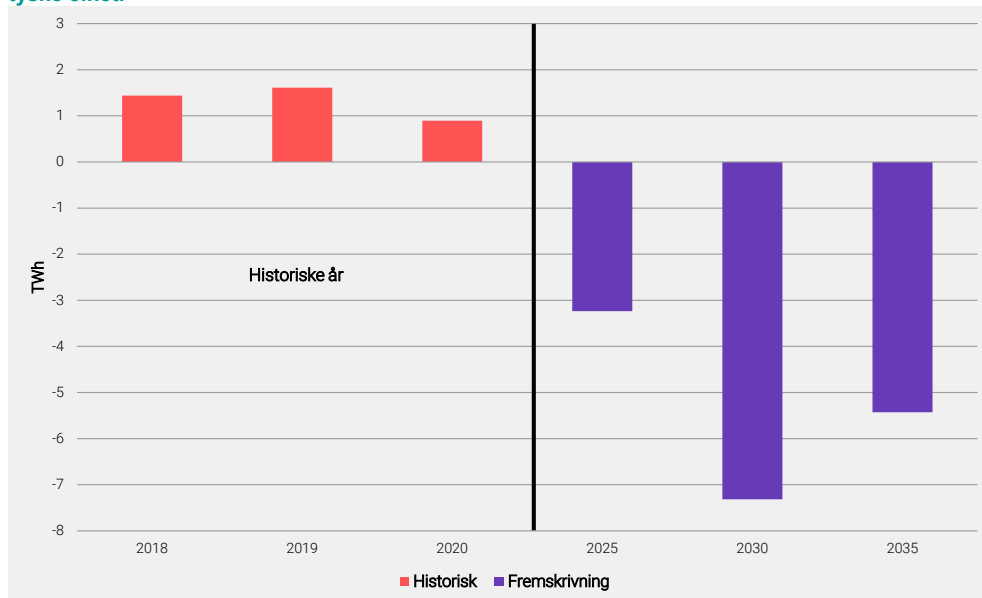
I fremskrivningsperioden (2021-2035) begynder Danmark at eksportere større mængder el til udlandet. Generelt kan det ses i figur 6, at der på baggrund af forudsætningerne KF22 estimeres mere end en seksdobling af dansk eleksport frem mod 2025 og betydelig stigning frem mod 2030 sammenlignet med 2020, hvorefter niveauet falder igen frem mod 2035. Den store stigning frem mod 2030 hænger bl.a. sammen med, at flere havvindmølleparker formodes at komme i drift i løbet af 2020'erne.

Ligesom det var tilfældet i de historiske år, vil der fortsat eksporteres el til Danmark nabolande. Det er dog især Tyskland, hvor dansk elproduktion eksporteres hen i løbet af 2020'erne, idet omkring 50 pct. af dansk elimport sendes til Tyskland i fremskrivningsperioden.

Tyskland formodes at gå fra primært at eksportere til Danmark til at importere

Som nævnt ovenfor spiller Tyskland en stor rolle i resultaterne for eksporten i de kommende år. I de tre seneste år har Danmark nettoimporteret el fra Tyskland, men dette billede vil ifølge analysen i fremtiden være omvendt. I figur 7 kan det ses, at dansk eludveksling går fra at være nettoimportør på det tyske elmarked til nettoeksportør i 2025. Denne udvikling formodes at blive forstærket frem mod 2030, hvor eksporten til især Tyskland stiger, idet elforbruget i Tyskland stiger mere end Tysklands elproduktion (baseret på forudsætningerne i KF22).

Figur 7: Historisk har vi importeret mere el fra Tyskland end vi har eksporteret. Det billede ændrer sig i løbet af 2020'erne, hvor Danmark vil eksportere mere el end vi importerer til det tyske elnet.



Kilde: Energistyrelsen.

Det skal bemærkes, at danske vindmøller i et vist omfang er blevet nedreguleret de seneste par år. Danmark eksporterede ca. 3 TWh (Energinet, 2022b) færre til Tyskland i 2020 end muligt pga. specialregulering af vindenergi for at løse udfordringer med flaskehalse i det tyske interne elnet¹⁴. Hvis den nedregulerede el var eksporteret til Tyskland kunne det teoretisk have resulteret i større eksport og færre emissioner i udlandet pga. reduceret drift på fx et kulkraftværk i Tyskland. Fremskrivningerne tager ikke højde for denne nedregulering, og forventes at overestimere eksporten til Tyskland i det omfang flaskehalsproblemerne ikke bliver løst.

Det skal yderligere bemærkes at fremskrivningsårenes udvikling i udlandet, herunder Tyskland, er baseret på scenarier fra før den nuværende regering tiltrådte og dermed også før den nuværende energikrise fandt sted. Generelt betyder en hurtigere grøn omstilling i Europa, at effekterne på udlandets udledninger fra dansk eludveksling vil være aftagende i størrelse, eftersom der er mindre fossil energi at erstatte samt mere vedvarende energi i udlandet.

