



Global Afrapportering 2022 (GA22):

International transport

Baggrundsnotat nr. 7

Indholdsfortegnelse

1.	Rammesætning	2
2.	International luftfart.....	5
2.1.	Klimaregulering af international luftfart.....	5
2.2.	Udledninger – nøgletal og indikatorer.....	7
2.3.	Luftfartens ikke-CO ₂ -relaterede klimaeffekter	17
2.4.	Indsatser	20
2.5.	Teknologisk udvikling.....	23
2.6.	Metode	25
2.7.	Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer.....	26
2.8.	Bilag	27
3.	International søfart.....	33
3.1.	Klimaregulering af international søfart.....	34
3.2.	Udledninger – nøgletal og indikatorer.....	35
3.3.	Black Carbon	42
3.4.	Indsatser	43
3.5.	Teknologisk udvikling.....	47
3.6.	Metode	48
3.7.	Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer.....	50
3.8.	Bilag	51
4.	Kilder.....	59

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

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

www.ens.dk



1. Rammesætning

International luft- og søfart er kilder til betydelige udledninger og udgør begge en væsentlig del af de samlede globale drivhusgasudledninger. Samtidig indgår udledningerne fra international luft- og søfart ikke i opgørelsen af landenes territoriale udledninger, som indrapporteres til FN, og derfor heller ikke i de enkelte landes nationale reduktionsmål. Reduktionsmål for luft- og søfart håndteres internationalt i regi af ICAO¹ og IMO² og på europæisk plan gennem EU.

Globalt set stod søfart i 2018 for cirka 2,8 pct. af de globale CO₂-udledninger fra fossile brændstoffer³, hvoraf den internationale del (sejladser mellem forskellige lande) stod for knap 2 pct. Udledningerne er steget med cirka 10 pct. fra 2012-2018 (Crippa et al., 2019, IMO, 2021). Fra 2011 til 2018 har der dog været en afkobling af udledningerne i forhold til udviklingen i de fragtede mængder. Således er effektiviteten af søtransport steget med mere end 20 pct. siden 2008. Ifølge IMO's scenarieberegninger kan udledningerne stige med op til 50 pct. frem mod 2050 i forhold til 2018, ifald der ikke gennemføres klimainitiativer (IMO, 2021).

Tilsvarende stod luftfart globalt set i 2018 for cirka 2,4 pct. af de globale CO₂-udledninger fra fossile brændstoffer. Heraf stod den internationale del (flyvninger mellem forskellige lande) for cirka 1,5 pct. (ICCT, 2019). Dertil kommer de ikke-CO₂ relaterede klimapåvirkninger knyttet til flys udledninger i stor højde, fx som følge af kondensstriber. Sektoren har gennem årtier været kendetegnet ved markant passagervækst. Til trods for at covid-19 har haft en enorm påvirkning på industrien, forventes efterspørgslen på lufttransport at stige frem mod 2050. ICAO har, medregnet covid-19 effekter, estimeret den globale årlige vækst i passageres efterspørgsel på lufttransport til at være mellem 2,9-4,2 pct. om året frem mod 2050 (ICAO, 2021). Det vil i givet fald svare til en tredobling set i forhold til 2018-niveauet. ICAO har tilsvarende forventning i forhold til luftfragt.

Energistyrelsens årlige Klimastatus og –fremskrivning giver en status for, hvordan Danmarks territoriale drivhusgasudledninger har udviklet sig siden 1990, samt en teknisk, faglig vurdering af, hvordan udledningen af drivhusgasser samt energiforbrug og –produktion vil udvikle sig frem mod 2035⁴. Heri indgår udledninger fra transport i Danmark, dvs. vejtransport, banetransport samt indenrigs sø- og luftfart⁵.

¹ International Civil Aviation Organisation er en organisation under de Forenede Nationer, som arbejder for ensartede standarder for lovgivningen omkring civil luftfart i medlemslandene.

² International Maritime Organization er en organisation under FN, som varetager internationale forhold i relation til søfart.

³ CO₂-emissionerne i 2018 var 37,9 gigatons opgjort som emissioner fra forbrænding af kul, olie og gas samt industrielle processer som fx cement, stål og kemikalier (Crippa et al., 2019).

⁴ I Klimastatus og –fremskrivning 2021 var tidshorizonten 2030, mens der i 2022 vi blive kigget frem mod 2035.

⁵ Udledninger fra ruter mellem Danmark og hhv. Grønland og Færøerne indregnes, mens ruter internt i Grønland og Færøerne ikke indgår. Derudover omfatter Klimastatus og –fremskrivning udledninger fra fritidsfartøjer og forsvarsets transportmidler. I baseline og fremskrivninger fra Luftfartens Klimapartnerskab indgår flyvninger til og fra Grønland og Færøerne i udenrigsemissionerne.



Global afrapportering har derimod, med ophæng i klimaloven, et globalt fokus og præsenterer de internationale effekter af *danske aktiviteter og den danske klimaindsats*. I dette baggrundsnotat om international transport er den overordnede tilgang at afdække, hvordan dansk drevne aktiviteter er med til at påvirke de globale udledninger fra international luft- og søfart. Global afrapportering skal derfor indkredse de udledninger, som involverer *dansk aktivitet*, men som ikke er omfattet af Danmarks reduktionsforpligtigelser i forhold til FN's Klimakonvention, og som ikke er en del af det danske reduktionsmål for 2030. Den *danske klimaindsats* ses i denne sammenhæng som eksempelvis Danmarks muligheder for at påvirke hvilket brændstof, der kan tankes i Danmark til udenrigs sø- og luftfart. Endvidere har danske rederier og luftfartsselskaber, som opererer i udlandet, selv mulighed for at påvirke de globale udledninger og derigennem bidrage til den grønne omstilling af sektoren. Herudover er Danmarks påvirkning af den internationale regulering på området en del af den danske klimaindsats.

Opgørelserne vedr. international transport er styret af, hvordan danskrelaterede internationale udledninger defineres samt mulighederne for at belyse aktiviteterne ved hjælp af eksisterende dataregistre. Der er således en række begrænsninger, som følger af de tilgængelige data på området. Derfor skal det også bemærkes, at valget og tilgængeligheden af opgørelsesmetoder og sektorafgrænsning påvirker både størrelsen af udledningerne og den historiske udvikling.

Der er som vist i tekstboks 1 forskellige opgørelser i Global Afrapportering 2022 (GA22), hvor elementer af international transport indgår. Der er således visse overlap. Fx er udledninger fra dansk opererede skibe i udlandet, der fragter varer, som efterfølgende importeres og forbruges i Danmark, med både i indeværende opgørelse samt i opgørelser under klimaaftryk af import og forbrug, jf. baggrundsnotaterne *Import* og *Eksport*.



International transports sammenhæng med andre typer opgørelser af transport i GA22

Udledninger fra international transport indgår som element i flere dele af GA22. Baggrundsnotat om international transport har fokus på de udledninger, som er relateret til dansk aktivitet, hvor dansk aktivitet overordnet set dækker over transport med dansk opererede skibe og fly samt alle fly og skibe, som bunkrer i Danmark. Denne opgørelsesmetode kan give indsigt i, hvor mange udledninger danske transportvirksomheder står for globalt set samt udledninger relateret til bunkring på dansk grund. Der er visse overlap med de andre opgørelser i GA22, fx fordi udledninger fra dansk opererede skibe, som fragter varer til import og forbrug i Danmark både er med i indeværende opgørelse samt under klimaaftryk af import og forbrug.

Relaterede opgørelser i GA22 er defineret som følgende:

International transport: Drivhusgasudledninger opgøres med fokus på, hvem der transporterer og hvor transporten sker. Baggrundsnotatet er derfor et tillæg til opgørelserne for klimaaftryk for import, eksport og forbrug i GA22.

Import: Drivhusgasudledninger opgøres som dem, der kan relateres til de varer og serviceydelser, som importeres til Danmark. Dette inkluderer fx skibsfragt af importerede varer.

Eksport: Drivhusgasudledninger opgøres som dem, der kan relateres til varer og serviceydelser, som eksporteres. Med eksport forstås en vare eller serviceydelse, som skifter fra danske hænder til udenlandske hænder. Typisk vil det være ved, at varer og serviceydelser eksporteres ud af Danmark og dermed krydser den danske grænse. Men det kan også være fx udenlandske turisters køb i Danmark eller danske transportselskaber, herunder rederier, som bunkrer i udlandet og ikke transporterer varer til dansk forbrug.

Forbrugsbaserede klimaaftryk: Drivhusgasudledninger opgøres som dem, der kan relateres til de varer og serviceydelser, som forbruges i Danmark, samt danskernes persontransport ind og ud af Danmark og i udlandet

Tekstboks 1: International transports sammenhæng med andre typer opgørelser af transport i GA22

GA22 indeholder en række nøgletal for danske aktiviteter inden for sø- og luftfart. Det drejer sig dels om, hvor store udledninger danske aktiviteter giver anledning til, og hvordan de kan vurderes i forhold til sektorens og andre aktørers udledninger. Derfor er det væsentligt i højere grad at forholde sig til udviklingen i udledningerne frem for de absolutte udledninger, idet udledningerne også er drevet af ændringer i de danske markedsandele ift. den globale efterspørgsel på transport. Den globale efterspørgsel kan betragtes som eksogen, idet den vil være til stede og blive mødt, hvad enten den efterkommes af danske eller udenlandske aktører.

GA22 indeholder desuden en gennemgang af den internationale regulering af områderne samt en række cases, der kaster lys over danske indsatser. Endelig indeholder GA22 perspektiver for en række teknologier og drivmidler, som kan forventes at kunne blive en del af løsningen for at omstille international sø- og luftfart på længere sigt.

Notatet er udarbejdet af Energistyrelsen, i samarbejde med Transportministeriet, Trafikstyrelsen og Søfartsstyrelsen samt med input fra og i dialog med branchen.



2. International luftfart

Luftfartssektoren består af luftfartsselskaber, lufthavne, handlingsselskaber (ansvarlige for håndtering og ekspedition af passagerer, bagage, fragt m.m.), flyvedligeholdsvirksomheder, luftfartsskoler og andre luftfartsrelaterede virksomheder. Luftfart er et tværnationalt erhverv, hvor fly, flyselskaber, bemandselselskaber mv. kan være registreret i eller have tilknytning til andre lande, end der hvor operationen tager udgangspunkt. Dette gælder særligt inden for EU pga. det frie luftfartsmarked.

I dette kapitel er fokus på selve luftfartssektoren, herunder både på danske luftfartsselskabers globale aktiviteter og på alle selskabers – også udenlandske selskabers - flyvninger til og fra Danmark. Dansk relateret er i denne sammenhæng indkredset ud fra de tilgængelige databaser, dvs. data for 1) alle fly, uanset tilhørsforhold, der flyver til og fra Danmark, 2) udenrigsluftfartens tankning i Danmark, uanset tilhørsforhold samt 3) alle dansk opererede fly, der tankes i udlandet.

2.1. Klimaregulering af international luftfart

Luftfartens udledninger er reguleret i EU's kvotehandelssystem (ETS) og i FN's internationale civile luftfartsorganisations (ICAO) globale CO₂-reguleringsmekanisme CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation). Begge reguleringssystemer anvender en markedsbaseret tilgang, som skaber økonomisk incitament for luftfartsselskaberne til at mindske deres CO₂-udledning. I Danmark er der ingen national beskatning af luftfartens udledninger. Endvidere er store dele af luftfarten momsfrataget.

EU ETS har siden 2012 omfattet flyvninger inden for EU og Det Europæiske Økonomiske Samarbejdsområde (EØS) (inkl. flyvninger til Storbritannien og Schweiz). Luftfartsselskaberne skal købe CO₂-kvoter i kvotehandelssystemet svarende til deres udledninger på flyvninger internt i EU. Luftfartsselskaberne modtager dog en del af deres kvoter gratis. Gratiskvotemængden blev oprindeligt fastsat til 85 pct. af luftfartsselskabernes CO₂-udledninger, men på grund af vækst i luftfartssektoren dækker gratiskvotemængden i dag en markant mindre andel af det enkelte luftfartsselskabs samlede kvotebelagte udledninger. I forbindelse med 'Fit for 55'-pakken er det dog foreslået gradvist at udfase gratiskvoter, jf. tekstboks 3.

CORSIA er et globalt system, som er designet til at medføre, at CO₂-udledningerne fra internationale flyvninger fastfryses på 2019-niveauet. Luftfartsselskaber skal kompensere for udledninger, der overstiger 2019-niveauet, dog alene på flyvninger mellem de omkring 106 stater, herunder Danmark og alle øvrige EU-lande, som deltager i CORSIA's første frivillige fase. Disse flyvninger vurderes at omfatte omkring 77 pct. af international luftfartsaktivitet (ATAG, 2021). Den første og frivillige fase blev indledt den 1. januar 2021. Fra 2027, i forbindelse med den



så kaldte anden fase, vil CORSIA blive obligatorisk. Luftfartsaktiviteten i 2021 har dog, på grund af covid-19 og de rejserestriktioner, lande har indført for at begrænse smittespredningen, været væsentligt lavere end 2019-niveauet. Ligeledes kan det forventes, at aktiviteten fortsat vil være lav i de kommende år. Som følge heraf vil luftfartsselskaberne i praksis ikke være forpligtet til at kompensere for udledninger under CORSIA i 2021, og forventeligt heller ikke i de kommende år, såfremt luftfartsaktiviteten fortsætter med at være under 2019-niveau. Kompensationen sker gennem køb af internationale kreditter, som primært medfører reduktion i udledninger i andre sektorer. Kreditterne skal ifølge ICAO leve op til en række kriterier, blandt andet, at der er tale om nye reduktioner, at kreditterne er realistiske og med en troværdig baseline samt at reduktionerne ikke tælles dobbelt. Der er etableret en Technical Advisory Board bestående af klimaeksperter fra en række lande (bl.a. Norge og Sverige), som skal udarbejde anbefalinger til ICAO's Råd, som beslutter, hvilke kreditter der kan anvendes. Desuden har Europa-Kommissionen blandt andet lagt op til, at EU-medlemslandene kun accepterer klimakreditter, der stammer fra lande, som deltager i Parisaftalen.

Europa-Kommissionen har i juli 2021, som led i 'Fit for 55'-pakken, fremsat en række forslag til øget regulering af luftfartens CO₂-udledning, herunder en revision af beskattningen af flybrændstof, en revision af kvotehandelssystemet for luftfart, samt et forslag om et europæisk iblandingskrav til luftfarten (ReFuelEU Aviation), jf. tekstboks 2.

ReFuelEU Aviation: Europa-Kommissionen har foreslået at indføre et europæisk krav til iblanding af bæredygtige brændstoffer på 2 pct. i 2025, stigende til 5 pct. i 2030 med et underkrav om iblanding af syntetiske brændstoffer, som fx PtX. Kravet forøges over tid til 63 pct. i 2050 med et underkrav til syntetiske flybrændstoffer på 28 pct. Forslaget vil pålægge forpligtelser for luftfartsoperatører, europæiske lufthavne og brændstofleverandører.

Revision af EU's kvotehandelssystem for så vidt angår luftfart: Europa-Kommissionen foreslår at reducere kvotemængden og gradvist at udfase gratiskvoter til luftfartselskaber frem mod 2027 samt at implementere CORSIA i EU's kvotehandelssystem.

Revision af Energibeskatningsdirektivet: Europa-Kommissionen foreslår at afskaffe den obligatoriske afgiftsfritagelse for flybrændstof. Flybrændstof til internationale flyvninger vil blive underlagt minimumsafgifter, som indføres henover en tiårig periode.

AFIR-(Alternative Fuels Infrastructure Regulation): Europa-Kommissionen foreslår at særligt større lufthavne skal sikre elektricitetsforsyning ved lufthavnenes standpladser frem mod 2030. Elektricitetsforsyningen skal understøtte, at flyene kan slukke motorerne i forbindelse med parkering mellem to flyafgange.

Tekstboks 1: Fit for 55-forslag på luftfartsområdet.

Foruden 'Fit for 55'-pakken har Kommissionen foreslået en revision af Single European Sky II plus-forslaget (SES II+). Forslaget har til formål at effektivisere lufttrafikstyringen af fly i Europa for at skabe operationelle forbedringer for flytrafikken, fx mere direkte flyvninger. Danmark støtter Kommissionens overordnede målsætning med forslaget om blandt andet at fastholde og øge ambitionsniveauet for SES, med henblik på at opnå miljømæssige, kapacitetsmæssige og omkostningsmæssige fordele ved effektivisering af det europæiske luftrum, samt give mulighed for, at overflyvningsafgiften fremtidigt kan differentieres efter flyenes CO₂-udledning.

Den danske regering ønsker generelt en mere ensartet CO₂-prissætning, der kan drive en omkostningseffektiv indfrielse af EU's klimamål på tværs af sektorer og medlemslande. Der arbejdes for så høje fælleseuropæiske krav som muligt til iblanding af bæredygtige flybrændstoffer og for muligheden for, at medlemslande kan fastsætte højere krav til iblanding nationalt.

Danmark har i forbindelse med COP26 underskrevet en erklæring om international luftfarts klimaambitioner (COP26, 2021), hvor de underskrevne lande i forbindelse med ICAO's generalforsamling i 2022 vil arbejde for, at der fastsættes ambitiøse langsigtede klimamål for den global luftfartssektors grønne omstilling.

2.2. Udledninger – nøgletal og indikatorer

I indeværende afsnit præsenteres udviklingen i en række nøgletal og indikatorer for flyoperationer, som enten ankommer til eller afgår fra Danmark. Nøgletallene og indikatorerne viser forskellige opgørelser af CO₂e-udledninger i forhold til rejseaktiviteten og effektiviteten i sektoren. Desuden præsenteres udledninger fra dansk opererede flys tankning i udlandet, som også omfatter flyveaktiviteter, der ikke nødvendigvis berører Danmark territorielt. En stor del af de dansk opererede flys tankning i udlandet vil dog være forud for en flyrejse til Danmark og der vil derfor været et vist overlap mellem de to opgørelser.

De opgjorte nøgletal og indikatorer vedrører udelukkende selve flytransporten, som også står for langt størstedelen af luftfartens udledninger, og dækker således ikke over øvrige udledninger forbundet med flyrejser, eksempelvis lufthavnens udledninger. Udledningstallene omfatter kun den direkte udledning af drivhusgasser fra afbrænding af brændstof.

Som beskrevet i afsnit 2.3 er det påvist, at forbrænding af flybrændstof i højere luftlag har en større klimaeffekt, end den som alene tilskrives udledningen af drivhusgasserne CO₂, CH₄ og N₂O. Der er dog fortsat videnskabelig usikkerhed vedr. størrelse og metoder for opgørelse af denne ekstra klimaeffekt, ligesom der endnu ikke er international konsensus om, hvordan effekten skal indregnes i

officielle klimaregnskaber. I GA22 opgøres klimaeffekten for udenrigsflyvning derfor fortsat kun som de direkte drivhusgasudledninger.

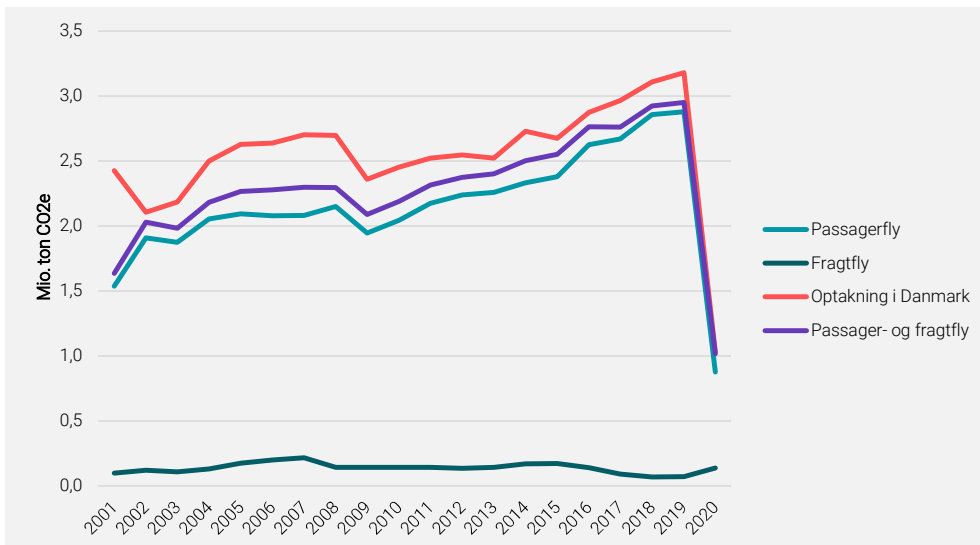
Der henvises til metodeafsnit 2.6 (og dertil hørende bilag) for nærmere beskrivelse af data, afgrænsninger, metode og kilder.