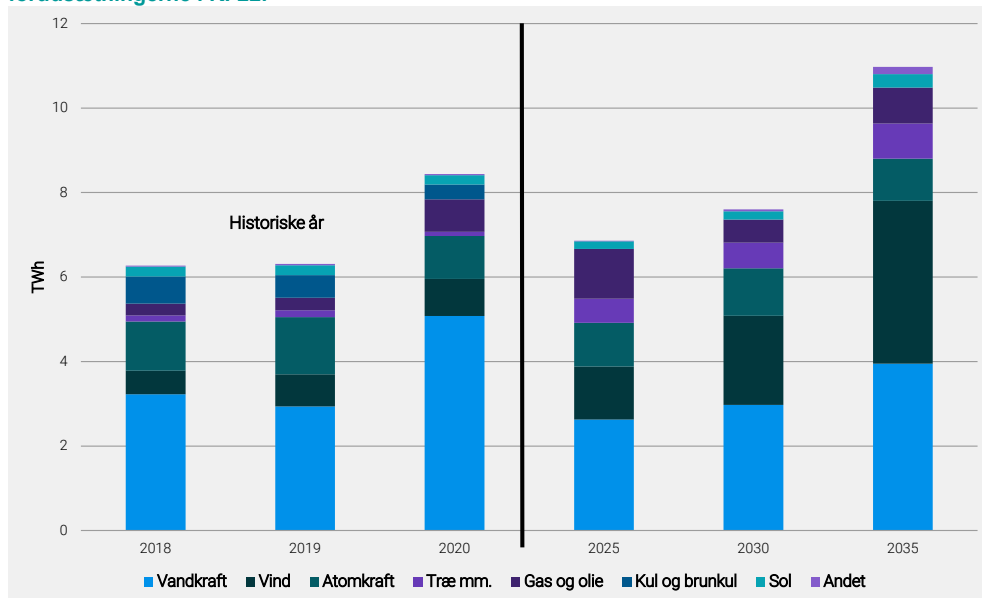
Danmark importerer vandkraft fra nord

Figur 8 præsenterer dansk elimport opgjort på teknologi- og brændselstype, og indikerer hvilke teknologier, som Danmark importerede el fra. I figur 8 ses det bl.a., at elimporten hovedsageligt sker på tidspunkter, hvor el er baseret på vandkraft i 2020, men også i de forrige to år. Selvom Danmark importerede væsentlig mere el

¹⁴ Betydningen af flaskehalsene i det tyske elnet er nærmere belyst under usikkerheder i afsnit 5

fra udlandet i 2020 end i 2019, steg det beregningstekniske nøgletal for emissioner i udlandet pga. Danmarks nettoimport kun med ca. 10 pct. (se tabel 1 i afsnit 2.1). Det skyldes netop, at den øgede import hovedsageligt skete fra lande og på tidspunkter, hvor vandkraften var hovedbestanddelen af elproduktionen. Vandkraft udleder ikke direkte drivhusgasser, hvorfor stigningen i udledninger grundet den øgede import til Danmark er relativ mindre end selve stigningen i mængden af importeret el.

Figur 8: Dansk elimport i historiske og fremskrivningsår opgjort på teknologi- og brændselstype baseret på elmikset i udlandet på de tidspunkter hvor vi importerer. Danmark importerer på tidspunkter, hvor elektriciteten hovedsageligt kommer fra vandkraft og vind, jf. forudsætningerne i KF22.



Kilde: Energistyrelsen.

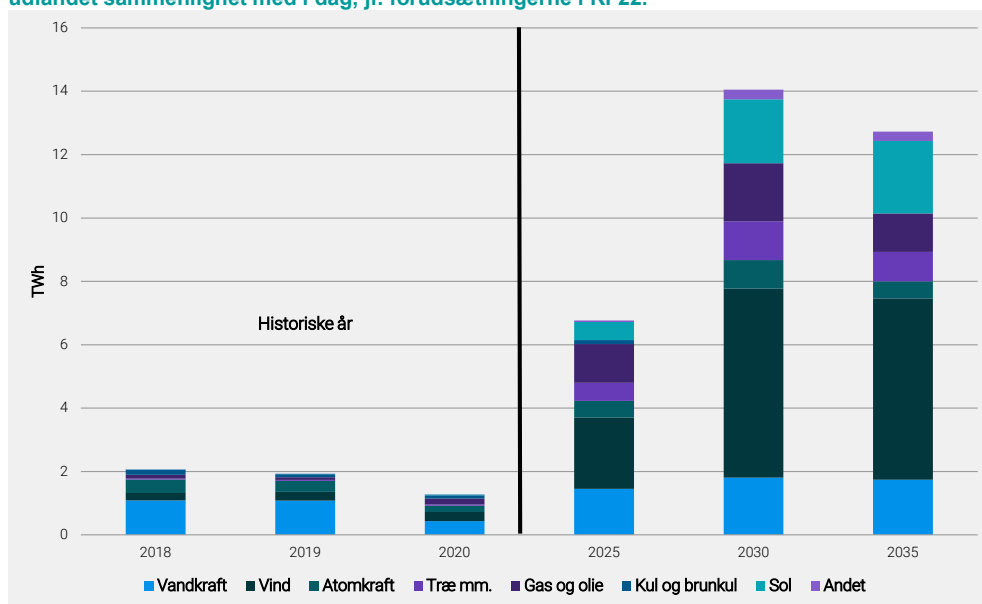
Ligeledes viser figur 8, at Danmark i dag og fremadrettet importerer el på tidspunkter og fra lande, hvor vandkraften er hovedbestanddelen i elmikset mens vindkraft vil få en stigende andel af importen. Elmikset i importen til Danmark forventes at blive grønnere og grønnere, bl.a. pga. den stigende mængde vindkraft. Dette er bl.a. en af årsagerne til, at den estimerede effekt fra dansk eludveksling på udlandets emissioner estimeres at ændres fra at øge emissionerne i historiske år til at reducere dem i udlandet i fremskrivningsperioden. Det medfører, at det er effekten af den el, der eksporteres, der bliver dominerende set ift. dansk eludvekslings samlede estimerede effekt på udlandets emissioner.

Danmark vil på sigt eksportere mod syd, når der er sol- og vindkraft sydpå

Af figur 9 ses, at den danske eleksport historisk og frem mod 2035 vil ske på tidspunkter, hvor vand- og vindkraft forekommer at være dominerende i de lande, vi eksporterer til. Tyskland og andre nabolande vil i forudsætningerne i KF22 udfase kul, og helt eller delvist erstatte med vedvarende energi i de kommende år, hvorfor

sol- og vindkraft kommer til at fylde mere i udlandets elmiks. Således formodes dansk eleksport af el fremadrettet løbende at reducere mindre og mindre kul- og gasbaseret el, end det er tilfældet i dag. Effekten af dansk eleksport reduceres således over tid, men der vil fortsat være kul, gas og olie i elproduktionen i fx Tyskland. Forekomsten af el baseret på kul, gas og olie i udlandet er grundlaget for, at eksport af dansk el frem mod 2035 fortsat beregningsteknisk set formodes at medvirke til en reduktion i udledningen af drivhusgasser.

Figur 9: Eleksport fra Danmark opgjort på teknologitype baseret på elmikset i udlandet på de tidspunkter hvor vi eksporterer. Danmark vil i stigende grad også sende el ud, når der er vind i udlandet sammenlignet med i dag, jf. forudsætningerne i KF22.



Kilde: Energistyrelsens beregninger

4.3 Effekten ved yderligere dansk eleksport fra vedvarende energi

Dette afsnit udfolder hovedresultaterne fra afsnit 2.3: Effekten ved en yderligere dansk eleksport fra vedvarende energi eller import til at dække et øget dansk elforbrug. Resultater for emissioner er baseret på marginalmetoden beskrevet i afsnit 3 og tager dermed udgangspunkt i beregninger af, hvilke elproduktionsanlæg i Nordeuropa der justeres, hvis dansk elhandel med udlandet justeres. Resultaterne siger noget om effekten i udlandet af fremtidige ændringer i Danmarks eleksport og elimport. Metoden er anderledes end i afsnit 4.1 og 4.2, der er baseret på gennemsnitsmetoden.

Når der sker ændringer i det danske elsystem enten ved nye initiativer, som øger elforbruget, eller der etableres flere havvindmøllerparker, påvirker det ikke kun det danske elsystem. Hvis Danmark skulle øge elproduktionen uden tilsvarende stigning i indenlandsk elforbrug, vil en del af elektriciteten eksporteres til udlandet, og dermed reducere udlandets udledninger fra elproduktionen. Omvendt vil et øget elforbrug uden en tilsvarende stigning i elproduktionen – alt andet lige – resultere i,



at dele af elektriciteten må importeres fra udlandet, og dermed øge emissioner i udlandet.

Der skal altid være balance mellem elforbrug og –produktion i elsystemet. Det betyder, at der på alle tidspunkter er et anlæg, som producerer den sidste kWh til at dække elforbruget, dvs. det marginale elproducerende anlæg. Et øget elforbrug i Danmark – uden tilsvarende stigning i indenlandsk elproduktion – vil medvirke til, at udlandet i større grad skal dække elforbruget i Danmark, hvorfor der opreguleres for anlæg i udlandet. Det marginale anlæg skal her forstås som et gennemsnit af de marginale anlæg fra flere lande, og ikke som ét specifikt anlæg.

I dette afsnit vil effekten af ændringer i dansk eludveksling belyses vha. en beregningsteknisk opgørelse baseret på udlandets marginale emissionsfaktor (emissionsfaktoren for det marginale elproducerende anlæg) baseret på KF22.

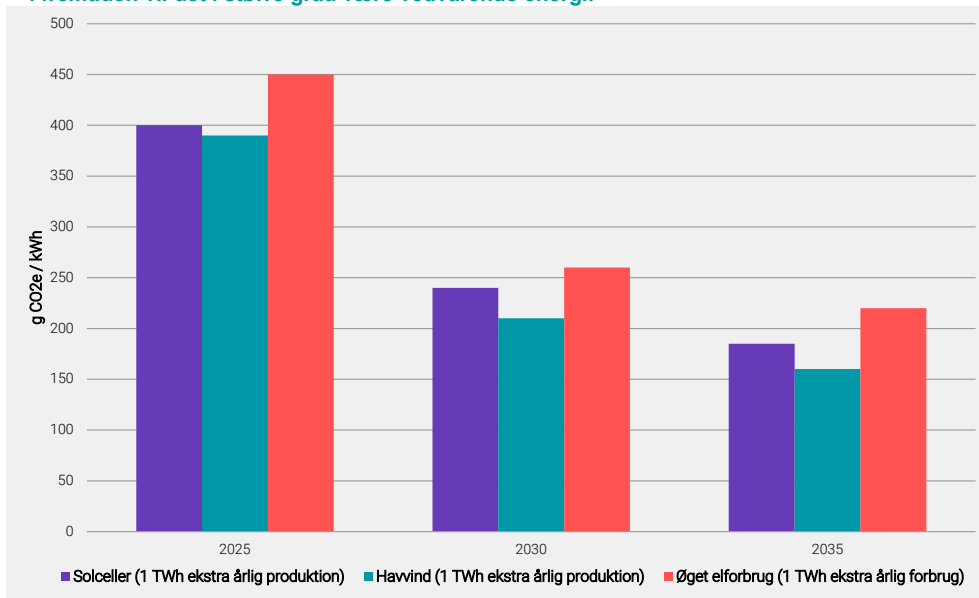
Øget dansk eleksport har effekt i udlandet – men den reduceres over tid

I figur 10 præsenteres analysens resultater og dermed den estimerede effekt på udlandets emissionsfaktor ved øget elforbrug eller elproduktion i Danmark¹⁵. De første to søjler (hhv. sol eller havvind) i figur 10 viser udlandets marginale emissionsfaktorer ved øget dansk elproduktion for årene i fremskrivningsperioden. Det betyder, at en fremtidig ændring resulterende i en øget eksport af dansk el vil reducere emissioner fra udenlandske elproduktionsanlæg. Søjlerne viser emissionsfaktoren ved at installere flere solceller eller havvindmøller, dvs. ved øget eleksport.