Udledninger

Udledningen af drivhusgasser forbundet med flyvninger fra Danmark til første udenlandske destination lå i 2009 på ca. 2,1 mio. ton CO₂e, hvilket frem mod 2019 steg til ca. 2,9 mio. ton CO₂e, jf. kurven "passager- og fragtfly" i figur 1. Tallene dækker over udledninger fra fly med afgang fra Danmark uanset passagerernes eller flyenes nationalitet. Stigningen i udledningerne afspejler en generel international vækst i efterspørgslen på flytransport. Udledningerne faldt herefter markant i 2020 til omkring 1 mio. ton som følge af covid-19.

Figur 1 viser udledningerne på baggrund af to forskellige opgørelsesmetoder. Den røde kurve præsenterer CO₂e-udledningerne på baggrund af Energistatistikens opgørelse af udenrigsflyvningers tankning i Danmark (danske såvel som udenlandske fly). De øvrige kurver viser CO₂e-udledningerne ud fra bottom-up beregninger baseret på data for trafikarbejde, opgjort deltallet efter flytyper, i kombination med gennemsnitsværdier for en række repræsentative flytypespecifikke udledninger. Metoden giver, som vist i figuren, mulighed for en opdeling af udledningerne på henholdsvis passager- og godstransport fra Danmark. De dedikerede fragtflyvninger udgør dog kun en beskedent del af luftfartsaktiviteten i Danmark, og derfor kun en lille del af de samlede beregnede udledninger. Det bemærkes desuden, at passagerflyvninger oftest også befordrer fragt i lastrummet. Se bilag 2.8.1 og 2.8.2 for nærmere beskrivelse af datagrundlag og beregningsmetode.

Udledningerne forbundet med tankning i Danmark er i perioden 5-10 pct. højere end de beregnede udledninger for brændstofforbruget for flyvningen til den efterfølgende lufthavn. Dette kan bl.a. skyldes, at der tankes mere i Danmark end alene påkrævet for videreflyvningen til den efterfølgende lufthavn i udlandet. I begge opgørelser falder udledningerne i 2020 til ca. 1 mio. ton CO₂e, jf. figur 1.

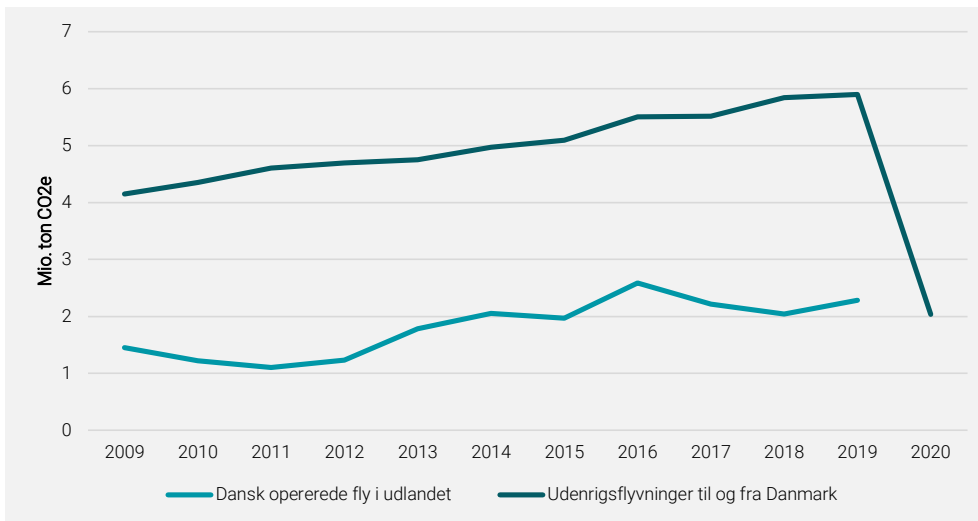


Figur 1. Udlledning af drivhusgasser forbundet med udenrigsflyvning fra Danmark i perioden 2009-2020. Kilder: (Energistyrelsen, 2021; Trafikstyrelsen, 2021).

Flytrafikken til og fra Danmark er i al væsentlighed symmetrisk, dvs. af samme størrelse i begge retninger. De samlede udledninger forbundet med flyrejser til og fra Danmark var i 2019 ca. 6 mio. ton, omtrent det dobbelte af udlledningerne knyttet alene til flyvninger fra Danmark. Dette fremgår af figur 2, hvor den bottom-up beregnede udlledning er vist samlet for begge retninger. De beregnede udledninger omfatter udenrigsflyvninger med passagerer og/eller gods uanset flyselskab og -ejerforhold på strækninger mellem en dansk lufthavn og den efterfølgende eller seneste udenlandske lufthavn. Udlledningerne kan ikke specifikt knyttes til de ombordværende passagerers nationalitet eller fragtgodsets produktions- eller slutanvendelsesland. Beregningen er lavet med afsæt i, at alle flyvninger foretages uden brug af bæredygtige flybrændstoffer eller lignende, der kan nedbringe flyvningens CO₂-udledning på den enkelte operation⁶.

Figur 2 viser endvidere udviklingen i udledningen af drivhusgasser fra dansk opererede flys tankning i udlandet, som indgår i Danmarks Statistiks Grønt nationalregnskab (data kun tilgængelige frem til 2019). Stigningen i udlledningerne, både de territorialt tilknyttede såvel som de virksomhedsøkonomisk relaterede, forårsages primært af en voksende global efterspørgsel på flytransport. I opgørelsen af udlledningerne for dansk opererede flys tankning i udlandet vil ændringer i markedsandele dog også kunne påvirke andelen af udlledningerne med dansk tilknytning.

⁶ Ifølge ICCT (International Council on Clean Transportation, udgjorde produktionen af SAF (Sustainable Aviation Fuel) i 2019 kun 0,05 pct. af det globale Jet fuel behov.



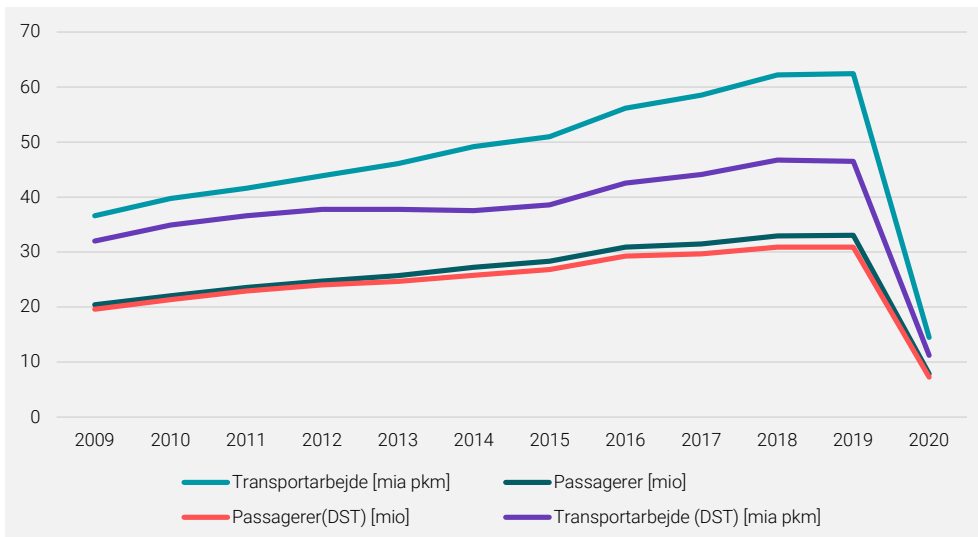
Figur 2. Udledning af drivhusgasser forbundet med udenrigsflyvning til og fra Danmark samt fra dansk opererede flys tankning i udlandet i perioden 2009-2020, både passager- og godstransport. Kilder: (Trafikstyrelsen, 2021; Danmarks Statistik, 2021).

Aktivitet

Udviklingen i aktiviteten kan angives enten som udviklingen i antallet af passagerer eller ved udviklingen i transportarbejde, dvs. udviklingen i antal personkilometer. Udviklingen i antal passagerer og transportarbejde forbundet med udenrigsflyvning til og fra Danmark er vist i figur 3 på baggrund af data fra dels Danmarks Statistik og dels på baggrund af et særudtræk fra Trafikstyrelsens Luftfartstatistik.

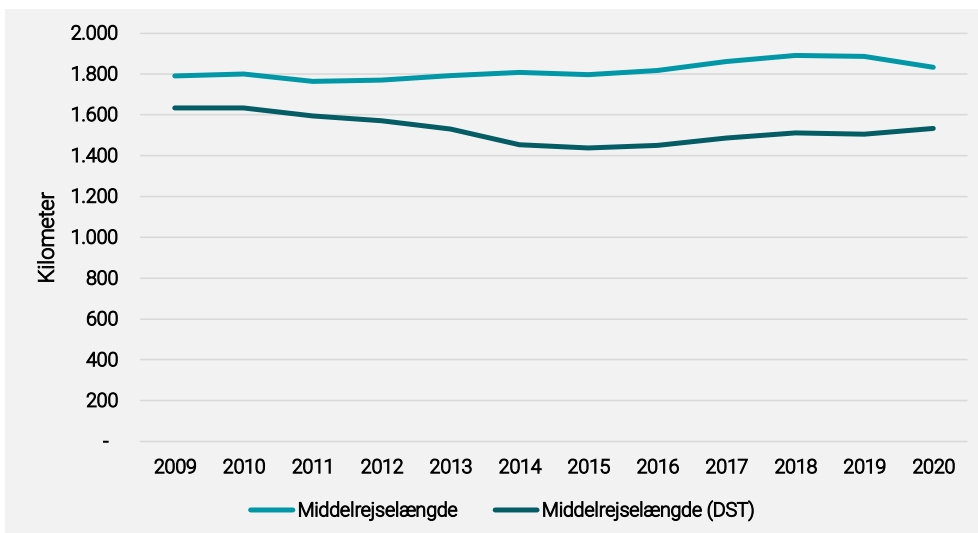
Antallet af passagerer på udenrigsfly til og fra Danmark steg fra ca. 20 mio. i 2009 til ca. 33 mio. i 2019. Ligeledes voksede transportarbejdet i samme periode fra ca. 37 mia. personkilometer til ca. 62 mia. personkilometer. Stigningerne i både antal passagerer såvel som transportarbejdet afspejler en generel international vækst i efterspørgslen på flyrejser og flytransport. Effekten af covid-19 på luftfarten ses for begge opgørelsesmetoder tydeligt i 2020, hvor antallet af passagerer faldt til ca. 8 mio. og transportarbejdet faldt til ca. 12. mia. personkilometer.

De to opgørelsesmetoder anvender ikke eksakt samme afgrænsninger i forhold til bl.a. hvilke danske lufthavne, der er omfattet samt definition af en flyrejse, jf. beskrivelse af datakilder i bilag 2.8.1. Endvidere benytter Danmarks Statistik storcirkelafstande mellem lufthavne, mens bottom-up beregningen anvender approksimative faktiske flyvelængder (se bilag 2.8.2). Der er derfor bl.a. af denne grund niveauforskel på opgørelserne, selvom begge opgørelser benytter dataudtræk fra Trafikstyrelsens luftfartstatistik. Det har for nuværende ikke været muligt at afdække yderligere årsager og nærmere detaljer angående forskelle i datagrundlag og opgørelsesmetoder.



Figur 3. Antal passagerer og transportarbejde forbundet med udenrigsflyvninger til og fra Danmark i perioden 2009-2020. Note: Bemærk at y-aksens enheder er forskellig afhængig af tidsserier. Kilder: (Trafikstyrelsen, 2021; Danmarks Statistik, 2021).

Forskellen i kildeanvendelse og opgørelsesmetoder kommer tydeligt til udtryk ved beregningen af udviklingen i den gennemsnitlige rejselængde pr. passager som vist i figur 4.

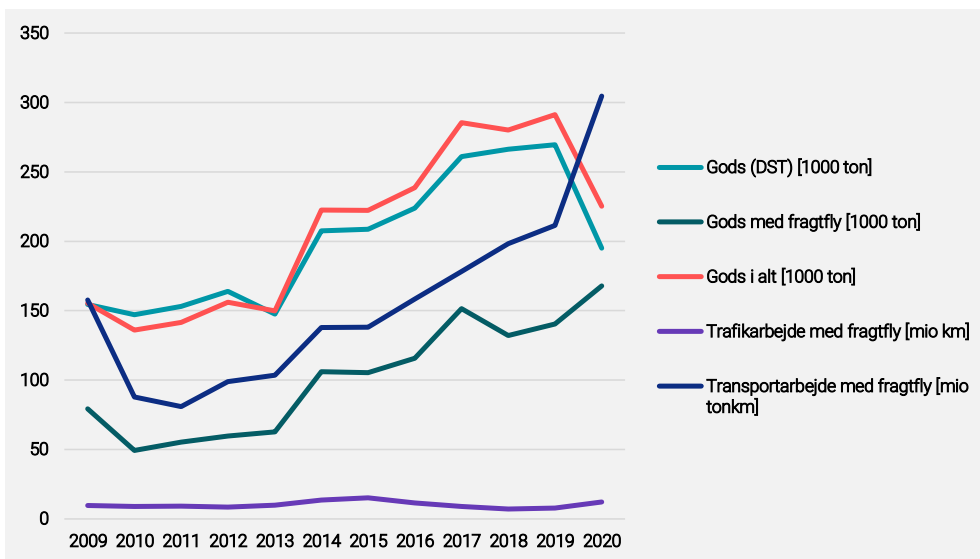


Figur 4: Gennemsnitlig rejselængde pr. passager på udenrigsflyvninger til og fra Danmark i perioden 2009-2020. Kilder: (Trafikstyrelsen, 2021; Danmarks Statistik, 2021).

I perioden 2009 til 2020 er der ikke sket en betydelig ændring i middelrejselængden. Luftfartsstatistikken angiver en rejselængde, der ligger ca. 200 km lavere end rejselængden baseret på Danmarks Statistiks data.



I figur 5 vises udvikling i godsmængder og flyveaktivitet for perioden 2009 til 2020. Mængden af flygods i alt (med både passager- og fragtfly) er i perioden fordoblet fra ca. 0,15 mio. ton i 2009 til ca. 0,30 mio. ton i 2019 (men faldt til ca. 0,23 mio. ton i 2020). Transportarbejdet (med fragtfly) målt i tonkm er tilsvarende fordoblet, mens trafikarbejdet med fragtfly målt i km har ligget forholdsvis konstant på omkring 10 mio. km med årlige udsving på +/- 2 mio. km.



Figur 5. Transporteret gods (opgjort særskilt for fragtfly og samlet set, hvilket inkluderer 'belly freight'), trafikarbejde med fragtfly og transportarbejde med fragtfly for perioden 2009-2020. Kilder: (Trafikstyrelsen, 2021; Danmarks Statistik, 2021). Noter: Bemærk at y-aksens enheder er forskellig afhængig af tidsserier. Transportarbejde med fragtfly er for 2017 estimeret på baggrund af data for 2016 og 2018.

Både transportarbejdet og godsmængden med fragtfly udviser en kraftig stigning i 2020 sammenholdt med den historiske trend. Afvigelsen kan knyttes til covid-19. Normalt vil passagerfly også befordre fragt – såkaldt "belly freight". Pga. covid-19 har der været færre passagerfly, men for at imødekomme efterspørgslen på fragtleverancer, har fragt været nødsaget til at blive befordret på rene fragtflyvninger. Under covid-19 ses der således et fald i den samlede fragtmængde, pga. et væsentligt fald i fragt på passagerfly, men en (dog ikke tilsvarende) stigning i fragtmængden på fragtfly.

Indikatorer for effektivitetsudvikling

For at belyse den overordnede effektivitetsudvikling er der opstillet og beregnet indikatorer, hvor udledningerne er sat i relation til forskellige aktiviteter i sektoren. For passagerflyvninger er, på baggrund af tilgængelige data, udvalgt følgende indikatorer:



- Udlledning per flyrejsende (CO₂e per person)
- Udlledning per transportarbejde (CO₂e per personkilometer)
- Udlledning per trafikarbejde (CO₂e per flykilometer)

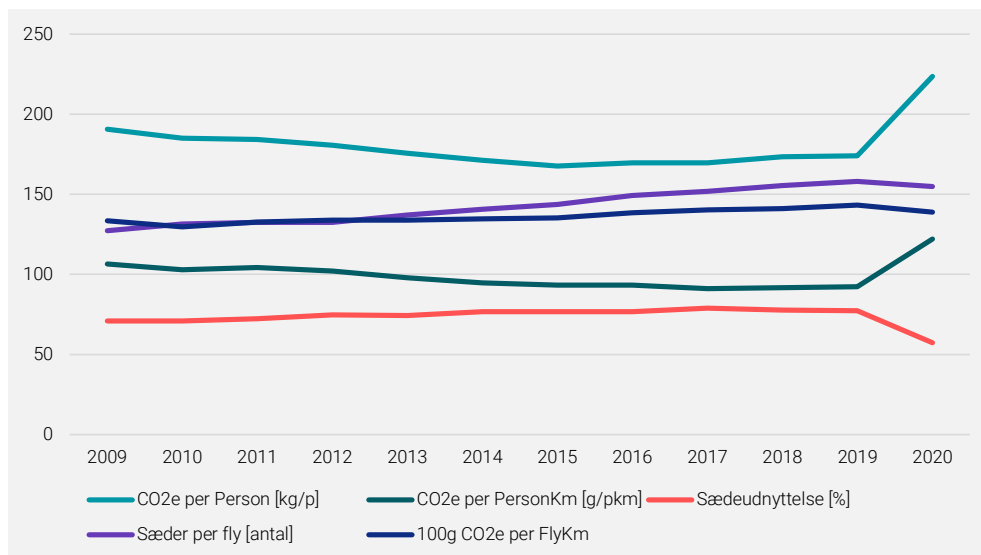
Indikatorerne beregnes som årgennemsnit på baggrund af data fra Luftfartsstatistikken og bottom-up beregning af udledningerne. Fremgangsmåden sikrer, at der er overensstemmelse mellem opgørelsen af den aktivitet (nævneren) og opgørelsen af den CO₂e-udledning (tælleren), som aktiviteten giver anledning til. Metoden er beskrevet i bilag 2.8.2.

Desuden belyses udvikling i flystørrelse og udnyttelsen af flyenes transportkapacitet udtrykt ved indikatorerne:

- Flystørrelse (sæder per fly)
- Belægningsgrad: Bookede sæder pr udbudte sæder (måles i passagerer per sæde)

Indikatorerne kan ikke direkte udpege de bagvedliggende årsager til udviklingen, da en lang række faktorer har indflydelse herpå, men kan være med til at give et billede af udviklingen.

Udviklingen i indikatorerne er vist i figur 6.



Figur 6: Udvikling i de fem indikatorer, som er opstillet for at belyse effektivitetsudviklingen i udenrigsluftfarten (passagerflyvninger) til og fra Danmark i perioden 2009-2020. Kilde: (Trafikstyrelsen, 2021). Note: Bemærk at y-aksens enheder er forskellig afhængig af tidsserier.



Den gennemsnitlige flystørrelse, udtrykt som antal sæder per fly, er i perioden 2009 til 2019 vokset med 24 pct. fra ca. 130 sæder til ca. 160 sæder. I samme periode er flyenes udledningsintensitet (CO₂e-udledning per flykilometer) kun vokset med 7 pct. fra 13,2 kg til 14,2 kg CO₂e per flykilometer. Det vil sige, at flyene er blevet større og relativt mere energieffektive i forhold til antallet af sæder. Samtidig er sædeudnyttelsesgraden vokset fra ca. 71 pct. i 2009 til 77 pct. i 2019.