Figuren viser også indikationer på, at klimaeffekten i udlandet af en eventuel øget eleksport af dansk grøn elektriciteten (havvind eller sol) vil være faldende over tid. Det skyldes, at udlandets elproduktion i større grad vil blive baseret på grøn energi på sigt. Det resulterer i, at selvom Danmark skulle eksportere mere grøn el løbende, vil det i mindre grad erstatte elproduktion på fx et termisk værk i udlandet for fremtiden og dermed resultere i en faldende effekt over tid.

¹⁵ Det er antaget for både elproduktion og elforbrug at stigningen sker i 2021 og er konstant for resten af fremskrivningsperioden

Figur 10: Emissionsfaktoren i figuren er den marginale elproduktion fra det gennemsnitlige marginale elproduktionsanlæg. I dag er det marginale anlæg typisk et termiske værker, men i fremtiden vil det i større grad være vedvarende energi.



Kilde: Energistyrelsen. **Anm.:** Emissionsfaktoren for hhv. øget elforbrug eller elproduktion (Vind eller sol) har modsatrettede effekt, idet øget elforbrug øger den marginale emissionsfaktor, hvor øget elproduktion reducere udlandets gennemsnitlige udledninger.

Klimaeffekt fra en øget dansk elimport er ligeledes faldende over tid.

Klimaeffekten i udlandet af en situation, hvor Danmark *importerer* mere el fra udlandet end forudsat i KF22, vil også være faldende over tid. Årsagen er den samme som nævnt ovenfor for øget elektrisport, nemlig at udlandets elproduktion frem mod 2035 forudsættes at blive grønnere, og har fx færre værker som producerer på kul eller brunkul. Det har den betydning, at ved en ændring, hvor Danmark øger sin import af el, vil en stigende del af elektriciteten være baseret på vedvarende energikilder også i udlandet. Derfor kan man i figur 10 se, at den marginale emissionsfaktor i udlandet er faldende for direkte stigning i elforbrug, dvs. øget elimport.

4.4 Danmarks indsats

Energiaftalerne i 2012 og 2018 indeholdt beslutning om at udbyde etablering af bl.a. flere havvindmølleparker. Vesterhav Nord og Syd, Thor og Hesselø er de parker, som er undervejs, men endnu ikke er blevet idriftsat i forlængelse af energiaftalerne fra 2012 (KEFM, 2012) og 2018 (KEFM, 2018). Disse havvindmølleparker forventes idriftsat inden udgangen af 2030 og indgår i analysen. Dertil kommer en udbygning med yderligere 2 GW havvind frem mod 2030 jf. delaftale *Investeringer i et fortsat grønnere Danmark (4. december 2021)* (FM, 2021) til Finansloven for 2022. Idriftsættelsen af disse havvindmølleparker vil betyde en øget indenlandsk elproduktion på vedvarende energi og derfor også



mulighed for øget eleksport til udlandet. Hertil kommer, at regeringen i vedtagelsestekst V 22 fra december 2021 (FT, 2021), blev pålagt "... at fremlægge en plan for udbygning af vedvarende energi, som sikrer, at Danmark i 2030 er nettoeksportør af grøn energi". Alt andet lige vil den øgede elproduktion og målsætningen om eksport af grøn energi reducere udledningerne i udlandet, uagtet at det danske elforbrug forventes at stige i den mellemliggende periode, en stigning der bl.a. kan tilskrives PtX-strategiens målsætning om 4-6 GW PtX-kapacitet i 2030.

Derudover blev der i *'Klimaaftale for energi og industri mv. af 22. juni 2020'* (KEFM, 2020b) indgået aftale om etablering af bl.a. to energier, hhv. Energiø Nordsøen og Bornholm med en samlet elkapacitet på 5 GW i første fase. Der foreligger ikke endelig aftale omkring etableringen af energierne, og de indgår derfor ikke i resultaterne i grundforløbet i KF22, hvilket igen betyder, at de ikke indgår i GA22 belysning af eludveksling.

Uagtet dette vil idriftsættelse af store mængder havvind i dansk farvand have en effekt på eludvekslingen mellem Danmark og udlandet. Effekten og påvirkningen af elproduktionen fra energierne vil have en betydning for udlandets emissioner i det omfang havvindmøllernes produktion eksporteres samt erstatter elproduktionen fra fossile anlæg. I afsnit 4.5 uddybes energierne yderligere med overordnede betragtninger ift. betydningen for dansk eludveksling med udlandet.

Det er en nødvendighed for at øge afsættelsesmulighederne, at der i forbindelse med etableringen af energierne indgås aftaler med andre lande om udlandsforbindelser. Derfor er der fx indgået en aftale mellem Danmark og Belgien om at undersøge muligheden for at etablere en udlandsforbindelse mellem energien i Nordsøen og Belgien. Danmark er på nuværende tidspunkt ikke direkte forbundet til det belgiske energisystem. Dertil er der også indgået en aftale med Tyskland. Aftalerne forpligter elnetoperatørerne i Danmark, Tyskland og Belgien til at samarbejde og igangsætte forundersøgelser for nationale godkendelser i de tre lande. Dog bemærkes det, at ingen af de to udlandsforbindelser er medregnet i analysen, da de ikke indgår grundforløbet i KF22.

Den samlede effekt på dansk eludveksling af ovenstående skal ses i et større perspektiv i sammenhæng med udvikling inden for flere sektorer og aktører. Der er grundlag for at forvente, at der kan ske en elektrificering inden for industri, transport, opvarmning og ekstra elforbrug til datacentre – både i Danmark og udlandet. Konkret er det derfor vanskeligt nærmere at fastlægge, hvilken effekt ovenstående indsatser vil have på dansk eludveksling.

4.5 Energier

Udbygning med energier i Nordsøen og Østersøen med dertilhørende eleksport forventes til dels at fortrænge fossilt energiforbrug i andre lande. Som berørt i



ovenstående afsnit er det vanskeligt at kvantificere effekten ved etablering af energierne. Men når Danmark eksporterer grøn el til udlandet, reducerer det udledningerne i udlandet, fordi landene omkring os kan skrue ned for produktionen af el baseret på fossil energi. Danmark vil eksportere mere grøn energi i fremtiden med beslutningen om at bygge verdens første energier.

Energierne anses på nuværende tidspunkt stadig at være i planlægningsfasen, og der foreligger ikke endelig aftale omkring etableringen. Derfor kan energierne endnu ikke medtages i KF22s grundforløb og derfor heller ikke direkte i denne analyse. Det forventes, at energierne vil skulle fungere som knudepunkter for distribution af energi til Danmark og andre lande, hvilket forudsætter enten forbindelser til udlandet, eller markant øget elforbrug i Danmark (fx gennem PtX). Med vedtagelse af regeringens Power-to-X strategi (KEFM, 2022) er aftalepartierne enige om, at Danmark skal sigte efter 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030. Dette forventes at bidrage til en markant forøgelse af Danmarks elforbrug.

En del af energiernes elproduktion vil øge dansk eksport med nuværende forudsætninger for udlandets elforbrug i KF22, men der kan inden etableringen af energierne nå at ske væsentlige udviklinger i både det danske og udenlandske energisystem. Generelt har energierne dog til hensigt at muliggøre en øget eksport af Danmarks havvind, hvilket forventes at bidrage positivt til hastigheden og omfanget af Europas samlede grønne omstilling. Dertil skal bemærkes, at energierne vurderes at kunne have en langsigtet global reduktionseffekt i det omfang, at udviklingen af konceptet omkring energierne kan inspirere andre dele af verden til at være mere ambitiøse med udbygningen af havvind. Samtidig vil der være mulighed for teknologiudvikling i forbindelse med etableringen af energierne, hvilket også indirekte kan få betydning for de globale udledninger.

I takt med en forventet omfattende elektrificering af samfundet i Danmark og udlandet vil det muligvis også være relevant at se eludveksling i et større perspektiv – også ifm. etablering af energierne. De ambitiøse planer for Power-to-X i EU og Danmark åbner således for, at man kan nyttiggøre endnu mere af Danmarks VE-ressourcer. I stedet for at eksportere elektriciteten direkte til udlandet, kan vi også eksportere de grønne brændsler til udlandet. Der vil altså være en sammenhæng mellem eksport af energi i form af brændsler og eksport af energi i form af el, som tilsammen kan gøre, at Danmarks VE-udbygning kan øges, hvilket kan være til fordel for både Danmark og vore nabolande.

4.6 Sammenligning af resultater med sidste års globale afrapportering

Sidste års globale afrapportering inkluderede kun resultater for fremskrivningsår ved brug af marginalmetoden. I dette års afrapportering er der i den mellemliggende periode arbejdet med en gennemsnitsmetode for at kunne estimere emissioner for et helt år. Oveni tilføjelsen af gennemsnitsmetoden er der i GA22 også tilføjet en analyse af, hvordan dansk eludveksling har påvirket



udlandets emissioner baseret på netop gennemsnitsmetoden. Nedenstående sammenligning med GA21 er derfor afgrænset til marginalmetoden.

Det er kun muligt at sammenligne emissionsfaktorerne for udenlandsk el ved enten øget elforbrug eller elproduktion, som medfører enten øget elimport eller eksport alt andet lige. I tabel 5 sammenlignes udlandets gennemsnitlige marginale emissionsfaktorer ved ændringer i det danske elsystem for GA21 og GA22. Forudsætningerne som ligger til grund for GA21 og GA22 er ikke direkte sammenlignelige, idet det er hhv. KF21 og KF22, som anvendes. Der er mellem KF21 og KF22 sket en opdatering af brændselspriserne samt dansk elforbrug og elproduktion, hvorfor sammenligningsgrundlaget ikke er identisk.

På trods af forskelle i forudsætningsgrundlaget indikerer tallene både, at øget dansk elimport og –eksport har en mindre effekt på udlandets emissioner sammenlignet med sidste års globale afrapportering. Det skyldes bl.a. opdatering af forudsætningerne for brændselspriser, inden- og udenlandsk elforbrug samt elproduktion

Tabel 5: Udlandets gennemsnitlige marginale emissionsfaktorer ved hhv. øget elproduktion og øget elforbrug i Danmark. Resultat sammenligning med GA21

Udlandets gennemsnitlige marginale emissionsfaktor (g CO ₂ /kWh)	Sammenligning af marginalmetoden (2030)	
	GA21	GA22
Øget elproduktion (Vind) +1TWh årlig elproduktion	270	210
Øget elforbrug +1TWh elforbrug	330	260

Kilde: Energistyrelsen.



5. Kvalificering

5.1 Usikkerhed

Opgørelsen af klimaeffekten af den danske eludveksling frem mod 2035 er behæftet med stor usikkerhed. Dels er resultaterne betinget af det anvendte scenarie for udviklingen i elproduktionskapacitet og elforbrug i udlandet såvel som i Danmark. Et grønnere udlandsscenarie vil resultere i et lavere CO₂-fortrængningspotentiale for den danske eleksport, mens et mere konservativt scenarie vil betyde et større potentiale for CO₂-fortrængning i udlandet. Dertil har især fremskrivningen af brændselspriserne betydning for, hvilke anlæg driften ændres på, når dansk eleksport ændrer sig.

Ser man på en ændring af eleksporten kan størrelsen af ændringen af eleksporten også have betydning for resultatet. Hvis ændringen i eleksporten er dobbelt så stor, vil der være flere anlæg, der reducerer deres drift, og det kan give en anden sammensætning af fortrængt elproduktion.