Samlet set giver dette anledning til en reduktion i udledningen per personkilometer fra 105 g CO₂e/personkilometer i 2009 til 91 g CO₂e/personkilometer i 2019, svarende til et fald på ca. 13 pct. Ligeledes ses udledningen per flyrejsende at være faldet med 9 pct. fra 189 kg CO₂e/person i 2009 til 172 kgCO₂e/person i 2019. Forbedringerne i begge udledningsintensiteter (udledning per person og udledning per personkilometer) er sket i perioden 2009 til 2015, hvorefter niveauerne er stabiliseret. Ud over de ovennævnte forhold kan andre faktorer som eksempelvis optimering af flyveruter, udnyttelse af vejrforhold og hastigheder have bidraget til den øgede effektivitet og reducerede udledningsintensitet.

Covid-19's konsekvenser for flybranchen i 2020 fremgår tydeligt af figuren. Sædeudnyttelsesgraden faldt markant, selvom større fly, hovedsageligt på interkontinentale ruter, angiveligt blev taget ud af drift, jf. kurverne for 'sæder per fly' og 'CO₂e-udledning per flykilometer'. Udledningerne per passager henholdsvis personkilometer steg til markant højere niveauer end de respektive niveauer i 2009.

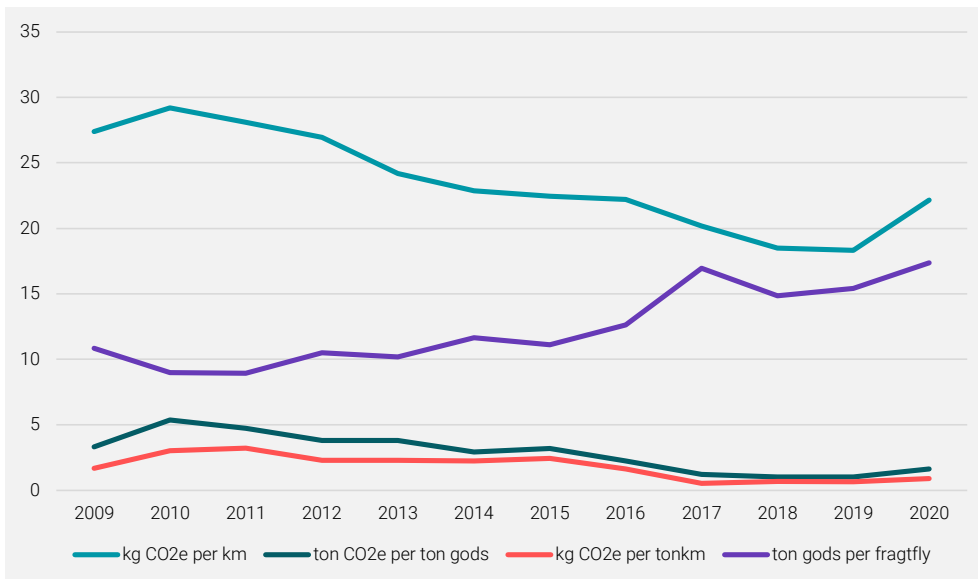
For fragtflyvninger er der beregnet tilsvarende indikatorer:

- Udledning per fragtgods (CO₂e per ton fragt)
- Udledning per transportarbejde (CO₂e per tonkilometer)
- Udledning per trafikarbejde (CO₂e per flykilometer)

Det har dog for fragtfly ikke været muligt at angive indikatorer for udvikling i eksempelvis størrelsen/kapaciteten for fragtfly eller udnyttelsesgraden. Det har alene været muligt at beregne:

- Godsmængde per fragtfly (ton fragt per fly)

Udviklingen i indikatorerne er vist i figur 7.



Figur 7: Udvikling i de fire indikatorer, som er opstillet for at belyse effektivitetsudviklingen i udenrigsluftfarten (fragtflyvninger) til og fra Danmark i perioden 2009-2020. Opgørelsen er foretaget for rene fragtfly og inkluderer således ikke 'belly freight' i passagerfly. Kilde: (Trafikstyrelsen, 2021). Note: Bemærk at y-aksens enheder er forskellig afhængig af tidsserier.

Fragtflyvninger har i årene 2009 til 2019 undergået en kraftig effektivisering. Den gennemsnitlige godsmængde per fragtflyvning er vokset ca. 50 pct. fra omkring 10 ton i 2009 til omkring 15 ton i 2019. Trods den øgede godsmængde per fly er udledningen per fragtflykilometer faldet ca. 33 pct. fra næsten 30 kg CO₂e i 2009 til under 20 kg CO₂e i 2019. Udledningen per transportarbejde er i samme periode faldet ca. 60 pct. fra 1,7 kg CO₂e/tonkilometer til 0,7 kg CO₂e/tonkilometer. Udledningen per ton fragtet gods er faldet med hele 70 pct. fra 3,3 til 1,0 ton CO₂e per ton fragtgods. Udviklingen vurderes at kunne tilskrives den stigende efterspørgsel på fragtflyvning kombineret med effektivisering af logistik og en øget gennemsnitlig godsmængde per fragtflyvning. Samtidig er udledningen per flykilometer i samme periode reduceret, formentlig ved udskiftning af gamle fly til nyere samt større og mere energieffektive fly.

Opsamling

Over det seneste årti er det samlede passagerantal og fragtet gods til og fra Danmark steget. De samlede udledninger forbundet hermed er derfor steget (når der ses bort fra effekterne af covid-19 de sidste to år) og lå på ca. 6 mio. tons i 2019. I samme periode faldt udledningerne pr. passager med ca. 9 pct. til 172 kgCO₂e/passager mens udledningerne pr. passagerkilometer faldt med ca. 13 pct. til 91 g CO₂e/kilometer. Dette viser, at aktiviteten i udenrigsluftfarten er steget, men at sektoren overordnet set er blevet mere effektiv.



2.3. Luftfartens ikke-CO₂-relaterede klimaeffekter

Et særligt fokusområde for luftfarten er de ikke-CO₂ relaterede klimapåvirkninger, der opstår ved udledninger af emissioner i stor højde. Danmarks Meteorologiske Institut beskriver i tekstboks 3 de overordnede tekniske aspekter i dette komplicerede emne. Som det fremgår af tekstboksen, er der usikkerhed knyttet til de enkelte elementers effekter, og et komplekst sammenspil mellem dem. Det skyldes dels forhold omkring tidshorisonter, modsatrettede effekter og andre betydende faktorer som flyvehøjder, vejr- og klimatiske forhold.

Gennem mange årtier er der arbejdet videnskabeligt med at forstå og kvantificere sammenhænge mellem luftfart og klimaeffekter (Lee et al, 2009). Den litteratur, Energistyrelsen har gennemgået, peger på, at klimapåvirkningen fra flyvning kan være mellem 1 og mere end 3 gange højere end den CO₂-relaterede del, afhængig af metode og tidshorisonter (Azar & Johansson, 2011; Jungbluth & Meili, 2018; Lee et al., 2021). Der er stadig udfordringer ved at pege på én valid faktor, som skal omsætte effekten til CO₂-ækvivalenter (Committee on Climate Change, 2020). I forbindelse med reguleringer af luftfarten diskuteres det derfor også, hvorvidt det er bedre at målrette regulering direkte mod de ikke-CO₂ relaterede effekter, fx NO_x-udledning eller brændstoffets aromatiske indhold, frem for at forsøge at sammenveje effekterne i en fælles CO₂-ækvivalent for luftfart (EASA, 2020). Til trods for disse udfordringer er der internationalt et stadigt voksende fokus, ikke mindst hos både erhvervsliv, NGO'er og på politiske niveauer, for at komme frem til en faktor, som kan indregne ikke-CO₂-effekterne i opgørelser over CO₂-udledninger.

I Storbritannien udgiver den britiske regerings Erhvervs-, energi- og industriministerium (Department for Business, Energy & Industrial Strategy) årligt et sæt konverteringsfaktorer, der kan anvendes internationalt af virksomheder og organisationer, der ønsker at fastlægge deres klimaaftryk. I sin 2021-udgave anbefales for alle typer af flyrejser en faktor på 1,9, hvis man ønsker at inkludere ikke-CO₂ relaterede effekter af flytransport (Department for Business, Energy & Industrial Strategy 2021). Det understreges samtidig, at det er forbundet med stor usikkerhed at anvende faktoren, og at der forskes aktivt i området.

I Sverige anvender Chalmers Tekniska Högskola i deres beregninger for svenskeres flyrejser i hele verden også en faktor 1,9 for internationale flyvninger, men en faktor 1,4 for indenrigsflyvninger (Chalmers Tekniska Högskola, 2019). Transportstyrelsen i Sverige indregner dog p.t. ikke de ikke-CO₂ relaterede effekter i deres opgørelser.

I forbindelse med revisionen af EU's kvotehandelssystem (EU ETS) blev Kommissionen pålagt at ajourføre analyser af de ikke-CO₂ relaterede virkninger af luftfart, herunder at se på, hvordan disse virkninger bedst kan imødegås. Analysearbejdet fra 2020 peger på forskningsspørgsmål, der stadig skal besvares

for at kunne gennemføre politiske tiltag rettet mod ikke-CO₂ relaterede udledninger. Det drejer sig bl.a. andet om spørgsmål vedr. behovet for en nøjagtig og international anerkendt metode til bestemmelse af NO_x-udledningen i flyvefasen, behovet for et passende mål for CO₂-ækvivalente udledninger og en tidshorisont for NO_x-udledningernes virkning under hensyntagen til trade-offs mellem NO_x- og CO₂-udledninger i motordesignet (EASA, 2020).

Ud over at inkludere de ikke-CO₂ relaterede udledninger i kvotehandelssystemet eller i CORSIA er tiltag rettet direkte mod de ikke-CO₂ relaterede udledninger også blevet undersøgt (EASA, 2020; Niklass et al., 2020). Eksempelvis tiltag rettet mod nedsættelse af aromatindholdet i brændstof, krav til brugen af bæredygtige flybrændstoffer og styring af lufttrafik til at undgå isovermættede områder for derigennem at nedbringe dannelsen af cirrusskyer. Nogle af tiltagene er inkluderet i 'Fit for 55'-pakken fra EU Kommissionen, som vil blive forhandlet i de kommende år.

Luftfartens klimaeffekter

I højere luftlag vil flys udstødning have en klimaeffekt ud over den direkte CO₂-effekt. Dels vil øvrige udledninger fra forbrændingsprocessen (NO_x, sulfat, sod og vanddamp) have en klimaeffekt, dels medfører flyets udledninger skydannelse i form af kondensstriber og dannelse af cirrusskyer, som giver en kraftig, men kortvarig opvarmning.

Der er fortsat videnskabelig usikkerhed omkring størrelsesordenen af disse effekter, og hvordan de opgøres. Atmosfæriske processer og komplekse kemiske vekselvirkninger gør det svært at modellere, og usikkerhederne er derfor særligt store for non-CO₂-effekterne. En komplikation skyldes, at NO_x-effekten er afhængig af fremtidige ændringer i udledninger af luftforurening ved jordoverfladen, fordi atmosfærens sammensætning ændrer den kemiske omsætning. Derudover er der store usikkerheder forbundet med vekselvirkningen mellem udstødningspartiklerne og skyer. Endelig er klimapåvirkningen fra non-CO₂-effekterne foruden flyhøjde og rute påvirket af brændstofforbrug, brændstoftype, temperatur og tidspunkt på døgnet.

Overordnet giver kondensstriber, relateret til cirrusskydannelse og ozondannelse fra NO_x-udstødning en kortvarig, kraftig opvarmning, som kan ses i den globale overfladetemperatur 10 år efter udledningen, mens CO₂ både har en opvarmende effekt på den korte (10-årige) tidsskala og dominerer den samlede opvarmning på langt sigt. Ved internationale indrapporteringer af udledninger for luftfart indgår på nuværende tidspunkt kun den direkte CO₂-udledning.

For at sammenligne effekten fra de langlivede CO₂-udledninger og de kortvarige effekter fra de øvrige udstødningsgasser, kræves en omregning til CO₂-ækvivalenter. Den oftest benyttede omregningsmetode er den såkaldte GWP₁₀₀ (*Global Warming Potential over 100 år*) og når denne benyttes, findes at klimaeffekten af flytransport er 1,7 gange højere end effekten af CO₂-udledningerne alene (baseret på tal for 2018, se også tabel 1). Det er dog ikke nødvendigvis anbefalelsesværdigt at definere en universel, simpel faktor, til udregning af den relative klimapåvirkning. Det skyldes, at resultatet er afhængigt af valget af metodik og især tidshorisont, og

ikke reflekterer variationerne i hverken den globale flåde af fly eller de varierende atmosfærebetingelser.

Klimaeffekter fra luftfart estimeret for 2018. Kilder: IPCC AR6 WGI, Lee et al (2020)			
CO ₂	Direkte udledning fra forbrænding	Opvarmende effekt; langvarig	0,034 W/m ²
Kondensstriber og cirrus skydannelse	Kondensstriber og cirruskyer kan dannes omkring udstødningspartiklerne	Opvarmende effekt; kortvarig	0,057 W/m ²
NO _x	Kemisk omsætning af NO _x medfører dannelse af ozon i troposfæren (varmende effekt), nedbrydning af metan (kølede effekt) og nedbrydning af vanddamp og ozon i stratosfæren (kølede effekt)	Netto opvarmende effekt; kortvarig	0,017 W/m ²
Vanddamp	Direkte udledning fra forbrænding	Opvarmende effekt; kortvarig	0,002 W/m ²
Sulfatpartikler	Direkte udledning fra forbrænding	Kølede effekt; kortvarig	-0,007 W/m ²
Sodpartikler	Direkte udledning fra forbrænding	Opvarmende effekt; kortvarig	0,00094 W/m ²
Aerosollers vekselvirkning med skyer	Direkte udledning fra forbrænding	Mulig kølede effekt; kortvarig	Kan ikke estimeres

Tabel 1: Tabellen giver et øjebliksbillede fra 2018 af størrelsesordenen af de forskellige klimaeffekter fra fly. Her er effekten angivet som effektiv strålingspåvirkning angivet i W/m². Ud fra disse tal, kan en klimaeffekt i CO₂-ækvivalenter beregnes, som beror på et valg af omregningsmetode (metrik) for sammenligningen af de kortlivede og langlivede effekter. Hvis den ofte benyttede metrik for CO₂-ækvivalenter, GWP100, anvendes, findes for 2018 at klimaeffekten af flytransport er 1,7 gange højere end effekten af CO₂-udledningerne alene. Der er en anseelig, men ikke kvantificerbar, usikkerhed på tallene i tabellen og dermed også på faktoren 1,7.

Tekstboks 2: Luftfartens non-CO₂ klimaeffekter. Forfatter: DMI 2021.

Kilder: IPCC sjette hovedrapport (2021), Working Group I: The physical science basis, EASA (2020), Updated analysis of the non-CO₂ climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to EU Emissions Trading System Directive Article 30(4), Lee et al., Atmospheric Environment (2021), The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018.

Der er fra mange sider i den internationale debat om luftfartens klimaeffekter et ønske om at inddrage de ikke-CO₂ relaterede udledninger for at få et så retvisende billede som muligt af de samlede effekter og for at initiativer kan vurderes og håndteres mere korrekt på tværs af de forskellige sektorer. Som det fremgår af afsnit 2.2 indgår de ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter endnu ikke i GA i opgørelserne for luftfarten, med henvisning til den manglende officielle konsensus om størrelsesordnerne og den fortsatte usikkerhed knyttet til effekterne.



I GA-arbejdet vil der løbende blive fokuseret på udviklingen i viden, metoder og konsensus om emnet med henblik på at inkludere effekterne i opgørelserne.

2.4. Indsatser

Både internationalt og i Danmark arbejdes der på flere fronter for at reducere udledningerne fra luftfarten. Dette vedrører blandt andet udvikling af bæredygtige flybrændstoffer med tilhørende etablering af forsyningskæder, nye teknologier samt optimering af flyveruter og optimering af logistikken i lufthavnene. Indsatserne er på nuværende tidspunkt særligt drevet af erhvervslivet.

Klimapartnerskabet for Luftfart er et af 14 klimapartnerskaber, regeringen har nedsat med erhvervslivet. I sin rapport fra foråret 2020, har Klimapartnerskabet for Luftfart udarbejdet en række initiativer og anbefalinger til regeringen, som skal bidrage til Danmarks 70 pct. klimamålsætning for 2030. Med sektorkøreplanen for Klimapartnerskabet for Luftfart⁷ fra oktober 2021 opsummeres erhvervslivets målsætninger og indsatser og regeringens tiltag for at understøtte sektorens grønne omstilling i en fælles plan, der giver overblik over de igangsatte initiativer, som der vil blive arbejdet med i de kommende år.

Nedenfor i tekstboks 4 og 5 fremgår eksempler på, hvordan også andre aktører end luftfartsselskaberne arbejder for at mindske klimabelastningen fra luftfarten. Se også tekstboks 9 i afsnit 3.4 for PtX projekter i Danmark, som er målrettet både luft- og søfarten.

⁷ <https://em.dk/media/14289/sektorkoereplan-for-klimapartnerskab-for-luftfart.pdf>

Naviair

Naviair er en selvstændig offentlig virksomhed ejet af den danske stat, hvis opgave er at lede fly sikkert, og uden forsinkelser, gennem dansk luftrum samt ved ind- og udflyvning fra lufthavnene. Naviair udleder dermed ikke selv CO₂ i forbindelse med luftfart, men kan medvirke til luftfartens klimaaftryk, idet Naviair har indflydelse på fleksibiliteten og begrænsninger i den maksimale kapacitet i luftrummet, forsinkelser i luften (som betyder længere flyvetid) samt restriktioner i forhold til længere flyveveje. Naviair arbejder løbende gennem sine ydelser og services til luftfartsselskaberne for at reducere selskabernes klimabelastning. Med udgangspunkt i Dansk Luftfarts Klimaplan, Regeringens Klimaplan samt Eurocontrol og IATA's fælles Flight Efficiency Plan arbejder Naviair på at udvikle og sikre fleksibel brug af luftrummet globalt gennem:

- Korte ruter, direkte ruteføring mod destinationen og brændstoføkonomiske flyvehøjder.
- Minimal ventetid på jorden med motorer i drift gennem effektiv trafikafvikling i lufthavnene.
- Mulighed for brændstofbesparende indflyvninger til lufthavne, hvor Naviair leverer kontroltjeneste.

Optimering af trafikkoncepter

På de mest brændstofreducerende indsatsområder er Naviair langt fremme med udviklingen og brugen af nye trafikkoncepter - både inden for fri planlægning af flyvevej, hurtig opstigning til marchhøjde (Continuous Climb Operations), brændstofbesparende indflyvninger til lufthavnene (Continuous Descent Operations), Extended Arrival Management og Required Navigation Performance. Naviair søger at optimere processerne, så selskaberne får mulighed for at flyve miljørigtigt og sikkert på én og samme tid. Fx ved at tilbyde fri planlægning af flyvevej i det dansk-svenske luftrum, hvilket medvirker indirekte til at reducere luftfartens udledning af drivhusgasser.

Gennem Borealis – et samarbejde mellem lufttrafikstyringsselskaberne i Danmark, Sverige, Norge, Finland, Estland, Letland, UK, Irland og Island – har Naviair medvirket til at udvide området med fri planlægning af flyvevej, fra at omfatte det nordiske område til at hele det nordeuropæiske område er endeligt omfattet i 2021.

Ifølge Eurocontrol har fri planlægning af flyvevej i det nordeuropæiske område samlet set potentiale til at reducere luftfartsselskabernes CO₂-udledning med 47.000 ton pr. år og 210.000 ton NO_x-udledning pr. år.