I de næste afsnit uddybes specifikke usikkerheder, som vurderes at have væsentlig betydning for resultaterne i analysen.

Afgrænsninger ift. forudsætninger for udlandet og fravær af seneste udmeldinger

Udlandets og især Danmarks nærmeste elhandelspartnere har relativ stor betydning for analysens resultater. I den forbindelse skal det bemærkes, at forudsætningerne for udviklingen i de andre europæiske elsystemer er baseret på TYNDP2020 og MAF2020, men hvor politiske udmeldinger fra de seneste år ikke indgår, og derfor heller ikke i analysen. Ud over en hurtig udviklende energisektor har Ukraine-situationen også skabt øget usikkerhed på energimarkederne, hvilket yderligere afgrænser analysens robusthed. Dog kan fremskrivningen stadig skabe indsigter og give en indikation på hvordan dansk eludveksling påvirker udlandets gennemsnitlige udledninger.

Håndtering af transitflow mht. fremskrivningsperioden

I analysen med gennemsnitsmetoden er det ikke taget højde hvorvidt elektriciteten, som Danmark eksporterer rent faktisk anvendes i det land, som der eksporteres til eller om det videre eksporteres til andre lande. Energistyrelsen er opmærksom på at det har en betydning for resultaterne, men det er en metode afgrænsning ifm. GA22.

Det betyder at når Danmark eksporterer til f.eks. Tyskland, er det muligt at en del af eleksporten fra Danmark blot anvender det tyske elnet til transit til et tredje land. Det er en begrænsning at det i dette tilfælde er Tysklands gennemsnitlige emissioner, som anvendes på tidspunkter Danmark eksporterer til Tyskland, selvom at dele af elektriciteten kan være videre eksporteret til et tredje land.



Energijøerne er ikke en del af grundforløbet i KF22

I *Klimaaf tale for energi og industri mv. 2020* (KEFM, 2020b) indgår etablering af bl.a. to energijøer, hhv. Energjø Nordsøen og Bornholm. Energijøerne anses på nuværende tidspunkt stadig at være i planlægningsfasen, og der foreligger ikke endelig aftale omkring etableringen. Derfor kan energijøerne endnu ikke medtages i KF22s grundforløb, og derfor heller ikke direkte i dette notat. Energijøerne vil øge dansk elproduktion væsentligt, når de etableres, og forventeligt også eleksporten. Der er derfor en vis usikkerhed forbundet med resultaterne for fremskrivningsperioden (2021-2035).

Reduktioner inden for kvotesektoren giver reel klimaeffekt

Elsektoren i EU er omfattet af EU's kvotehandelssystem og en mindre udledning fra kulkraftværkerne medfører, at der opstår et større overskud af CO₂-kvoter i EU's kvotehandelssystem. Imidlertid er vurderingen, at dette større overskud kun i meget begrænset omfang sænker kvoteprisen og dermed fører til, at udledningen øges andre steder i kvotesektoren. Dermed vil det have en reel klimaeffekt, når eksport af dansk grøn el reducerer kulkraftproduktion i udlandet.

Det skyldes, at kvotehandelssystemet sørger for hvert år at "opsuge" 24 pct. af kvoteoverskuddet på markedet. Når nye kvoter overføres til reserven, bliver de annulleret i 2023. Efter 2024 er der dog mere usikkerhed omkring effekten, eftersom disse dynamikker i kvotemarkedet kan blive ændret, når EU's kvotehandelssystem reformeres som led i implementeringen af den vedtagne forøgelse af EU's drivhusgasreduktionsmål i 2030.

Interne problemer på det tyske elnet og sammenhængen til dansk eludveksling

Som beskrevet under afsnit 3. Metode og antagelser er grundlaget for fremskrivningen inden for både gennemsnitsmetoden og marginalmetoden resultater fra Ramses, som modellerer elmarkedet (svarende til day-ahead spot markedet). Elproduktionen i Europa er primært styret efter elmarkedet, hvilket gør Ramses resultater til et godt bud, men TSO'erne er ofte nød til at foretage regulering i elproduktionen for at undgå overbelastning på elledningerne.

Normalt er reguleringen meget lille i forhold til den samlede elproduktion. Dette gælder dog ikke altid for Tyskland, der i elmarkedet fungerer som én priszone, dvs. at alle producenter i Tyskland samt eludveksling med nabolandene er ligestillet på elmarkedet uden hensyntagen til flaskehalse i det interne elnet i Tyskland.

De eksisterende flaskehalse i transmissionsnettet mellem det nordlige og sydlige Tyskland skaber situationer på elmarkedet, hvor clearing på markedet giver en elproduktion, som det tyske elnet ikke kan håndtere. Disse situationer opstår når der er en høj elproduktion fra vindmøller i Nordtyskland, hvilket giver et stort behov for transmission til Sydtyskland. Da der er en stor korrelation mellem



vindproduktion i Nordtyskland og Jylland, vil markedsclearingen i disse situationer give en stor elimport fra Vestdanmark til Tyskland, som yderligere sætter pres på det tyske elnet. Den tyske TSO gør derfor brug af nedregulering i Nordtyskland og i bl.a. Danmark for at undgå overbelastning i på det tyske elnet.

I 2020 blev der foretaget en nedregulering på i alt 3 TWh i Danmark, hvor de 1,5 TWh blev ydet af vindmøller, som undlod at producere pga. interne flaskehalse i Tyskland. Ramses modellerer, som nævnt, ikke denne nedregulering, og kan derfor ikke give et bud på hvor stor effekten af flaskehalsene i det tyske elnet vil være i fremskrivningsperioden.

Det er på nuværende tidspunkt ikke muligt at forudsige, hvor længe der fortsat vil være behov for nedregulering samme størrelsesorden som i 2020. Dette afhænger af hvorvidt det tyske elnet bliver forstærket og hvornår, eller om den tyske priszone bliver opdelt i mindre priszoner, der tager højde for de fysiske forhold i elnettet.

Det kan betyde, at eleksporten til Tyskland er overestimeret i analysen pga. Ramses ikke tager den tyske nedregulering af danske vindmøller i betragtning. Der er i analysen antaget perfekt konkurrence, og derfor ikke afspejler problemstillingen med flaskehalsene på i det tyske elnet. Tyskland er en vigtig del af grundlaget for at dansk elhandel har en positiv klimapåvirkning i udlandet, og det er derfor væsentlig præmis for de fremskrevne resultater for elhandel i GA22 at Tysklands flaskehalse reduceres.

5.2 Følsomhedsanalyser

Følsomhedsanalyserne dækker fremskrivningsperioden, eftersom det er denne del af resultaterne der er størst usikkerhed omkring. Beregningerne er foretaget for 2030. Der er gennemført følsomhedsanalyser for hhv. gennemsnitsmetoden og marginalmetoden. Resultaterne for følsomhedsberegningerne er beskrevet og vist i bilaget.

Følsomhedsanalyse for gennemsnitsmetoden

En række følsomhedsberegninger er foretaget omkring de centrale forløb for at teste robustheden af resultaterne. Følsomhedsberegningerne viser, at det centrale forløb er relativt robust ift. ændringer i CO₂-kvotepriisen samt øget vind- og vandkraft. De tre omtalte følsomheder varierer mellem 7-14 pct. mhp. udlandets samlede emissioner sammenlignet med det centrale forløb i 2030. Til gengæld viser følsomhedsberegningerne at resultaterne er meget følsomme over for mindre vind og nedbør. Det skyldes, at det typisk er vand- og vindkraft, som beregningsteknisk reducerer udlandets udledninger. Effekten herfra reduceres i takt med elproduktionen fra disse teknologier begrænses pga. ændringer i forudsætningerne for vind og nedgør.



Følsomhedsanalyse for marginalmetoden

En række følsomhedsberegninger er foretaget omkring de centrale forløb for at teste robustheden af resultaterne. På baggrund af følsomhedsberegningerne konkluderes det, at resultaterne er meget følsomme over for vejrforholdene. Øget vind- og vandkraftproduktion i Danmark og udlandet øger produktionen fra vind- og vandkraft, og de fossile anlæg vil have færre drifter timer. Det betyder, at gennemsnitlige det marginale anlæg i udlandet i højere grad være en vedvarende energikilde sammenlignet med de centrale forløb. Modsat, begrænses vind- og vandkraften skal de fossile anlæg kompensere, hvilket resulterer i væsentlig højere marginal emissionsfaktor for det gennemsnitlige anlæg i udlandet ved både øget elproduktion og –forbrug i Danmark.

5.3 Perspektivering

Der eksisterer ikke nogen universel og fyldestgørende metode til at opgøre hvordan et lands eludveksling påvirker udlandets udledninger. Analysen præsenteret i dette notat har anvendt hhv. en gennemsnitsmetode og en marginalmetode.

Gennemsnitsmetoden søger at opgøre den samlede effekt af et års dansk eludveksling på udlandets udledninger. Marginalmetoden vurderes, at undersøge hvad ændringer i elsystemet muligvis vil kunne betyde, altså hvilke anlæg som evt. tændes eller slukkes ved ændringen.

Der vil fortsat blive udviklet på metoderne til at opgøre dansk eludvekslings klimapåvirkning i udlande. En del af dette er muligheden for et større detaljegrad vedrørende teknologi, lande og emissionsfaktorer samt videreudvikling af selve gennemsnitsmetoden. Samtidig vil det diskuteres hvorvidt man kan håndtere de interne flaskehalse i det tyske elnet og transitflowet i udlandet (se afsnit 5.1).

Derudover vil en kobling med dansk eleksports emissionsfaktor være interessant for at kunne belyse den reale forskel mellem den el som Danmark sender til udlandet, og den el er blevet fortrængt i udlandet.



6. Kilder

- Energinet. (2020). *Miljødeklaration 2020*. Energinet.
- Energinet. (2021). *Revisionspraksis, Miljø- og eldeklaration*. Energinet.
- Energinet. (2022a). *Energi data service - Production and Consumption - Settlement*. Hentet 21. april 2022 fra <https://www.energidataservice.dk/tso-electricity/productionconsumptionsettlement>
- Energinet. (2022b). *Nedreguleret hos danske aktører*. Hentet 21. april 2022 fra <https://energinet.dk/-/media/14D743CB30764B7C965823F049573F75.pptx>
- ENS. (2016). *Notat om opdatering af elhandelskorrektion*. Energistyrelsen.
- ENS. (2020). *Energistatistik 2019*. Energistyrelsen.
- ENS. (2021). *Månedlig elstatistik*.
- ENS. (2022a). *Klimastatus og -fremskrivning 2022*. Energistyrelsen.
- ENS. (2022b). *Klimastatus og -fremskrivning 2022 (KF22): Ny politik, der indgår i KF22, samt politik der ikke indregnes*. Energistyrelsen.
- ENS. (2022c). *Klimastatus og -fremskrivning 2021 (KF22): Ramses modellen*. Energistyrelsen.
- FM. (2021). *Investeringer i et fortsat grønnere Danmark (4. december 2021)*. Finansministeriet.
- FT. (2021). *V 22 Om regeringens fremtidige klimapolitiske initiativer set i lyset af redegørelsen for klimaeffekter*. Folketinget.
- KEFM. (2012). *Aftale om den danske energipolitik 2012-2020*. Klima-, Energi- og Bygningsministeriet.
- KEFM. (2018). *Energiaftale af 29. juni 2018*. Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet.
- KEFM. (2020a). *Lov om klima*. Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet.
- KEFM. (2020b). *Klimaaftale for energi og industri mv. 2020 af 22. juni 2020*. Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet.
- KEFM. (2022). *Udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer (Power-to-X strategi)*. Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet.