Tekstboks 3: Naviars klimaindsats. Kilde: Naviair

Alight projektet – EU-projekt skal gøre Københavns Lufthavn klar til bæredygtig luftfart

Københavns Lufthavn (CPH) står i spidsen for et konsortium med 14 andre europæiske partnere, der skal skabe fremtidens bæredygtige lufthavn. Med en bevilling på knap 90 mio. kr. fra EU-kommissionens udviklingsprogram Horizon 2020, skal der i CPH udvikles konkrete løsninger og skabes et koncept for, hvordan fremtidens lufthavn kan designes. Partnerne i projektet leverer selv over 22 mio. kr. i egenfinansiering, så den samlede værdi af hele projektet er på mere end 111 mio. kr.

Projektet kaldes ALIGHT (a lighthouse for the introduction of sustainable aviation solutions for the future) og skal sikre udviklingen af løsninger på to helt overordnede udfordringer:

Den ene del handler om drift og logistik for håndtering af bæredygtige brændstoffer til fly, herunder indkøb, blanding, brændstofpåfyldning, kvalitetskontrol, sikkerhedsprocesser og prisdannelser. Med dette fokus på bæredygtigt brændstof gennemføres en omfattende dialog med brændstofproducenter og -udviklere samt slutbrugerne. Dette indebærer målinger og analyser af de nye brændstoffers klimapåvirkning såsom non-CO₂ effekter i luften og luftkvalitet på jorden. Der vil også blive udviklet en designmanual for fremtidens standplads med understøttelse af bæredygtige drivmidler til flyene såsom el og brint.

Den anden del af projektet handler om smarte energiløsninger til den øvrige lufthavnsdrift, bl.a. øget egenproduktion af vedvarende energi, energilagring, digitalisering og elektrificering samt teknologiske løsninger der kan effektivisere processer og reducere energi- og ressourceanvendelsen.

Projektarbejdet tager sit udgangspunkt i CPH, men følges tæt af lufthavnene i Rom og Vilnius samt projektfolk bag en helt ny lufthavn i Warszawa, der skal stå færdig i 2027. CPH skal tjene som inspirationskilde for andre lufthavne, og der er lagt vægt på, at resultater og erfaringer skal kunne deles og overføres til andre lufthavne. Projektet skal bl.a. udvikle en solid værktøjskasse med best practice, guidelines og håndbøger. Derfor er samarbejdet med de øvrige lufthavne i projektet helt centralt, idet effektiv overførelse af resultater kræver kendskab til regionale forhold.

ALIGHT løber i fire år. Projektstart var 1. november 2020. Deltagere i projektet: CPH, Teknologisk Institut, Lufthavnene i Litauen og Rom samt Solidarity Transport Hub Poland (ansvarlig for nye lufthavn i Warszawa), Brændstoflageret Københavns Lufthavn I/S (BKL), SAS, Nordic Initiative for Sustainable Aviation (NISA), International Air Transport Association (IATA), German Aerospace Center (DLR), AirBP, Roundtable on Sustainable Biomaterials, Hybrid Greentech, BMGindroz Consulting, University of Parma og Hamburg University of Technology.

Tekstboks 4: Alight projektet Københavns Lufthavn. Kilde: Københavns Lufthavn.

2.5. Teknologisk udvikling

Luftfarten er en af de sværeste transportformer at omstille, da luftfarten har begrænsede alternativer til fossile brændsler. Muligheden for at omstille til alternative fremdriftsteknologier, særligt dem, som indebærer hel eller delvis elektrificering, er udfordrende. En del af udfordringerne bunder principielt i behovet for at kunne medbringe tilstrækkeligt med energi ombord på flyene, uden at det kompromitterer flyets funktion i forhold effektbehov, pladsbehov, vægt og lasteevne. Samtidig stilles der omfattende krav til sikkerhed, hvilket afspejles i lange og omfattende godkendelsesprocedurer for nye fly og nye teknologier. Desuden er nye teknologier som oftest forbundet med store investeringer og omkostninger. Koblet med lange levetider for fly og materiel, kan det sænke omstillingshastigheden eller fordyre en forceret omstilling betydeligt. Der satses bredt i luftfartsbranchen på forskning og udvikling, og der er en teknologisk udvikling i gang, som på sigt forventes at kunne effektivisere branchen og medvirke til at reducere luftfartens klimaaftryk i forhold til transportarbejdet.

Sustainable Aviation Fuels (SAF)

SAF betegner såkaldt "drop-in" brændstof, der under forskellige bæredygtighedskriterier kan produceres på blandt andet restprodukter fra skov- og landbrug, affald, madolie eller ud fra "Power-to-Liquid" teknologi baseret på elektrolyse og CO₂ kilder. SAF kan iblandes almindeligt jet fuel (kerosen), og dermed er det på kort sigt tekniske muligt at reducere klimapåvirkningen fra luftfarten uden at skulle ændre på de eksisterende flyteknologier. Der vil dog stadig være udfordringer forbundet med drivhusgaseffekter knyttet til forbrændingsmotorens emissioner i stor højde, jf. afsnit 2.3. Nyere forskning tyder dog på, at SAF kan have en reducerende virkning på de ikke-CO₂ relaterede drivhusgaseffekter i stor højde (EASA, 2020).

Hver type af SAF skal certificeres af ASTM (American Society for Testing and Materials) for at sikre en forsvarlig drift og operation af flyene med nuværende motor- og brændstofsyste­mer. På nuværende tidspunkt er de godkendte SAF produkter alle certificeret med en maksimal iblandingsprocent på mellem 10 og 50 pct. Det forventes dog, at disse tilladte grænser for iblanding vil øges frem mod 2030.

Ifølge IATA (The International Air Transport Association) er der p.t. foretaget 370.000 flyvninger med jet fuel iblandet SAF. De største barrierer for øget anvendelse af SAF er ressourcemæssige begrænsninger i forhold til råvarer og høje priser på SAF sammenlignet med konventionelt jet fuel. Priserne for de forskellige SAF produkter ligger på op til 6 gange konventionelt jet fuel (Europakommissionen, 2021), hvilket er en afgørende parameter for luftfarten, hvor brændstofomkostninger udgør en stor del af de samlede omkostninger. I den europæiske luftfartsbranches rapport "Destination 2050 – A route to net zero



European aviation” forventes, at SAF produktionen vil kunne dække 6 pct. af EU's jet fuel behov i 2030 og 83 pct. i 2050.

Klimapartnerskabet for Luftfart har i deres rapport fremlagt et forslag til indfasning af SAF ved en gradvis overgang fra Gas-to-Liquid-brændstoffer til e-kerosen i 2028. Klimapartnerskabets sektorkøreplan kan på nationalt hold resultere i en iblanding på omkring 30 pct. i 2030 (Klimapartnerskab for Luftfart, 2021).

Elektrificering af luftfart

Elektrificering af luftfart omhandler både eldrevne fly med batterier eller brændselsceller og hybridfly baseret på forbrændingsmotorer i kombination med elmotorer. På verdensplan er flere selskaber på vej med små rent eldrevne fly til introduktion og godkendelser, og en lang række selskaber arbejder hårdt for at fremme og understøtte udviklingen af helt eller delvist elektriske fly. En del indenrigsflyvninger på kortere distancer forventes på sigt at kunne overgå til elektriske eller hybridfly, når disse er tilgængelige på markedet med et tilstrækkeligt antal sæder. Dette vil dog betyde, at en række forudsætninger vedrørende opladningskapaciteter, energilagring, strømforsyning fra energiproducenter og infrastrukturelle fysiske rammer i lufthavnene skal opbygges for at kunne håndtere de nye flyteknologier.

Brintfly

Der arbejdes også med udvikling af fly, der anvender brint som brændstof til forbrændingsmotorer, og således ikke i forbindelse med brændselsceller. Anvendelse af brint kræver ekstrem nedkøling eller meget højt tryk for at opnå tilstrækkelig energimængde i forhold til volumen, og selv under disse forhold stiller brint større pladskrav end jefuel. Derfor kræver brintfly en ændret opbygning af flyets strukturer og design. Desuden stiller anvendelsen af brint krav til tank- og lagringsinfrastrukturer i lufthavnene.

Der er ingen CO₂ emissioner forbundet med forbrænding af brint, og brint kan dermed reducere klimapåvirkningen fra luftfart radikalt.

På længere flyvninger er der ikke umiddelbart udsigt til andre teknologier end forbrændingsmotorer. Derfor vil SAF (herunder e-kerosen), og på længere sigt brint, formentligt være de eneste levedygtige løsninger på en komplet omstilling af luftfarten.

Udover selve motorteknologierne arbejdes der kontinuerligt på at forbedre effektiviteten på flyene i form af vægtoptimering, materialeudvikling og aerodynamiske egenskaber.



2.6. Metode

Dette afsnit beskriver den overordnede metode og afgrænsning af international luftfart i GA22.

Behandlingen af international luftfart i GA22 består overordnet set af kvantitative, databaserede opgørelser over udledningerne, en beskrivelse af hvordan sektoren reguleres i klimamæssig sammenhæng, samt kvalitative beskrivelser af reduktionsindsatser og perspektiver for den grønne omstilling.

Den kvantitative opgørelse af udledningerne tager udgangspunkt i det tilgængelige data på området med fokus på anvendelse af et konsistent datagrundlag, som kan opdateres årligt, således at opgørelsen kan gentages i kommende afrapporteringer og udviklingen dermed kan følges. Se bilag 2.8.1 og 2.8.2 for hhv. datakilder og en mere detaljeret gennemgang af metoden for opgørelse af udledningerne i form af en række nøgletal og indikatorer.

”Dansk relaterede udledninger” kan afgrænses på flere måder. Der anvendes i dag en række forskellige afgrænsninger og definitioner af dansk relateret aktivitet i gældende ordninger og statistiske opgørelser, hvoraf følgende kan nævnes:

- EU’s kvotehandelssystem (ETS) omfatter intra EU/EØS/UK flyvninger, hvor Danmark er ansvarlig for flyvninger, som udføres af danske luftfartsselskaber. Danske luftfartsselskaber er her defineret som selskaber med dansk erhvervmæssig driftslicens (Air Operator Certificate). Det er f.eks. DAT, Star Air, Sunclass Airlines, Air Alsie m.fl. Det bemærkes, at SAS i ETS-sammenhæng administreres af Sverige, idet hovedkvarteret ligger i Sverige.
- I ICAO’s CORSIA system er Danmark ansvarlig for internationale flyvninger med danske luftfartsselskaber, der defineres på samme måde som i EU’s ETS system.
- I sammenhæng med Danmarks indberetninger af luftfartsemissioner til UNFCCC, som indberettes af Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE) på vegne af Danmark, tages der udgangspunkt i flyvninger fra Danmark, uanset hvor operatøren kommer fra⁸. Udledningerne beregnes på baggrund af brændstof tanket i Danmark.
- I Danmarks Statistik opgøres udledninger forbundet med dansk opererede fly, hvilket defineres som fly opereret af flyselskaber

⁸ Udledninger fra udenrigsluftfarten indberettes til FN på trods af, at de ikke er omfattet af reduktionsforpligtelserne i forhold til FN’s Klimakonvention.

hjemmehørende/registreret i Danmark. Denne afgrænsning følger opgørelsen af BNP⁹.

I GA22 anvendes to forskellige afgrænsninger i opgørelsen af udledningerne fra udenrigsluftfart med tilknytning til Danmark. Afgrænsningen skal både være operativ i forhold til datatilgængelighed og give et retvisende billede af udledningerne forbundet med danske aktiviteter.

I den første afgrænsning defineres udenrigsflyvninger med ankomst til eller afgang fra en dansk lufthavn som værende dansk relaterede aktiviteter. Dette omfatter både danske og udenlandske flyselskaber og –operatører og der skelnes ikke mellem nationaliteten på de rejsende eller produktions- eller slutanvendelsesland for det fragtede gods¹⁰. Afgrænsningen går således alene på den territoriale eller geografiske tilknytning til Danmark, hvor passagerer der rejser til/fra, eller gods som bliver fragtet til/fra, Danmark kan siges at have en tilknytning til Danmark. Data og metoder for opgørelse af udledningerne på baggrund af den territoriale afgrænsning beskrives i bilag 2.8.1 og 2.8.2.

I den anden og supplerende opgørelse går afgrænsningen på udledninger forbundet med flyvninger, som har en virksomhedsøkonomisk tilknytning til den danske nationaløkonomi. Data herfor er fra Danmarks Statistiks Grønne nationalregnskab og omfatter udledninger fra dansk opererede flys tankning i udlandet. Dette omfatter flyselskaber, som er registreret i Danmark, og som opererer enten i Danmark eller i udlandet, men som ikke nødvendigvis har en territorial tilknytning til Danmark. Da en stor del af dansk opererede flys tankning i udlandet vil ske forud for flyvninger til Danmark, vil der være et vist overlap mellem de to afgrænsninger.

Eksempler på, hvordan danske virksomheder arbejder for at reducere de globale udledninger fra luftfarten er skrevet med bidrag fra aktører i branchen og er med til at give et billede af den igangværende udvikling. Fokus er på igangværende indsatser og initiativer, som forventes at bidrage til den grønne omstilling af sektoren.

2.7. Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer

Det påtænkes forsøgt at lokalisere og indhente information og datakilder, som vil kunne give mulighed for at fordele udledninger forbundet med udenrigsflyvning til og fra Danmark på henholdsvis danske og udenlandske statsborgere samt rejseaktiviteten.

⁹ Det betyder, at den største danske aktør, SAS, der delvist er ejet af den danske og svenske stat, kun indgår med 2/7 af SAS' samlede flyaktivitet i opgørelsen af udledningerne i det Grønne nationalregnskab.

¹⁰ Det tilgængelige data giver ikke mulighed for at skelne mellem disse forhold.



Ligeledes vil det blive undersøgt, om det er muligt at få adgang til data som understøtter en udvidet definition på længden af en flyrejse og det tilknyttede transportarbejde, hvor en flyrejse udgøres af flere på hinanden følgende flyvninger og dermed medtager eventuelle omstigninger mellem fly. En sådan opgørelse vil kunne belyse, hvor langt danske statsborgere flyver, og hvor turisterne kommer fra.

Som nævnt i afsnit 2.3 vil der i arbejdet med GA løbende blive fokuseret på udviklingen i viden og metoder for opgørelse af ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter.

2.8. Bilag

2.8.1. Datakilder for opgørelse af nøgletal og indikatorer for international luftfart Energistatistikken

I Energistyrelsens årlige Energistatistik opgøres brændstofforbrug og udledninger forbundet med lufttransport fordelt på indenrigs- og udenrigsflyvninger. Data forefindes for perioden 1990-2020. Brændstofforbruget er indberettet af olieselskaberne til Energistyrelsen, som efterfølgende formidler data til DCE. DCE fordeler brændstofforbruget på henholdsvis indenrigs- og udenrigsflyvninger ved hjælp af en model, der benytter data for bl.a. flyafgange, flytyper, flyveafstande, energieffektivitet, mv. DCE står for den officielle indberetning af emissioner til UNFCCC.

Luffartstatistikken (Trafikstyrelsen)

Til brug for GA22 har Trafikstyrelsen leveret et særudtræk fra Luftfartsstatistikken til Energistyrelsen. Særudtrækket omfatter perioden 2001-2020 med oplysninger om udenrigsflyvninger (og indenrigsflyvninger) differentieret på danske lufthavne og alle ankomster til eller afgange fra Danmark.

Datasættet omfatter information om antal passagerer og/eller fragt på flyvningerne (hvor der skelnes mellem 'via terminal', 'via transfer' eller 'transit'). Desuden anføres den første udenlandske destination for en flyafgang, og omvendt den seneste udenlandske lufthavn for et ankomende fly. Med kendskabet til de involverede lufthavne indgår i datasættet en afstand (storcirkelafstanden) mellem den danske og den udenlandske lufthavn.

Det særlige ved særudtrækket er, at det ud over ovenstående information, ligeledes omfatter oplysninger om flytype (ICAO-kode) og sædepladser for de enkelte afgange og ankomster. Dette gør det muligt at foretage en bottom-up modelberegning af de enkelte flyvningers energiforbrug og udledninger ved anvendelse af effektivitets- og udledningsdata fra DCE, som beskrives i det følgende afsnit.



Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE)

Energistyrelsen har af DCE fået stillet et katalog til rådighed med energieffektivitets- og emissionsdata for en række repræsentative flytyper til brug for GA22. Data er tilnærmelsesvis det samme, som DCE benytter i forbindelse med beregning og opgørelse af udenrigsluftfartens energiforbrug og udledninger, som DCE indberetter til UNFCCC på vegne af Danmark. Effektivitets- og udledningsdataet er baseret på information og beregningsmetoder fra ICAO kombineret med typegodkendelsesmålinger af flymotorer.

Data er flyspecifikke og dannet for en række repræsentative flytyper med information om flyenes energiforbrug/effektivitet og udledninger af CO₂, CH₄ og N₂O m.fl. Der skelnes særskilt mellem den del af en flyvning, som foregår henholdsvis over 3000 fod ("Cruise") henholdsvis under 3000 fod ("LTO / Landing and Take Off"). Over 3000 fod angives "Cruise" energiforbrug og udledninger per fløjet afstand. Energiforbrug og udledninger under 3000 omfatter indflyvning/landing, taxi ind/ud, start og opstigning til ca. 1 km. For en repræsentativ flytype afhænger LTO alene af de involverede lufthavne for flyvningen. I det katalog, som DCE har stillet til rådighed for Energistyrelsen, skelnes mellem indenrigs- og udenrigsflyvning og simplificeret udelukkende mellem 3 lufthavne: Københavns Lufthavn, Anden dansk lufthavn samt Udenlandsk lufthavn.

DCE har endvidere udarbejdet en oversættelsesnøgle mellem flytyper angivet ved ICAO-kode og katalogets repræsentative flytyper med energieffektivitet og udledninger.

Danmarks Statistik (Statistikbanken)

Passagerflyvninger

Danmarks Statistik offentliggør via Statistikbanken data for passagerer på udenrigsflyvninger (Tabel: FLYV35) og omfatter perioden 2004 – 2020. Statistikken opgør antal passagerer til, fra og via større/betjente danske lufthavne samt et tilhørende transportarbejde (passagerkilometer). Kilden til statistikken er Trafikstyrelsen.

Rejselængder er beregnet som afstanden på en storcirkel mellem lufthavnene. En flyrejse er en rejse mellem dansk lufthavn (ekskl. lufthavne i Grønland og Færøerne) og udlandet med samme fly (nummer) fra påstigningslufthavn til sidste afstigningslufthavn, dvs. inkl. mellemlanding. Definitionen af en flyrejse er således ikke identisk med den rejseafstand (lufthavnsafstand), som fremgår af det særudtræk fra Luftfartsstatistikken, som Trafikstyrelsen har stillet til rådighed for Energistyrelsen.

Fragtflyvninger

Danmarks Statistik offentliggør via Statistikbanken data for fragtmængder i lufttransport over danske betjente lufthavne (Tabel: FLYV41), herunder mængden

på internationale flyvninger, og omfatter perioden 1990 – 2020. Datakvaliteten i perioden har været varierende ligesom afgrænsning af opgørelsen ikke har været konstant. Fra 2004 indgår alene større betjente lufthavne, dvs. lufthavne med ruteflyvninger eller med mindst 50.000 flyoperationer årligt. For København omfatter godset indtil 2007 også flygods, der køres med lastbil. Fra 2008 er godset ankommet og afsendt for flyetaper.

Udledninger for dansk opererede flys tankning i udlandet

I Danmarks Statistiks Grønne nationalregnskab opgøres udledninger fra fly, der opereres af danske flyselskaber, dvs. selskaber som er hjemmehørende/registreret i Danmark. Dette er samme afgrænsning, som anvendes for opgørelsen af BNP. Data er offentliggjort i Statistikbanken for perioden 1990-2020 opgjort enten som CO₂e (Tabel: MRO2) eller detaljeret efter komponenter: CO₂, CH₄, N₂O, m.fl. (Tabel: MRO1).

2.8.2. Metode for opgørelse af nøgletal og indikatorer for international luftfart

Dette bilag præsenterer en detaljeret gennemgang af metoden for bottom-up beregningen af udledninger, nøgletal og indikatorer for international luftfart. Bottom-up metoden kombinerer Luftfartsstatistikken med DCE's katalog over drivhusgasemissioner for en række repræsentative flytyper.

Særudtrækket fra Luftfartsstatistikken omfatter alle flyoperationer $i \in I_y = \{1, 2, 3, \dots, I_y\}$ på danske lufthavne i årene $y \in [2001; 2021]$ for både indenrigs- og udenrigsflyvninger. For udenrigsflyvningerne omfatter datasættet alene information om flyvningen til den første udenlandske destination for en flyafgang, og omvendt den seneste udenlandske lufthavn for et ankomende fly.

Flyoperationerne er kategoriseret efter $k \in K = \{\text{passagerfly, fragtfly}\}$, information om retningen $r \in R = \{\text{afgang, ankomst}\}$ med angivelse af de 2 involverede lufthavne i flyvningen, samt storcirkelafstanden d_i^{SCA} mellem disse lufthavne. I anvendelsen af datasættet og flytypekataloget med emissionsdata skelnes dog alene mellem lufthavnetyperne $l, l' \in L = \{\text{København, Anden dansk, Udenlandsk}\}$.

Sammenknytningen med DCE's katalog med emissioner for en række repræsentative flytyper er mulig, idet særudtrækket fra Luftfartsstatistikken indeholder oplysning om flytypen (ICAO-kode) ved flyvningerne, der med en opslagstabel fra DCE kan relateres til repræsentative flytyper t , for hvilke der foreligger data for emissioner e_t . Herved kan der beregnes udledninger for hver enkelt flyvning.

Kataloget med emissionsdata skelner mellem emissioner under 3000 fod (LTO: Landing and Take-Off) og over 3000 fod (Cruise). Der skelnes yderligere mellem

indenrigs- og udenrigsflyvning, samt involverede lufthavntyper l, l' . Den samlede udledning for en flyvning i mellem lufthavnene l og l' beregnes:

$$e_{itll'} = e_{itll'}^{LTO} + e_{itll'}^{Cruise} \cdot d_i^{reel}$$

hvor d_i^{reel} er den "reelle" flyvelængde udtrykt approksimeret som funktion af storcirkelafstanden:

$$d_i^{reel} = f(x) = \begin{cases} d_i^{SCA} + 60 \text{ km}, & d_i^{SCA} < 185,2 \text{ km} \\ (d_i^{SCA} - 185,2 \text{ km}) \cdot 1,04 + 185,2 \text{ km} + 60 \text{ km}, & d_i^{SCA} \geq 185,2 \text{ km} \end{cases}$$

Udledningen kan beregnes enten særskilt for drivhusgasserne CO_2 , CH_4 og N_2O eller som samlet CO_2e -udledning:

$$e_t^{CO_2eq} = e_t^{CO_2} + 25 \cdot e_t^{CH_4} + 298 \cdot e_t^{N_2O}$$

Drivhusgasudledningen per år per retning for enten passager- eller fragtfly beregnes herefter som:

$$E_{rk}^y = \sum_{itk} \delta_{irtk}^y \cdot e_t (d_i^{reel})$$

hvor

$$\delta_{irtk}^y = \begin{cases} 1, & \text{hvis flyvning } i \text{ er med flytype } t \text{ i retning } r \text{ og kategori } k \\ 0, & \text{ellers} \end{cases}$$

Udledningen per år i begge retninger for enten passager- eller fragtfly bliver:

$$E_k^y = \sum_r E_{rk}^y$$

og samlet for begge retninger og begge flykategorier:

$$E^y = \sum_k E_k^y$$

For hver flyoperation indeholder særudtrækket information om antal passager p_{irtk}^y , antal sæder s_{irtk}^y og mængden af fragt g_{irtk}^y ombord. Både passagerer og fragtmængde er yderligere underopdelt i terminal, transfer og transit passagerer henholdsvis fragtmængder, men disse oplysninger benyttes ikke for nuværende.

Passagerer per år per retning for passagerfly beregnes som (k = passagerfly):

$$P_{rk}^y = \sum_{it} \delta_{irtk}^y \cdot p_{irtk}^y$$

og antal flysæder per år og retning som (k = passagerfly):

$$S_{rk}^y = \sum_{it} \delta k_{irtk}^y \cdot s_{irtk}^y$$

Tilsvarende beregnes fragtmængden på fragtfly (k = fragtfly):

$$G_{r,fragt}^y = \sum_{it} \delta_{irtk}^y \cdot g_{irtk}^y$$

og "belly freight" på passagerfly (k = passagerfly):

$$G_{r,belly}^y = \sum_{it} \delta_{irtk}^y \cdot g_{irtk}^y$$

Den samlede fragtmængde per år og retning med enten passager- eller fragtfly beregnes:

$$G_{r,total}^y = G_{r,fragt}^y + G_{r,belly}^y$$

og for begge retninger:

$$G_{total}^y = \sum_r G_{r,total}^y$$

Trafikarbejdet (eller flykilometer) per år og retning med enten passager- eller fragtfly beregnes som:

$$FKM_{rk}^y = \sum_{it} \delta_{irtk}^y \cdot d_i^{reel}$$

og for begge retninger:

$$FKM_k^y = \sum_r FKM_{rk}^y$$

Persontransportarbejdet (eller personkilometer) med passagerfly per år og retning beregnes (k = passagerfly):

$$PKM_{rk}^y = \sum_{it} \delta_{irtk}^y \cdot p_{irtk}^y \cdot d_i^{reel}$$

og for begge retninger:

$$PKM_k^y = \sum_r PKM_{rk}^y$$



Tilsvarende beregnes godstransportarbejdet (godskilometer) med fragtfly (k = fragtfly):

$$GKM_{rk}^y = \sum_{it} \delta_{irtk}^y \cdot g_{irtk}^y \cdot d_i^{reel}$$

og for begge retninger:

$$GKM_k^y = \sum_r GKM_{rk}^y$$

Endvidere beregnes sædekilometer per år og retning for passagerfly som (k = passagerfly):

$$SKM_{rk}^y = \sum_{it} \delta_{irtk}^y \cdot s_{irtk}^y \cdot d_i^{reel}$$

Gennemsnitlig årlig udnyttelse af sædekapaciteten beregnes samlet for begge retninger som (k = passagerfly):

$$\eta_k^y = \frac{\sum_r P_{rk}^y}{\sum_r S_{rk}^y}$$

Gennemsnitligudledningen per flykilometer for fly i kategori k i året y beregnes som det kilometervægtede gennemsnit af udledningen per kilometer for hver enkelt flyvning i denne kategori for begge retninger i året:

$$\langle E_k^y \rangle (\text{per flykilometer}) = \frac{\sum_{irt} \delta_{irtk}^y \cdot \left(\frac{e_t^y}{d_i^{reel}} \right) \cdot d_i^{reel}}{\sum_{irt} \delta_{irtk}^y \cdot d_i^{reel}} = \frac{E_k^y}{FKM_k^y}$$

Gennemsnitsudledning per personkilometer beregnes for passagerfly som det personkilometervægtede gennemsnit over emissionen per personkilometer for hver enkelt flyvning i året for begge retninger (k = passagerfly):

$$\langle E_k^y \rangle (\text{per personkilometer}) = \frac{\sum_{irt} \delta_{irtk}^y \cdot \left(\frac{e_t^y}{p_{irtk} \cdot d_i^{reel}} \right) \cdot p_{irtk} \cdot d_i^{reel}}{\sum_{irt} \delta_{irtk}^y \cdot p_{irtk} \cdot d_i^{reel}} = \frac{E_k^y}{PKM_k^y}$$

Gennemsnitligudledning per godskilometer for fragtflyvninger beregnes tilsvarende som det godskilometervægtede gennemsnit over emissionerne per godskilometer for hver enkelt flyvning i året for begge retninger (k = fragtfly):

$$\langle E_k^y \rangle (\text{per godskilometer}) = \frac{\sum_{irt} \delta_{irtk}^y \cdot \left(\frac{e_t^y}{g_{irtk} \cdot d_i^{reel}} \right) \cdot g_{irtk} \cdot d_i^{reel}}{\sum_{irt} \delta_{irtk}^y \cdot g_{irtk} \cdot d_i^{reel}} = \frac{E_k^y}{GKM_k^y}$$

3. International søfart

International søfart er i særlig grad et globaliseret erhverv, hvor store dele af de danske aktiviteter foregår langt uden for Europa, med USA, Kina og Japan som nogle af de største markeder. Med sit globale perspektiv er sektoren derfor også i høj grad internationalt reguleret. En række særlige forhold karakteriserer sektoren, herunder:

- Skibets ejer registrerer efter eget valg skibet i et skibsregister (flagstat)¹¹.
- Skibe registreres ikke efter, hvor de sejler. Danskflagede skibe kan sejle overalt i verden – fx kan de vælge at sejle udelukkende uden for Danmark/EU.
- Skibets ejer kan omregistrere skibet til et andet flag, og et skib kan skifte ejer med kort varsel.
- Skibets operatør (som ikke nødvendigvis er skibets ejer) bestemmer over skibets besætning, konkrete ruter, sejlads (hastighed mm) og bunkring (tankning af brændstof).
- Skibets operatør indgår aftaler om transport af gods/varer med en eller flere afskibere/ kunder.
- Godset/varerne ombord på skibet kan undervejs på en rejse skifte ejer flere gange, hvilket dermed ændrer på skibets konkrete rute og sejlads.

Disse karakteristika betyder, at international søfart er udfordrende i forhold til reguleringsregimer men også i forhold til overvågning og dataindsamling.

I GA22 er det derfor også udfordrende at afgrænse, hvad der forstås ved "danskrelaterede udledninger". Det kan eksempelvis være ud fra skibsregister (flagstat), ejerskab (hvor skibets ejer er registreret), operatør (hvor skibets operatør er registreret), rute (til/fra Danmark), ejerskab for gods/varer eller bunkring (hvor brændstoffet tankes). Det betyder, at der bør udvises omhu, hvis forskellige opgørelser sammenlignes, da afgrænsningen kan være signifikant forskellig og have betydelig effekt på resultaterne.

I dette kapitel er fokus på danske rederiers globale aktiviteter og på alle selskabers – også udenlandske selskabers – transporter, der har bunkret i Danmark. I denne sammenhæng er dansk relateret søfart indkredset ud fra de tilgængelige databaser. Det vil sige data for 1) alle skibe uanset tilhørsforhold, der bunkrer i Danmark, 2) alle skibe der sejler under dansk flag (over 5.000 bruttotonnage), uanset hvor de bunkrer samt 3) alle dansk opererede skibes bunkring i udlandet.

¹¹ Nogle skibsregistre kræver dog national tilstedeværelse (i form af et kontor), hvilket er tilfældet for Danmark.



3.1. Klimaregulering af international søfart

International søfart er på globalt plan reguleret gennem FN's Søfartsorganisation, IMO (International Maritime Organization), som i april 2018 vedtog en strategi om reduktion af drivhusgasser fra søfarten. Strategien indeholder delmål og mål for reduktion af sektorens emissioner, jf. tabel 1. IMO har i juni 2021 vedtaget de tiltag, som skal medvirke til at adressere strategiens 2030-mål, hvor det bl.a. er aftalt, at der skal indføres et obligatorisk energimærke for skibe. Det er desuden aftalt i IMO, at man senest i 2023 skal vedtage en revideret klimastrategi.

2030	2050	Snarest
Udledning pr. transportarbejde skal reduceres med mindst 40 pct. i forhold til 2008-niveau.	Søfartens absolutte udledninger skal reduceres med mindst 50 pct. i forhold til 2008-niveau. Udledning pr. transportarbejde reduceret med 70 pct. i forhold til 2008	Fuld udfasning af drivhusgasser snarest i dette århundrede.

Tabel 1. Klimamål i IMO's klimastrategi fra 2018

Forhandlingerne i IMO bevæger sig nu ind i næste fase, hvor IMO dels skal forhandle tiltag på mellemlang og lang sigt. Her vil fokus være på de konkrete tiltag, der skal adressere 2050-målet om 50 pct. reduktion samt den efterfølgende fulde dekarbonisering i dette århundrede. I forbindelse med overgangen til næste fase vil Danmark arbejde for, at der i IMO's reviderede klimastrategi inkluderes et konkret mål om klimaneutral søfart i 2050.

For at reducere søfartens drivhusgasudledninger, herunder indfri et langsigtet mål om klimaneutralitet i 2050, er der behov for ambitiøse reduktionstiltag, som kan fremme overgangen til nye grønne brændstoffer. Dette kan både være markedsbaserede tiltag, fx afgifter eller kvoter, som kan bidrage til at fjerne den store prisforskel mellem grønne og fossile brændstoffer, og teknisk regulering af brændstoffernes udledning af drivhusgasser. Det er på nuværende tidspunkt for tidligt at vurdere, hvilke tiltag som vil have størst opbakning, og den endelige løsning kan meget vel ende med en kombination af flere tiltag.

Forhandlingerne i IMO om klimatiltag på mellemlang sigt blev påbegyndt i november 2021 og forventes afsluttet i 2023, hvor strategien skal være godkendt.

EU regulering – Fit for 55 pakken

I 2018 vedtog EU MRV-forordningen, der overvåger CO₂-udledninger fra skibe. Forordningen fastlægger regler for overvågning, rapportering og verifikation af



oplysninger om bl.a. CO₂-udledninger fra skibe, som sejler i EU samt til eller fra en EU-havn. MRV forordningen skal danne grundlag for de nye klimaregler, som er på vej under 'Fit-for-55'-pakken, og som er de første eksempler på regulering i EU, der har til formål at mindske udledningerne fra sektoren. EU har tidligere adopteret en miljølov, der sætter grænser for svovlindholdet i skibsbrændstoffer.

'Fit-for-55'-pakken er et led i realiseringen af Europa-Kommissionens Grønne Pagt og indeholder en række forslag til nye retsakter samt revisioner af nuværende retsakter. Der er tale om en stor pakke, som samlet skal adressere alle dele af "klimakæden". Deri bliver der lagt op til, at søfart skal bidrage til målsætningen om mindst 55 pct. reduktion i nettodrivhusgasudledninger i 2030 i forhold til 1990-niveauet samt målsætningen om klimaneutralitet i 2050. For så vidt angår søfarten, fremgår de relevante forslag i nedenstående tekstboks 6.

Kvotehandelsdirektivet (ETS), som sætter en pris på CO₂-udledningerne, er foreslået udvidet til udledninger fra søfart.

FuelEU Maritime, som skal sikre efterspørgslen efter alternative brændstoffer ved at opstille tekniske standarder for brændstoffernes udledninger.

Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR), som skal sikre udbuddet af infrastruktur for alternative grønne brændstoffer.

Energibeskatningsdirektivet, som har til formål at beskatte brugen af fossile brændstoffer, herunder i søfarten.

Direktivet for Vedvarende Energi II, som definerer hvilke alternative brændstoffer, der anses som "grønne alternativer" til de fossile kilder.

Tekstboks 6. Fit for 55-forslag på søfartsområdet.

Forslagene forventes forhandlet i løbet af 2022 med fokus på, at forslagene sikrer reelle klimareduktioner, ikke skader europæisk søfarts konkurrenceevne samt understøtter en global løsning for søfartens reduktioner i regi af IMO.

3.2. Udledninger – nøgletal og indikatorer

I dette afsnit beskrives en række nøgletal og indikatorer for danske aktiviteter og udledninger inden for international søfart. Det drejer sig dels om, hvor store udledninger danske aktiviteter giver anledning til, og dels hvordan de kan vurderes i forhold til aktiviteten og ses i forhold til øvrige aktører i sektoren. Nøgletal samt indikatorer er baseret på tilgængelige data fra IMO, Danmarks statistik og Energistatistikken. Der er en række begrænsninger i forhold til de IMO-baserede

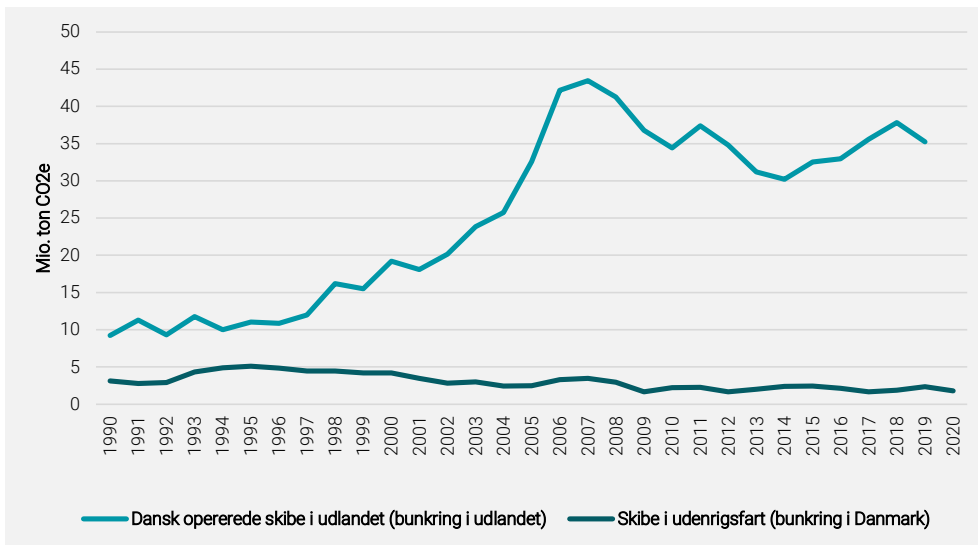
data, jf. bilag 3.8.1. Det har blandt andet ikke været muligt at udtrække data specifikt for dansk opererede skibe, men alene for dansk flagede skibe samt for den samlede verdensflåde (der også indeholder de dansk flagede skibe). Desuden betyder den korte tidsserie for IMO-statistikken, at det ikke for nuværende er muligt at præsentere udviklinger i nøgletallene og indikatorerne.

Der henvises til metodeafsnit (og dertil hørende bilag) for nærmere beskrivelse af data, afgrænsninger, metode og kilder.

Udledning knyttet til bunkring i Danmark og i udlandet

Flere faktorer påvirker skibes tankningsmønstre. Skibe tanker ikke nødvendigvis, hver gang de er i havn, og skibe tømmes heller ikke nødvendigvis eller fyldes helt, når de anløber havn. Skibe har typisk tankkapacitet til 30 dages sejlads, så de kan tanke, når det er mest hensigtsmæssigt, herunder der hvor det er billigst. Nogle skibe tanker i faste havne, mens andre tanker til søs m.m.

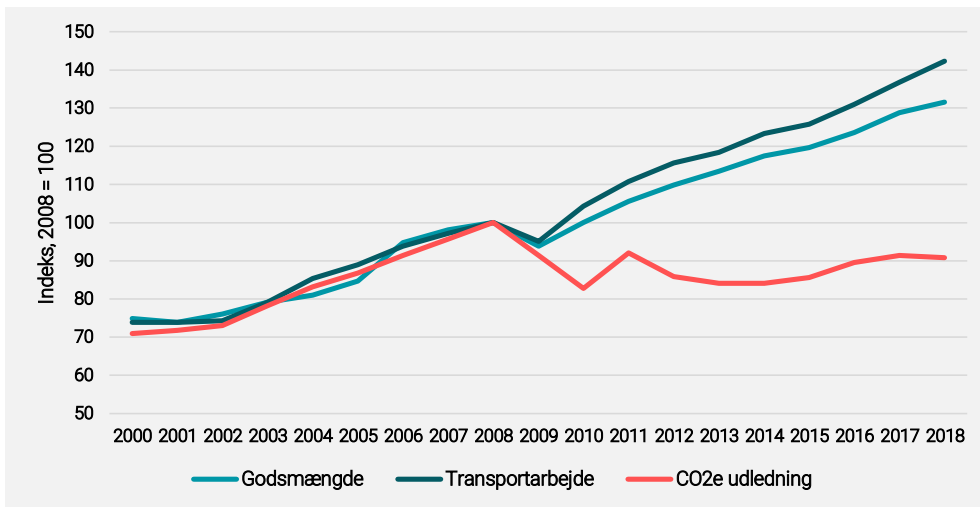
Figur 8 viser de samlede udledninger knyttet til bunkring (tankning af brændstof) i Danmark af skibe i udenrigsfart, uanset tilhørsforhold. Desuden viser figuren udledninger knyttet til dansk opererede skibes bunkring i udlandet (data kun tilgængelige frem til 2019). Dansk opererede skibe dækker her over skibe, som opereres i kortere eller længere tid af danske rederier, men skibene er ikke nødvendigvis ejet af rederierne. Opgørelsen indeholder ikke de skibe, der opereres af danskejede datterselskaber i udlandet. Opgørelsen over udledninger fra dansk opererede skibes bunkring i udlandet indeholder således også udledninger forbundet med fragt af gods, der forbruges i andre lande, samt udledninger fra skibe, der ikke er dansk ejet, og hvor sejladsen ikke har en destination i Danmark. Se nærmere om definition og afgrænsninger i afsnit 3.6.