7. Bilag

Følsomhedsanalyserne dækker fremskrivningsperioden, eftersom det er denne del af resultaterne der er størst usikkerhed omkring. Beregningerne er foretaget for 2030. Der er gennemført følsomhedsanalyser for hhv. gennemsnitsmetoden og marginalmetoden.

Følsomhedsanalyse for gennemsnitsmetoden

En række følsomhedsberegninger er foretaget omkring de centrale forløb for at teste robustheden af resultaterne. Beregningerne baseres på følgende fire følsomhedsscenarier:

- Scenarie A: CO₂-kvoteprisen øges 10 pct.
- Scenarie B: CO₂-kvoteprisen reduceres 10 pct.
- Scenarie C: Øget vind og nedbør. Elproduktion i alle områder i modellen er 115 pct. for vindkraft og 115 pct. for vandkraft set ift. normalåret.
- Scenarie D: Mindsket vind og nedbør. Elproduktion i alle områder i modellen er 85 pct. for vindkraft og vandkraft set ift. normalåret.

Resultaterne vises i tabeller nedenfor i form af procentafvigelsen i CO₂-emissionsfaktoren ift. det centrale forløb i 2030.

Tabel 6: Resultater af følsomhedsberegningerne på effekten på udlandets emissioner med gennemsnitsmetoden i 2030

Scenarie 2030	Udledninger i udlandet (mio. ton CO ₂)	Variation ift. centralt forløb
Centralt forløb	-0,55	-
Scenarie A (Højere kvotepris)	-0,61	11 pct.
Scenarie B (Lavere kvotepris)	-0,63	15 pct.
Scenarie C (øget vind og regn)	-0,60	9 pct.
Scenarie D (mindsket vind og regn)	-0,16	-71 pct.

Kilde: Energistyrelsen.

På baggrund af følsomhedsberegningerne konkluderes det, at

- Ved højere kvotepriser har Danmark højere eleksport sammenlignet med Central forløbet, mens udlandet producerer mindre el på gas og kul. Produktionen på gas stiger lidt ved højere kvotepriser og falder markant ved lavere kvotepriser, da kvotepriserne primært flytter på konkurrencen mellem brunkul og naturgas. Omvendt, betyder en lavere kvotepris at Danmarks eleksport reduceres, men den eleksport som sker, erstatter i større grad fossile anlæg end ved relativ højere kvotepriser.
- En øget elproduktion fra vind- og vandkraft vil ikke have den store betydning for udlandets udledninger eftersom den yderligere elproduktion fra vind- og vandkraft i Danmark og udlandet i mindre grad kan udnyttes i elsystemet med anvendte forudsætninger.
- Omvendt er resultaterne mest følsomme overfor reduceret elproduktion fra vand- og vindkraft. Det skyldes, at når elproduktionen fra vind- og vandkraft

i modellen reduceres, vil elsystemet i større grad være baseret på fossile anlæg, mens danske og udenlandske vindmøller i mindre grad eksporterer grøn el til det øvrige elsystem.

Følsomhedsanalyse for marginalmetoden

Ligeledes er der foretaget en række følsomhedsberegninger omkring de centrale forløb ved marginalmetoden for at teste robustheden af resultaterne. Beregninger er baseret på de samme fire følsomhedsscenerier:

Følsomhederne foretages på hvert forløb (øget elforbrug samt øget elproduktion fra hhv. havvind og solceller). Resultaterne vises i tabeller nedenfor i form af procentafvigelse i CO₂-emissionsfaktoren ift. det centrale forløb i 2030.

Tabel 8: Resultater af følsomhedsberegninger for marginalmetoden på emissionsfaktor i 2030

kgCO ₂ /MWh el	Forbrug (+1 TWh)		Havvind (+1 TWh)		Solceller (+1 TWh)	
	Emissions-faktor	Forskel	Emissions-faktor	Forskel	Emissions-faktor	Forskel
Centralt forløb	260	-	210	-	240	-
Scenarie A Højere kvotepris	245	-6%	195	-8%	230	-4%
Scenarie B Lavere kvotepris	290	10%	225	7%	255	6%
Scenarie C øget vind og regn	165	-58 pct.	80	-163 pct.	105	-129 pct.
Scenarie D mindsket vind og regn	350	26 pct.	310	32 pct.	310	23 pct.

Kilde: Energistyrelsen.

På baggrund af følsomhedsberegningerne konkluderes det, at

- De centrale forløb er robuste ift. CO₂-kvoteprisen. En højere (lavere) CO₂-kvotepris resulterer i højere (lavere) marginale produktionsomkostninger for de fossile anlæg, hvorfor emissionsfaktoren for det gennemsnitlige marginale anlæg varierer fra det centrale forløb.
- Til gengæld viser følsomhedsberegningerne at resultaterne er relativ følsomme over for vejrforholdene. Øget vind- og vandkraftproduktion i Danmark og udlandet øger produktionen fra vind- og vandkraft, og de fossile anlæg vil have færre drifter timer. Det betyder, at gennemsnitlige det marginale anlæg i udlandet i højere grad være en vedvarende energikilde sammenlignet med de centrale forløb. Modsat begrænses vind- og vandkraften skal de fossile anlæg kompensere, hvilket resulterer i væsentlig højere marginal emissionsfaktor for det gennemsnitlig anlæg i udlandet ved både øget elproduktion og –forbrug i Danmark.