Figur 8: Udvikling i udledninger fra bunkring i Danmark fra skibe i udenlandsfart (både danske og udenlandske skibe) samt fra dansk opererede skibes bunkring i udlandet i perioden 2009-2020. Kilder: (Danmarks Statistik, 2021; Energistyrelsen, 2021). Note: Udledninger fra dansk opererede skibes bunkring i udlandet er baseret på indberetninger for udgifter til brændstof, som oversættes til brændstofmængder vha. relevante enhedspriser.

Udledningerne forbundet med bunkring i Danmark fra skibe i udenrigsfart, uanset skibenes tilhørsforhold, har siden 2010 varieret mellem 1,7 mio. og 2,5 mio. ton CO₂e.

Som det endvidere fremgår af figur 8, har der i perioden 1990-2007 været en betydelig stigning i udledningerne fra dansk opererede skibes bunkring i udlandet, hvorefter udledningerne er jævnet ud og i 2019 lå omkring 35 mio. tons CO₂e. De stigende udledninger frem mod 2007 kan overordnet set tilskrives den generelle globale økonomiske vækst og efterspørgsel på transportydelser, og udviklingen i udledningerne følger samme tendens som udledningerne fra den samlede verdensflåde, som IMO opgør hver femte år, jf. figur 9. Det bemærkes, at udledningerne fra dansk opererede skibe også vil påvirkes i det omfang, at der sker ændringer i den danske handelsflådes markedsandele.



Figur 9: Vækst i søfartens fragtede mængder og emissioner indekseret i forhold til 2008, der er baseline for IMO's strategi fra 2018. Søfartens volume er vist både i ton og tonkm, Emissioner er fra IMO's opgørelse for international shipping. Kilde: Figuren er baseret på IMO's 4th GHG study (IMO, 2021).

Fra omkring 2011-2018 har øget effektivitet i skibsfarten bidraget til, at udledningerne er frakoblet den fortsatte vækst i fragtmængderne, jf. figur 9. Effektiviseringerne er sket i form af bedre udnyttelse af skibene, ombygninger, optimering af fart, brændstofbesparelser og optimering af teknik, operation og ruter samt nye, større og mere effektive skibe.

Danmark er verdens 6. største søfartsnation målt som operatør, og dansk opererede skibe (enten dansk ejede eller charteret og dermed under dansk kontrol) udgør cirka 4,4 pct. af verdensflåden, hvilket betyder, at danske rederier opererer cirka 2.000 skibe (Danske Rederier, 2022).

En række simple nøgletal og indikatorer er præsenteret i tabel 2. Formålet er at give et hurtigt overblik over størrelsesordner og den overordnede sammensætning af skibe fordelt på en række skibskategorier. Data er angivet både for dansk flagede skibe og for den globale flåde (inkl. dansk flagede skibe) for årene 2019 og 2020. Flådestørrelsen er angivet i antal skibe og DWT ("Dead Weight Tonnage"), som er et mål for et skibs lasteevne eller kapacitet i ton (last plus brændstof). Endvidere anføres det samlede antal sejlede sømil, samt det hertil svarende potentielt maksimale transportarbejde (DWTxSømil). Databasen indeholder ikke information om kapacitetsudnyttelse, hvilket giver anledning til udfordringer, da DWT alene er et udtryk for skibenes maksimale lasteevne. Det betyder, at et skib, der sejler med fuld last det meste af året, vil have et større energiforbrug og tilsvarende flere CO₂ udledninger, end et skib, der i perioder sejler tomt eller halvtomt, da det fuldtlastede skib er tungere og derfor anvender mere brændstof pr. sejlet distance.

Desuden bygger tallene på overordnede kategorier af skibstyper. Inden for kategorierne kan der være væsentlige forskelle i sammensætningen af dansk flagede skibe i forhold til sammensætningen af verdensflåden. Eksempelvis indeholder kategorien "bulkskibe" både skibe, der sejler med tørlast, og skibe, der sejler med gas og deres energiforbrug er væsentligt forskelligt. Den dansk flagede flåde i kategorien "bulkskibe" dækker primært over gasskibe, mens bulkskibe udgør overvægten i det tilsvarende segment i verdensflåden. Derfor vil gennemsnittet af udledninger fra den globale flåde af bulkskibe ligge lavere end de tilsvarende tal for de danskflagede. Ligeledes fremgår det for containerskibe, at dansk flagede skibe står for omkring 7,3 pct. af transportarbejdet men 5,5 pct. af udledningerne fra verdensflådens containerskibe. En del af forklaringen bag dette ligger formentligt i, at en større andel af de dansk flagede containerskibe er blandt de største skibe i kategorien.

Man skal således være varsom med direkte sammenligninger af de dansk flagede skibe i forhold til verdensflåden og fortolkninger skal ske med de rette forbehold.

År	Skibstype	Antal skibe		I alt mio. DWT		I alt mio. Sømil		I alt mia. DWTxSømil		I alt mio. ton CO2	
		Dansk	Globalt	Dansk	Globalt	Dansk	Globalt	Dansk	Globalt	Dansk	Globalt
2019	Passager/bilfærger	23	455	0,1	2,2	1,9	31,9	7	161	0,7	17,1
	Fragtskibe	22	3.789	0,3	65,7	1,5	212,1	21	3.915	0,6	59,1
	Containerskibe	154	4.946	17,8	288,8	13,9	347,6	1.660	22.834	10,3	188,5
	Bulkskibe	29	11.997	0,9	931,3	1,5	611,9	47	51.366	0,5	231,5
	Tankskibe	138	7.379	5,4	650,3	6,3	341,7	277	34.210	1,7	148,1
	Krydstogtskibe	-	281	-	2,2	-	22,5	-	189	-	23,0
	Specielle skibe	18	1.040	0,1	21,8	0,2	27,8	1	836	0,2	15,0
2019	Alle skibe	384	29.887	24,6	1.962,3	25,4	1.595,5	2.013	113.511	14,0	682,3
2020	Passager/bilfærger	19	493	0,1	2,5	1,3	25,4	4	151	0,5	13,7
	Fragtskibe	30	3.841	0,3	69,5	1,8	195,7	24	3.701	0,7	53,6
	Containerskibe	148	4.907	17,8	291,2	13,3	333,4	1.649	22.485	10,0	179,5
	Bulkskibe	30	12.395	1,1	974,3	1,5	638,0	49	53.986	0,5	260,8
	Tankskibe	174	7.478	7,6	656,4	7,0	337,1	317	33.514	2,1	148,9
	Krydstogtskibe	-	256	-	2,0	-	7,1	-	60	-	10,5
	Specielle skibe	20	982	0,2	17,6	0,3	26,1	5	662	0,2	13,7
2020	Alle skibe	421	30.352	27,0	2.013,5	25,3	1.562,9	2.047	114.559	13,9	680,8

Tabel 2: Opgørelser for danskflagede skibe og verdensflåden (skibe over 5.000 BT). Kilde: (IMO-DCS, 2021).

Tabel 3 viser en oversigt over indikatorer, som udtrykker den gennemsnitlige effektivitet for hver skibskategori beregnet samlet for årene 2019 og 2020 for hhv. dansk flagede skibe og for den samlede verdensflåde (inkl. de danskflagede skibe).



Tallene og indikatorerne skal ses med samme forbehold som nævnt ovenfor vedrørende tilgængelighed og opløsning af data fra IMO.

Udledningerne er dels sat i forhold til sejlet distance, og dels det potentielt maksimale transportarbejde (som ovenfor udtrykt ved den potentielt maksimale lasteevne gange sejlet distance) for forskellige skibstyper. Sidstnævnte nøgletal 'g CO₂ per DWTxSømil' betegnes ofte AER ("Annual Efficiency Ratio"). Idet AER beregnes ved brug af den maksimale lasteevne (DWT) uden korrektion for kapacitetsudnyttelse, udtrykker AER en nedre værdi for den faktiske udledning per reelt transporteret gods. Jo mindre udnyttelse af fragtkapaciteten, des højere faktisk udledning pr. transportarbejde. Idet der er en betydelig korrelation mellem skibstørrelse og udledninger, er der i tabellen endvidere angivet en gennemsnitlig skibstørrelse.

Skibstype	Middel DWT		Ton CO ₂ per Sømil		g CO ₂ per DWTxSømil	
	Dansk	Globalt	Dansk	Globalt	Dansk	Globalt
Passager/bilfærger	3.258	5.000	0,369	0,537	105,6	99,0
Fragtskibe	11.907	17.719	0,372	0,276	28,5	14,8
Containerskibe	117.915	58.858	0,743	0,540	6,1	8,1
Bulkskibe	33.103	78.124	0,330	0,394	10,4	4,7
Tankskibe	41.683	87.955	0,435	0,438	6,5	4,4
Krydstogtskibe	-	7.717	-	1,131	-	134,5
Specielle skibe	7.226	19.489	0,746	0,533	65,9	19,2

Tabel 3: Effektivitetsindikatorer for danskflagede skibe og verdensflåden: Kilde: (IMO-DCS, 2021).

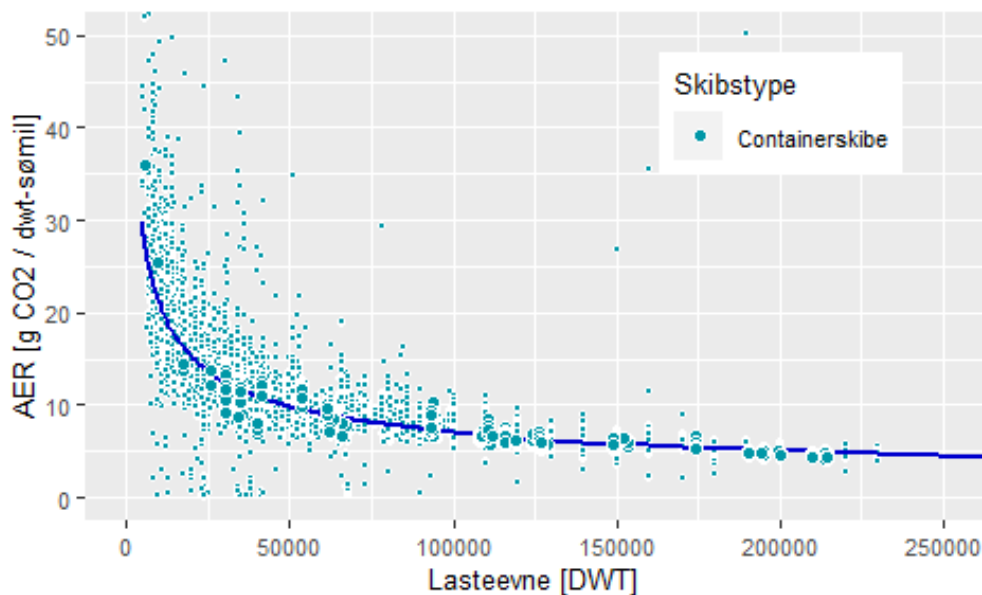
Små skibe udleder generelt mindre CO₂ per sejlet distance end større skibe inden for samme segment, men præsterer til gengæld dårligere, når man tager højde for, hvor meget de kan transportere, dvs. per transportarbejde. Omvendt udleder store skibe mere CO₂ per sejlet distance, men præsterer bedre i forhold til udledninger per transportarbejde. Det fremgår eksempelvis af tabellen, at dansk flagede containerskibe er ca. dobbelt så store som verdensflådens gennemsnit, hvormed udledningerne er ca. 25 pct. lavere per transportarbejde set i forhold til gennemsnittet for verdensflåden. Omvendt ses dansk flagede fragtskibe, bulkskibe og tankskibe i gennemsnit at være ca. halvt så store (målt i DWT) i forhold til verdensflåden, mens udledningerne per transportarbejde er mellem ca. 50-100 pct. højere.

Det skal understreges, at størrelsen ikke er den eneste faktor, der har betydning for skibenes effektivitet, og disse faktorer kan indgå med forskellig vægt i dansk flagede skibe i forhold til verdensflåden. Energiforbruget, og dermed effektiviteten, afhænger bl.a. af design og teknologi, sejlhastighed, typen af sejlruiter, antal havne der anløbes, ventetider for anker, køling eller opvarmning af last, hvordan skibet

losses (selvlossende eller med landudstyr), mv. Derudover kan der være fejl i de enkelte indberetninger.

Pendulfart på kortere ruter kan eksempelvis være med til at forklare, hvorfor passager/bilfærger udlæder markant mere CO₂ per transportarbejde (både for dansk flagede og verdensflåden generelt) end de øvrige skibstyper.

I figur 10 er sammenhængen mellem skibsstørrelse og udledninger per transportarbejde vist for containerskibe, hvor datapunkter for dansk flagede containerskibe er fremhævet (større punkter). Den fuldt optrukne kurve repræsenterer regressionslinjen for den globale flåde af containerskibe (inkl. de dansk flagede)¹². Dansk flagede containerskibe præsterer overordnet på linje eller en anelse bedre end verdensflåden som helhed. For de større containerskibe, hvor der er færre datapunkter, er dansk flagede containerskibe i høj grad med til at definere niveauet (og effektiviteten).



Figur 10: Udledning per transportarbejde for dansk flagede containerskibe (større punkter) og for den globale flåde af containerskibe (små punkter og linje). Kilde: (IMO-DCS, 2021). Note: Nogle af de ekstreme punkter med meget høje eller næsten ingen udledninger skyldes formentlig fejlindberetninger.

For tilsvarende kurver for de øvrige skibstyper henvises til bilag 3.8.3.

Opsamling

Overordnet set har en generel global økonomisk vækst og øget efterspørgsel på transportydelser betydet, at udledningerne fra verdensflåden er steget de sidste årtier, men som det fremgår af figur 9 har der i perioden omkring 2011-2018 været

¹² Angivet ved udtrykket: $\ln(\text{AER}) = A \cdot \ln(\text{DWT}) + B$.



en afkobling af udledningerne i forhold til væksten i transportarbejdet. Danmark er verdens 6. største søfartsnation målt som operatør, og dansk opererede skibe udgør cirka 4,4 pct. af verdensflåden, hvilket betyder, at danske rederier opererer cirka 2.000 skibe. Tilsvarende verdensflåden, har der i perioden 1990-2007 været en betydelig stigning i udledningerne knyttet til dansk opererede skibes bunkring i udlandet, hvorefter udledningerne er jævnet ud. I 2019 lå udledningerne omkring 35 mio. tons CO_{2e}. Det bemærkes, at udledningerne fra dansk opererede skibe, ud over den generelle globale vækst, påvirkes af ændringer i den danske handelsflådes markedsandele.

De samlede udledninger forbundet med bunkring i Danmark fra skibe i udenrigsfart, uanset skibets tilhørsforhold, har siden 2010 ligget på et relativt stabilt niveau på mellem 1,7 mio. og 2,5 mio. ton CO_{2e}.

3.3. Black Carbon

Udledning af black carbon (BC), også kaldet sodpartikler, anses for at være international søfarts næststørste kilde til global opvarmning efter CO₂-udledningen¹³. BC er ikke en drivhusgas men et sundhedsskadeligt biprodukt, der opstår ved en ufuldstændig forbrænding. BC består af sorte sodpartikler, der absorberer energi fra sollys og overfører den som varme til omgivelserne.

Udledningen af BC fra forbrændingsmotorer er afhængig af bl.a. brændstoftype, motor- og efterbehandlingsteknologi samt motorens slitage og belastning. HFO (Heavy Fuel Oil) anses for at medføre den største udledning af BC. Destilleret olie (Marine diesel) udleder mindre BC hvorimod LNG samt PtX-brændstoffer som metanol og ammoniak udleder lidt eller ingen BC. Når BC deponeres på snedækkede overflader, mindskes refleksionen af sollys, hvilket giver en opvarmende effekt. BC medfører derfor særligt problemer i Arktis, fordi partiklerne, ud over det direkte bidrag til opvarmning af atmosfæren, accelererer afsmeltningen. Der har de seneste årtier været en nedadgående trend i udledningen af BC i flere regioner på den nordlige halvkugle.

Danmark, Grønland og Færøerne arbejder i regi af Arktisk Råd for at fremme en samlet indsats fra de otte arktiske stater rettet mod en reduktion af BC fra alle relevante sektorer, herunder landtransport, industri, og søtransport. IMO har i en årrække arbejdet for at definere BC samt indkredse metoder til målinger og indrapporteringer af BC. For at forebygge forurening af havmiljøet i Arktis, vedtog IMO i 2020 et forbud mod anvendelse af HFO i Arktis, som skal indføres fra 2024 til 2029. I december 2021 vedtog IMO en frivillig resolution, hvori både betydningen af BC og muligheden for at reducere BC ved skift til renere brændstoffer anerkendes.

¹³ ICCT (International Council on Clean Transportation), "Greenhouse Gas Emissions from Global Shipping, 2013-2015", (2017). Ifølge rapporten, der har indregnet effekten af BC, udgør BC 7 pct. af de totale CO_{2e}-udledninger på en 100 års skala og 21 pct. på en 20 års skala.



Der er, som det gælder luftfartens non-CO₂ relaterede klimaeffekter, usikkerhed om klimaeffekten af BC, bl.a. som følge af stor variation mellem forskellige beregningsmodeller. Der vil i forbindelse med næste Globale Afrapportering blive set nærmere på status for området i forhold til opgørelser, metoder og regulering.

3.4. Indsatser

Søfarten er en udfordrende sektor at reducere udledningerne fra, hvilket både skyldes de reguleringsmæssige udfordringer som følge af det internationale perspektiv, men også i høj grad de tekniske forhold. Til trods for at søfart er en meget energieffektiv måde at transportere gods på ift. vægt og afstand, stiller skibstransport særlige krav til bl.a. motorerne og det anvendte brændstof. Det skyldes dels, at de absolutte mængder gods, der flyttes, er enorme og stiller store krav til tilgængeligheden af brændstoffer, dels at enhedernes størrelse og auktionsradius stiller helt særlige krav til de hvilke brændstoffer, skibene kan sejle på. Både internationalt og i Danmark arbejdes der på flere fronter for at reducere udledningerne fra den internationale søfart.

I Danmark kom Klimapartnerskabet for Det Blå Danmark, tilsvarende de øvrige 12 klimapartnerskaber regeringen har nedsat med erhvervslivet, i foråret 2020 med en række initiativer og anbefalinger til regeringen, der skal bidrage til Danmarks 70 pct. klimamålsætning for 2030. Med afsæt i dette arbejde har partnerskabet i oktober 2021 udgivet sin sektorkøreplan med både erhvervslivets målsætninger og indsatser, og regeringens tiltag for at understøtte sektorens grønne omstilling.

Nedenfor præsenteres en række cases, som på forskellige vis illustrerer danskrelaterede klimaindsatser inden for den internationale søfart og hvilke teknologier, der satses på.

Mærsk indkøb af metanoldrevne containerskibe

I december 2018 annoncerede A.P. Møller - Mærsk et mål om at være klimaneutral i 2050 (dvs. både i forhold til CO₂, lattergas og metan), og at det første klimaneutral skib skulle være klar i 2030. I lys af klimakrisen og grundet behovet for at sikre produktion af nye brændstoffer, har Mærsk besluttet at accelerere omstillingen. Målet om klimaneutralitet er derfor fremrykket til 2040. Ligeledes har Mærsk besluttet at søsætte et mindre klimaneutralt metanolfeederskib i 2023 og har indgået aftale om en ordre på 12 større metanolskibe fra 2024, hver med plads til 16.000 containere. Disse 12 skibe kan flytte omkring 2 millioner containere om året og vil kunne sejle mellem klodens kontinenter.

De store metanolskibe vil have behov for at kunne bunkre grøn metanol flere steder på kloden – både i Danmark og i Europa, men også uden for EU. Den konkrete ordre på metanolskibene er med til at øge efterspørgslen og skubbe udviklingen og produktionen af grønne brændstoffer i gang. Mærsk har desuden søsat en række projekter, som vil kunne levere grøn metanol.

Fakta om Mærsk metanolskibe

Længde: 350 meter

Kapacitet: 16.000 containere (TEU)

CO_{2e} sparet: cirka 1,5 million tons om året med 12 skibe ved fuld metanoldrift

Pris pr. skib: cirka 1,1 milliarder kroner

Flag: Dansk

Tekstboks 5: Mærsk satsning på metanolskibe. Kilde: A.P. Møller Mærsk.

MAN Energy Solutions' strategi for dekarbonisering af søfart

MAN Energy Solutions i København er verdensførende designer af motorer til søfart. Over halvdelen af skibene i verdens handelsflåde – hovedsageligt bestående af containerskibe, tankskibe og tørlastskibe – bliver drevet af motorer fra MAN Energy Solutions. Virksomheden oplever derfor et særligt ansvar i forhold til at minimere skibenes udledning af drivhusgasser og andre emissioner. Virksomhedens erklærede mission er at drive omstillingen mod en karbonneutral verden sammen med deres partnere.

MAN Energy Solutions strategi for dekarbonisering kan ikke opnås af en enkeltstående virksomhed men kun i samarbejde med brændstofproducenter, havne, skibsredere, motorbyggere, skibsværfter, lovgivere, med flere. Strategien har derfor to ben: At øge energieffektiviteten af skibsmotorer samt at drive udviklingen af karbonneutrale og karbonfri brændstoffer.

Energieffektivitet er afgørende i forbindelse med dekarbonisering, da det sparer brændstof og dermed reducerer både behovet for produktion af brændstoffer og emissioner fra selve skibene. Desuden er energieffektivitet økonomisk vigtig ift. grønne brændstoffer, der pt. er dyrere end konventionelle, fossile brændstoffer. Brændstoffet er således den afgørende faktor i skibets emissionsregnestykke. Brændstoffer til handelsflåden kan opdeles i tre kategorier:

- Fossile brændstoffer
- Overgangsbrændstoffer, som er fossile, men med færre CO₂-emissioner end tungolie
- Karbonfri brændstoffer og karbonneutrale brændstoffer, som er produceret og anvendt således, at det samlede CO₂-regnskab kan gå i nul

Foruden at levere motorer til overgangsbrændstoffer, såsom naturgas (LNG) og flaskegas (LPG), arbejder virksomheden på at udvikle motorteknologien, som gør det muligt at sejle på grønne brændstoffer.

I 2023 leverer virksomheden verdens første metanolmotor med en stempeldiameter på 95 cm, hvilket markerer et gennembrud for grønne brændstoffer. Skibene med metanolmotorer bliver dermed de første store handelsskibe, som kan sejle karbonneutralt.

I 2024 forventes den første ammoniakmotor leveret. Det er endnu et stort skridt mod dekarbonisering af søfart, da ammoniak (NH₃) ikke indeholder karbon, og derfor er det første brændstof til skibe, der kan produceres helt uden anvendelse af karbon. Efter selve teknologiudviklingen kommer opgaven med at gøre teknologierne skalerbare, så de kan anvendes til alle relevante skibstyper. For at gennemføre en succesfuld teknologiudvikling er der endvidere behov for, at karbonneutrale brændstoffer kan frembringes i de nødvendige store mængder, som søfart har brug for, og at de bliver økonomisk konkurrencedygtige i forhold til anvendelse af fossile brændstoffer.

Tekstboks 6: Man Energy Solutions strategi for dekarbonisering af søfart. Kilde: MAN Energy Solutions.

PTX projekter i Danmark

Green Fuels for Denmark er et projekt, der stiler mod at reducere CO₂-udledningerne fra international sø- og luftfart. En sammenslutning af virksomheder ønsker med projektet at etablere 1,3 GW elektrolysekapacitet i 2030 til produktion af PtX-brændstoffer til bl.a. sø- og luftfart. Projektet er inddelt i tre faser. Første fase med 10 MW forventes klar senest i 2023, mens anden fase med 250 MW forventes klar senest i 2027. Tredje fase er de fulde 1,3 GW i 2030. Anlægget har til formål at forsyne projektselskabernes busser, lastbiler, skibe og fly med brint, metanol og jet-fuel, mens overskudsvarmen fra PtX-produktionen skal udnyttes som fjernvarme. I produktionen af metanol og jet-fuel er der behov for at tilføre kulstof, som skal indfanges fra røggassen fra Avedøreværkets halmfyrede enhed.

Realiseres projektet er forventningen fra projektselskaberne, at PtX-brændstofferne kan bidrage med ca. 850.000 ton CO₂-reduktioner årligt.

Der er endnu ikke truffet investeringsbeslutning om projektet, men projektet er blandt de to projekter, som er udvalgt til at deltage i IPCEI (Important Projects of Common European Interest), fordi det betegnes som et vigtigt projekt af fælles europæisk interesse om brint. Projektpartner har indgået en aftale med HOFOR om at modtage strøm fra 250 MW havvind fra Aflandshage såfremt både havvindmølleparken og Green Fuels for Denmark gennemføres. Partnerskabet bag projektet består af Ørsted, DSV Panalpina, SAS, DFDS, Copenhagen Airports, Mærsk, Nel, Everfuel og Haldor Topsøe.

HØST er et andet projekt, der sigter mod at reducere CO₂-udledninger i bl.a. søfarten. Projektet har en ambition om at etablere 1 GW elektrolyse i Esbjerg i 2026. Placeringen af projektet muliggør udnyttelse af VE-ressourcer fra Nordsøen til at omdanne elektricitet til brint. Derefter er formålet at blande brinten med nitrogen og danne ammoniak til brug i kunstgødning til landbruget og som brændstof i søfarten. Udover selve produktionen af ammoniak er det hensigten at udnytte overskudsvarmen fra produktionen til fjernvarme i Esbjergområdet.

Hvis projektet gennemføres er forventningen fra projektpartnerne, at det kan bidrage med op mod 1,5 mio. CO₂-reduktioner pr. år.

Bag projektet står Copenhagen Infrastructure Partners (CIP) og der er lavet hensigtserklæringer med flere projektpartnere og potentielle kunder om aftag af kunstgødning og ammoniak. Finansiering af projektet skal ske gennem CIP's nye Energy Transition Fund, og det forventes, at der træffes endelig investeringsbeslutning i 2022/23.

Tekstboks 7: PtX projekter med afsæt til sø- og luftfart. Kilde: Energistyrelsen

Center for Zero Carbon Shipping

Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping har i løbet af 2021 etableret sig som et uafhængigt, globalt forsknings- og udviklingscenter med base i København.

Centeret har tiltrukket 25 strategiske partnere, der primært tæller globale selskaber i økosystemet omkring shipping og energiproduktion. Partnerne bidrager blandt andet med arbejdskraft til centeret og deltager aktivt i centerets projekter inden for energi, teknologi og regulering. I slutningen af 2021 beskæftiger Centeret 70 medarbejdere fra 22 lande.

Centeret har i 2021 lanceret en række publikationer, herunder en 'Industry Transition Strategy' som i detaljer beskriver, hvad der skal til for at eliminere udledningen af drivhusgasser fra international søfart frem til 2050. Desuden offentliggjorde centeret sit 'Fuel Options'-studie, som redegør for fremtidens alternative brændstoffer, samt et studie af hvordan CO2-beskatning kan accelerere transitionen til gavn for såvel de mindre-udviklede som udviklede lande.

Sidst men ikke mindst har centeret påbegyndt en lang række projekter med partnerne, som hver især kan bane vejen for energieffektivitet og alternative brændstoffer. Eksempelvis er centeret projektleder på ammoniak-bunkering delen af MAGPIE-projektet i Rotterdam Havn, støttet med samlet EUR 25 mio. af EU; og agerer som co-lead på Zero Emission Shipping Mission under Mission Innovation i samarbejde med den danske, norske og amerikanske regering samt Global Maritime Forum.

Tekstboks 8: Center for Zero Carbon Shipping. Kilde: Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping.

3.5. Teknologisk udvikling

Klimaneutral søfart kræver en gennemgribende teknologisk omstilling på tværs af hele værdikæden fra udvikling af drivmidler, herunder brændstoffer, over havneinfrastruktur til drift af skibene. Nye drivmidler skal udvikles og produceres i nødvendige mængder, havnene skal på globalt plan kunne udbyde og håndtere nye drivmidler på en sikker måde, og skibenes fremdriftsteknologi skal være driftsmæssigt klar til at anvende de nye drivmidler.

En analyse af innovationsbehovet for klimaneutral søfart, udarbejdet for Søfartsstyrelsen i 2021, viser, at mange af de nye teknologier er langt i deres udvikling og forventes klar inden 2030. Der er imidlertid behov for væsentlige tiltag, som skal sikre den endelige færdigudvikling og gøre dem kommercielt klar og levedygtige. Det gælder videreudvikling i forhold til teknologiernes effektivitet, sikkerhed og brugbarhed, men også øget konkurrencedygtighed i forhold til de billigere konventionelle teknologier og fossile brændstoffer.

En række af teknologierne er kort omtalt i ovenstående cases i forbindelse med MAN Energy Solutions motorudvikling, Mærskes metanolskibe samt PtX projekter rettet mod ammoniakproduktion.



De potentielle løsninger på drivmiddelssiden er dog ikke uden deres egne udfordringer, og som det gælder generelt for transportsektoren, er der næppe en løsning, der alene vil kunne erstatte den fossile olie. En del af de internationale rederier satser på gasdrevne skibe, hovedsageligt i form af LNG (Liquid Natural Gas). Ifølge Dansk Gas Center¹⁴ er 2 pct. af brændstofforbruget i global søfart i dag LNG, og der er ca. 300 kommercielle LNG-skibe, der benytter LNG som brændstof (inklusive bekræftede ordrer) og dertil ca. 500 LNG-tankere, der transporterer LNG fra produktionsstedet til forbrugsstedet og samtidig selv benytter LNG som brændstof. LNG udleder isoleret set mindre CO₂ end traditionel bunkerolie, men er fortsat et fossilt brændstof og derfor forbundet med betydelige udledninger af drivhusgasser. Desuden er LNG forbundet med problemer i forhold til metanudslip, der er en langt mere aggressiv drivhusgas (mere end 28 gange kraftigere end CO₂). Blandt andet Verdensbanken og OECD står derfor kritiske over for satsning på LNG i en grøn omstilling af søfarten (Shippingwatch, 2021; Splash, 2021). Problemer med metanudslip fra motoren er desuden ikke løst ved at overgå til grønne gasser (LBG Liquid Biogas), og samtidig er ressourcegrundlaget for produktion af LBG stærkt begrænset i forhold til at kunne erstatte LNG-behovet.

Tilsvarende er der for grøn ammoniak (produceret ud fra VE-strøm) udfordringer i forhold til produktionsvolumen, udledning af lattergas (som er cirka 265 gange kraftigere end CO₂) samt håndteringen, da ammoniak er både giftigt og ætsende.

Andre arbejder med batteridrift og brændselsceller. En række færger er i dag omstillet til eldrift, herunder også et par danske færger, og mange ruter er i gang med en omstilling til el. I national sammenhæng har Transportministeriet i 2021 udmøntet cirka 230 mio. kr. i 2021 primært til omstilling af færger til eldrift. Yderligere 50 mio. kr. udmøntes i 2022. Længere ruter, herunder fx Scandlines' Gedser-Rostock og Rødby Puttgarden ruter, har indført eller er i gang med at idriftsætte hybridfærger. Endelig arbejdes der mange steder på at bringe brændselsceller/brint på banen. I juni 2021 blev fx den norske færge M/F Hydra leveret, der delvist drives med brint/brændselsceller.

Endelig er der en lang række design- og funktionsmæssige tiltag, der hver især kan øge skibenes effektivitet – både i forhold til hydro-/aerodynamiske forhold, hjælpefunktioner (køling, elektricitet, varme, hydraulik mv.) og tekniske løsninger, der kan hjælpe med fremdriften som fx rotorsejl, solceller mv.

3.6. Metode

Dette afsnit beskriver den overordnede metode og afgrænsning af international søfart i GA22.

¹⁴ DGS "Implementering af flydende metan i Danmark" oktober 2020

Behandlingen af international søfart i GA22 består overordnet set af kvantitative, databaserede opgørelser over udledningerne, en beskrivelse af hvordan sektoren reguleres i klimamæssig sammenhæng, samt kvalitative beskrivelser af reduktionsindsatser og perspektiver for den grønne omstilling.

Den kvantitative opgørelse af udledningerne tager udgangspunkt i det tilgængelige data på området med fokus på anvendelse af et konsistent datagrundlag, som kan opdateres årligt, således at opgørelsen kan gentages i kommende afrapporteringer og udviklingen dermed kan følges. Se bilag 3.8.1 og 2.8.2 for hhv. datakilder og en mere detaljeret gennemgang af metoden for opgørelse af udledningerne i form af en række nøgletal og indikatorer.

”Dansk relaterede udledninger” kan afgrænses på flere måder. Det kan eksempelvis være ud fra skibsregister (flagstat), ejerskab (hvor skibets ejer er registreret), operatør (hvor skibets operatør er registreret), rute (til/fra Danmark), ejerskab for gods/varer eller bunkring (hvor brændstoffet tankes). Der anvendes i dag en række forskellige afgrænsninger og definitioner af dansk relateret aktivitet i gældende ordninger og statistiske opgørelser, hvoraf følgende kan nævnes:

- Dansk flagede skibe: Dette er den snævraste definition og omfatter skibe, der sejler i Danmark og internationalt under dansk opsyn. Skibene er således registreret i Skibsregisteret under enten DIS (Dansk Internationalt Skibsregister) eller DAS (Skibsregistret). Skibene behøver ikke være dansk ejet, men rederiet skal have et kontor i Danmark. I forbindelse med indberetninger til IMO og EU er det nationale tilhørsforhold defineret på baggrund af det flag, skibet sejler under (flagstat).
- Dansk ejede skibe: Dette dækker over skibe, som er ejet af danske rederier. Det dækker således over dansk ejede skibe, uanset om de sejler på dansk eller udenlandsk flag.
- Dansk opererede skibe: Denne brede definition dækker over skibe, som opereres i kortere eller længere tid af danske rederier, uanset ejerskab eller flag, men ikke skibe opereret af danskejede datterselskaber i udlandet. I Danmarks Statistik opgøres udledningerne forbundet med dansk opererede skibe, hvilket følger afgrænsningen i opgørelsen af BNP. I forbindelse med Klimapartnerskabet for Det Blå Danmark har Danske Rederier på baggrund af indrapporteringer fra medlemmerne opgjort udledningerne fra egne skibe og fra skibe, der er charteret ind. Opgørelsen dækker både over dansk- og udenlandsk flagede skibe.



- I sammenhæng med Danmarks indberetninger af søfartsemissioner til UNFCCC, som indberettes af DCE på vegne af Danmark, tages der udgangspunkt i den territoriale bunkering til udenrigsfart, uanset skibenes nationale tilhørsforhold¹⁵.

I GA22 opgøres udledningerne fra udenrigssøfarten med tilknytning til Danmark ud fra tre forskellige afgrænsninger, hvor der er taget afsæt i de tilgængelige data.

I den første afgrænsning opgøres udledningerne på baggrund af brændstof bunkret i Danmark. Dette omfatter både danske og udenlandske skibe, uanset definitionen heraf, og der skelnes ikke mellem produktions- eller slutanvendelsesland for det fragtede gods¹⁶. Afgrænsningen går således alene på den territoriale eller geografiske tilknytning gennem bunkring i Danmark. I den anden opgørelse af udledningerne går afgrænsningen på dansk opererede skibes bunkring i udlandet, dvs. udledninger fra aktiviteter, der har en virksomhedsøkonomisk tilknytning til den danske nationaløkonomi. Størstedelen af disse udledninger vil være forbundet med aktiviteter uden for Danmarks grænser. I den sidste afgrænsning opgøres aktiviteter og udledninger for dansk flagede skibe og for den samlede globale flåde. Data og metoder for opgørelse af udledningerne beskrives nærmere i bilag 3.8.1 og 3.8.2.

Eksemplerne i afsnit 3.4 på, hvordan danske virksomheder arbejder for at reducere de globale udledninger fra søfarten, er skrevet med bidrag fra aktører i branchen og er med til at give et billede af den igangværende udvikling. Fokus er på igangværende indsatser og initiativer, som forventes at bidrage til den grønne omstilling af sektoren.

3.7. Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer

Det påtænkes forsøgt at belyse udledninger forbundet med udenrigssøfartens godsomsætning på danske havne efter varegrupper og udenlandsk havn, jf. Havnestatistikken fra Danmarks Statistik. Skibstransporterne søges via varegruppen knyttet til relevant skibstype med tilhørende CO₂-udledningstal, som sammen med godsmængden og en repræsentativ sejladsdistance mellem havnene, giver mulighed for at beregne en CO₂-intensitet per mængde vare importeret henholdsvis eksporteret med skib.

Det påtænkes endvidere at kombinere informationen i EU's THETIS-MRV database med informationen i GISIS-IMO databasen, hvilket potentielt giver mulighed for datamæssige detaljeringer, alternative afgrænsninger, samt kvalificering af data om skibene.

¹⁵ Udledninger fra udenrigssøfarten indberettes til FN på trods af, at de ikke er omfattet af reduktionsforpligtelserne i forhold til FN's Klimakonvention.

¹⁶ Det tilgængelige data giver ikke mulighed for at skelne mellem disse forhold.

Som nævnt i afsnit 3.3 vil der i arbejdet med GA løbende blive fokuseret på status for black carbon i forhold til opgørelser, metoder og regulering.

3.8. Bilag

3.8.1. Datakilder for opgørelse af nøgletal og indikatorer for international søfart Energistatistikken

Udledninger for brændstof bunkret i Danmark

Energistyrelsens årlige Energistatistik indeholder data for brændstofsalg til indenrigs- og udenrigssøfart, som er bunkret i Danmark. Brændstofsalget indberettes af olieselskaberne. DCE står for den officielle indberetning af emissioner til UNFCCC. Data foreligger p.t. for perioden 1990 til 2020. Drivhusgasudledninger er beregnet af Energistyrelsen pba. brændstofdata i Energistatistik 2020.

Danmarks Statistik (Statistikbanken)

Udledninger for dansk opererede skibes bunkring i udlandet

I Danmarks Statistiks Grønne nationalregnskab opgøres udledninger fra skibe, der opereres af danske selskaber, dvs. selskaber som er hjemmehørende/registreret i Danmark, men ikke af danskejede datterselskaber i udlandet. Dette er samme afgrænsning, som anvendes for opgørelsen af BNP. Opgørelsen er baseret på selskabernes indberetninger af udgifter til brændstof, som oversættes til brændstofmængder ved hjælp af relevante enhedspriser.

Data er offentliggjort i Statistikbanken for perioden 1990-2020 opgjort enten som CO_{2e} (Tabel: MRO2) eller detaljeret efter komponenter: CO₂, CH₄, N₂O, m.fl. (Tabel: MRO1).

International Maritime Organisation (IMO)

Alle skibe i den globale flåde med en bruttotonnage på 5000 BT eller derover er forpligtet til at indrapportere skibenes årlige forbrug af forskellige brændstoffer til IMO's GISIS Ship Fuel Oil Consumption database, der udgør en del af IMO's Data Collection System (IMO-DCS). Første rapporteringsår er 2019 og databasen indeholder indtil videre indrapporteringer til og med 2020.

De enkelte skibe er identificeret ved skibets IMO nr. (eller anonymiseret ved et skibsnr.), og skibene er karakteriseret ved skibstype og størrelse/tonnage (BT, NT og DWT). Databasen IMO-DCS indeholder herudover bl.a. oplysninger om:

- Sejlet distance (sømil)
- Timer til søs (timer)
- Brændstofforbrug (tons, fordelt på brændstofftyper)
- Konverteringsfaktorer (per brændstofftype) til beregning af CO₂-udledninger

Søfartsstyrelsen har adgang til databasen og har formidlet data til brug for GA22, dels data per skib for dansk flagede skibe med IMO nr., og dels data per skib for alle skibe i den globale flåde uanset flag (hvor oplysninger om skibenes IMO nr. og flagstat dog er anonymiserede).

3.8.2. Metode for opgørelse af nøgletal og indikatorer for international søfart

I dette afsnit præsenteres en detaljeret gennemgang af metoden og beregningen af udledninger, nøgletal og indikatorer for international søfart.

Det enkelte skib i IMO-databasen identificeres ved et skibsnummer $i \in I^y = \{1, 2, 3, \dots, I^y\}$, for hvilket den sejlede afstand d_i^y angives i sømil (nautical miles [nm] = 1,852 km). I IMO-databasen er skibene klassificeret efter 14 skibstyper. Flere af disse har dog fælles træk, hvorfor skibstyperne i beregningerne er samlet i 7 mere aggregerede skibstyper t . Sammenhængen mellem de oprindelige IMO-skibstyper og beregningernes aggregerede skibstyper er vist i tabel 4.

Skibstype	IMO skibstype
Passager- og bilfærger	Passenger ship, Ro-ro passenger ship
Fragtskibe	Ro-ro cargo ship, Ro-ro cargo ship (vehicle carrier), General cargo ship, General cargo ship, Refrigerated cargo carrier
Containerskibe	Containership
Bulkskibe	Bulk carrier, Gas carrier, LNG carrier
Tankskibe	Tanker
Krydstogtskibe	Cruise passenger ship
Specielle skibe	Others

Tabel 4: Aggregerede skibstyper og IMO skibstyper.

Antallet N_t^y af skibe af typen t i året y er:

$$N_t^y = \sum_i \delta_{it}^y$$

hvor

$$\delta_{it}^y = \begin{cases} 1, & \text{hvis skibet } i \text{ er af type } t \\ 0, & \text{ellers} \end{cases}$$

Det samlede antal skibe i flåden er:

$$N^y = \sum_{it} \delta_{it}^y = I^y$$

Udledningen per skib i beregnes som:

$$e_{it}^y = \sum_f C_f \cdot q_{itf}^y$$

hvor q_{itf}^y angiver årets forbrug af brændstoffypen f for skibet i af typen t , og C_f er en konverteringsfaktor for omregning til associeret CO₂-udledning.

Den samlede årlig udledning fra skibe af typen t bliver

$$E_t^y = \sum_i \delta_{it}^y \cdot e_{it}^y$$

Ligeledes beregnes den samlede årlige distance sejlet med skibe af typen t som:

$$D_t^y = \sum_i \delta_{it}^y \cdot d_{it}^y$$

Databasen indeholder ikke information om de faktisk transporterede godsmængder. Det årlige "transportarbejde" per skib udtrykkes ved den sejlede distance d_{it}^y multipliceret med skibets lasteevne dwt_{it} :

$$dwtm_{it}^y = dwt_{it} \cdot d_{it}^y$$

hvilket derved alene er et udtryk for det årlige maksimalt mulige transportarbejde.

Det samlede årlige "transportarbejde" med skibstypen t bliver:

$$DWTNM_t^y = \sum_i dwt_{it} \cdot d_{it}^y$$

Gennemsnitsudledning per sømil for et skib af skibstypen t i året y beregnes som et distance-vægtet gennemsnit af udledningen per sømil for skibe af denne skibstype:

$$\langle E_t^y \rangle (\text{per sømil}) = \frac{\sum_i \left(\frac{e_{it}^y}{d_{it}^y} \right) \cdot d_{it}^y}{\sum_i d_{it}^y} = \frac{E_t^y}{D_t^y}$$

Tilsvarende beregnes gennemsnitsudledningen per "transportarbejde" for et skib af skibstypen t i året y som et "transportarbejde"-vægtet gennemsnit af udledningen per "transportarbejde" for skibe af denne skibstype:

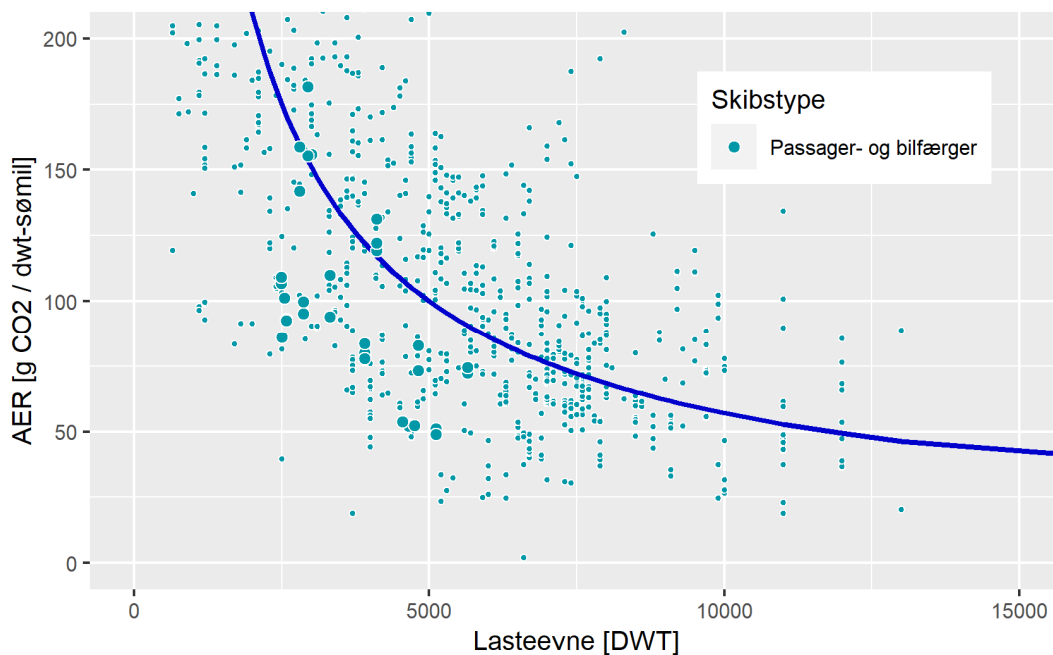
$$\langle E_t^y \rangle (\text{per dwtm}) = \frac{\sum_i \left(\frac{e_{it}^y}{dwt_{it} \cdot d_{it}^y} \right) \cdot dwt_{it} \cdot d_{it}^y}{\sum_i dwt_{it} \cdot d_{it}^y} = \frac{E_t^y}{DWTNM_t^y}$$

Den gennemsnitlige størrelse/lasteevne for skibe af typen t i året y udregnes som:

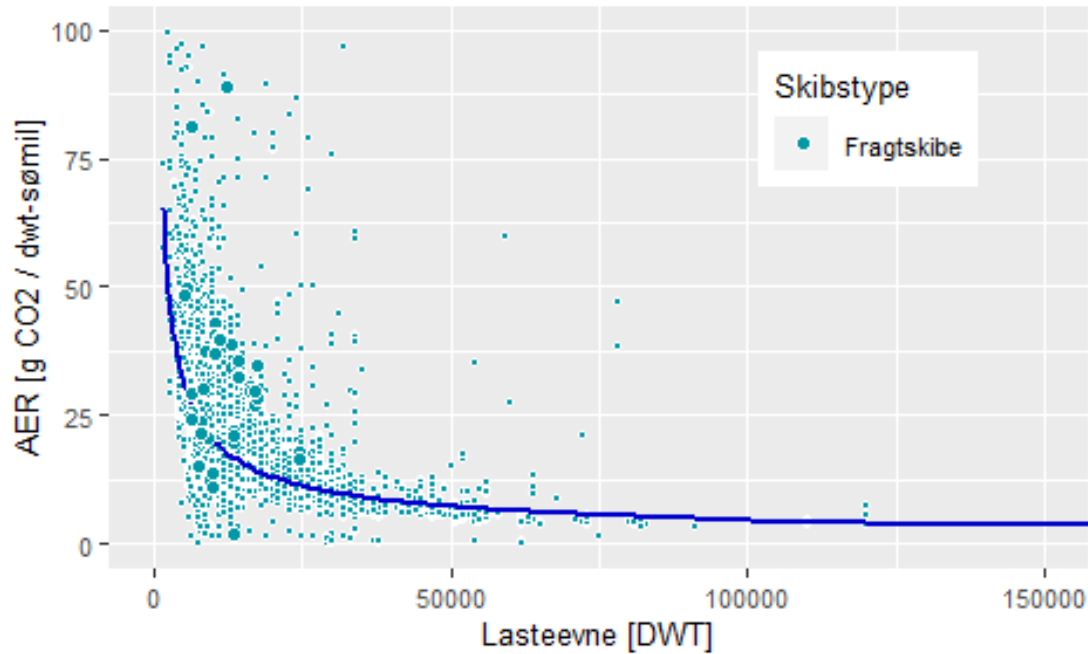
$$\langle dwt_t^y \rangle = \frac{\sum_i dwt_{it}}{N_t^y}$$

3.8.3. Sammenhæng mellem skibsstørrelse og udledninger per transportarbejde

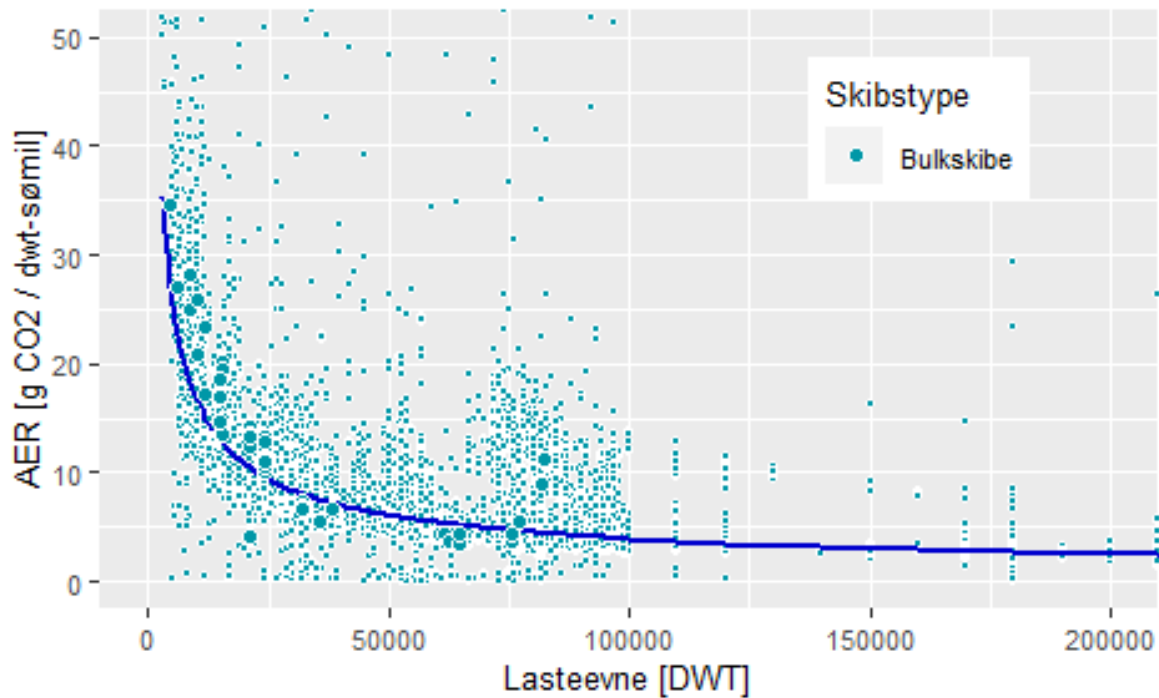
Udledning per transportarbejde for dansk flagede skibe (fremhævet med større punkter) og for den globale flåde (små punkter samt regressionslinje) for forskellige skibstyper. Dansk flagede skibe er indeholdt i den globale flåde.



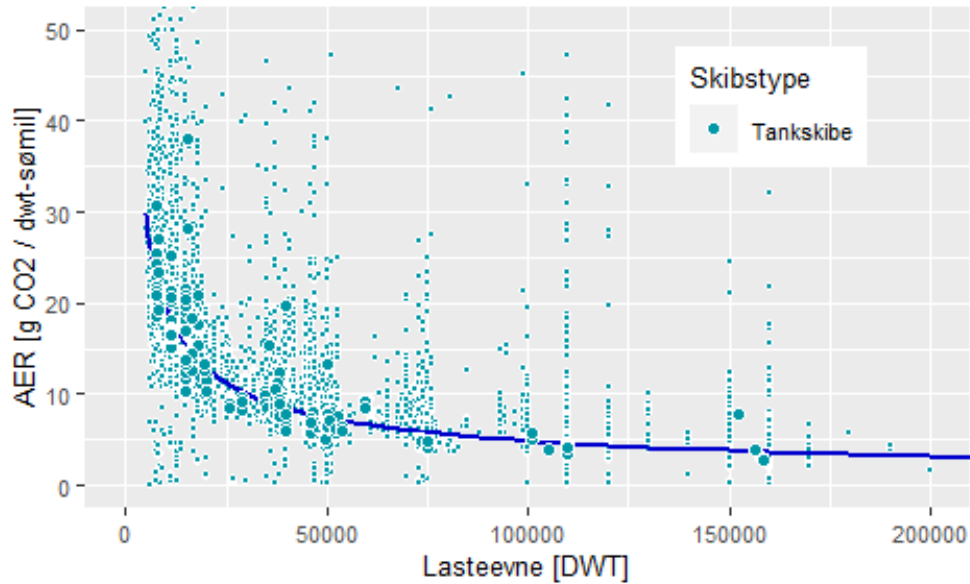
Figur 11: Udledning per transportarbejde for dansk flagede passager- og bilfærger (større punkter) sammenlignet med den globale flåde af passager- og lastbilfærger (små punkter og linje). Kilde: (IMO-DCS, 2021).



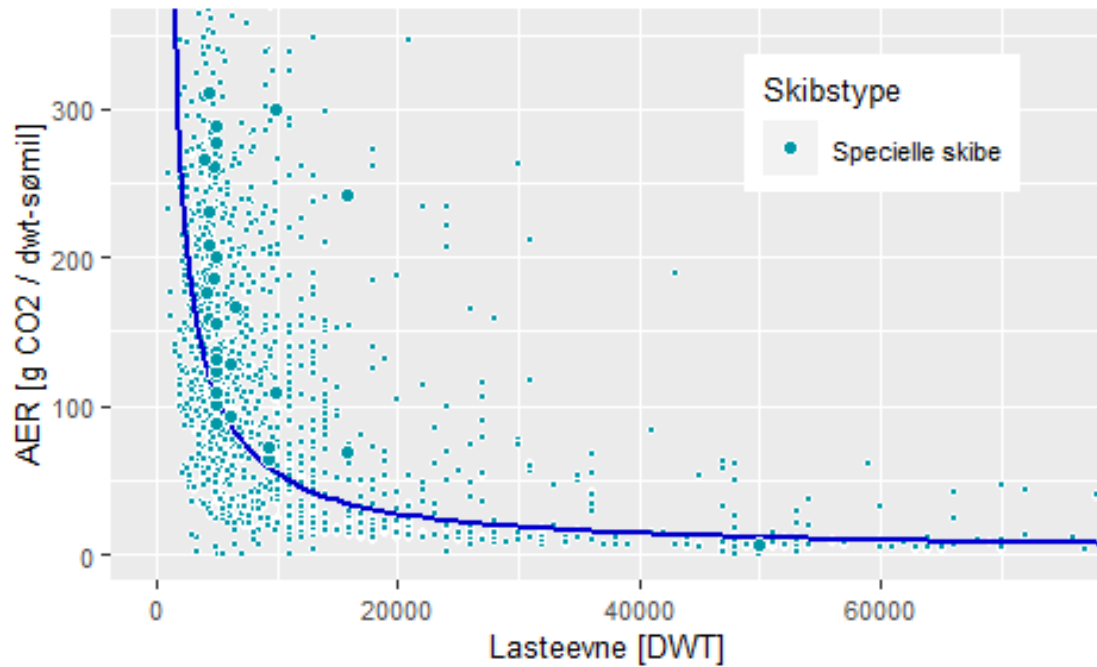
Figur 12: Udledning per transportarbejde for dansk flagede fragtskibe (større punkter) sammenlignet med den globale flåde af fragtskibe (små punkter og linje). Kilde: (IMO-DCS, 2021). Note: Kategorien indeholder forskellige skibstyper hvis karakteristika har betydning for energiforbruget. Dette kan have betydning for de dansk flagede skibes placering i forhold til regressionslinjen. Eksempelvis indeholder kategorien "fragtskibe" fem forskellige skibstyper, jf. tabel 5, hvoraf nogle naturligt ligger højt over regressionslinjen (fx ro-ro cargoskibe, som flåden af dansk flagede skibe indeholder en relativt større andel af sammenlignet med verdensflåden).



Figur 13: Udledning per transportarbejde for dansk flagede bulkskibe (større punkter) sammenlignet med den globale flåde af bulkskibe (små punkter og linje). Kilde: (IMO-DCS, 2021). Note: Kategorien indeholder forskellige skibstyper hvis karakteristika har betydning for energiforbruget. Dette kan have betydning for de dansk flagede skibes placering i forhold til regressionslinjen. Eksempelvis indeholder "bulkskibe" både skibe, der sejler med tørlast, og skibe, der sejler med gas og deres energiforbrug er væsentligt forskelligt. I den dansk flagede flåde er der flere gasskibe end almindelige bulkskibe i forhold til verdensflåden. Derfor vil gennemsnittet af udledninger fra den danske flåde ligge højere end de tilsvarende tal for verdensflåden.



Figur 14: Udledning per transportarbejde for dansk flagede tankskibe (større punkter) sammenlignet med den globale flåde af tankskibe (små punkter og linje). Kilde: (IMO-DCS, 2021). Note: Kategorien indeholder forskellige skibstyper hvis karakteristika har betydning for energiforbruget. Dette kan have betydning for de dansk flagede skibes placering i forhold til regressionslinjen.



Figur 15: Udledning per transportarbejde for dansk flagede specielle skibe (større punkter) sammenlignet med den globale flåde af specielle skibe (små punkter og linje). Kilde: (IMO-DCS, 2021). Note: Kategorien indeholder forskellige skibstyper hvis karakteristika har betydning for energiforbruget. Dette kan have betydning for de dansk flagede skibes placering i forhold til regressionslinjen.



4. Kilder

ATAG (2019): *Aviation Benefits Beyond Borders*:

<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/offsetting-emissions-corsia/corsia/who-volunteers-for-corsia/> Download 2022-03-23.

Azar & Johansson (2011): *Valuing the non-CO2 climate impacts of aviation*

Christian Azar & Daniel J. A. Johansson. *Climatic Change* (2012) 111:559–579

DOI 10.1007/s10584-011-0168-8 <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0168-8>

Chalmers Tekniska Högskola (2019): *Klimatpåverkan från svenska befolkningens flygresor 1990 – 2017*, Anneli Kamb, Jörgen Larsson.

https://research.chalmers.se/publication/506796/file/506796_Fulltext.pdf

Download 2022-03-23.

Committee on Climate Change (2020): *The Sixth Carbon Budget The UK's path to Net Zero*. www.theccc.org.uk/publications. Download 11.04.22

COP26 (2021): *International Aviation Climate Ambition Coalition. COP26 Declaration*.

<https://ukcop26.org/cop-26-declaration-international-aviation-climate-ambition-coalition/>

Download 2022-03-23

Crippa et al. (2019): Crippa, M., Oreggioni, G., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J.G.J., Vignati, E., Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries - 2019 Report, EUR 29849 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-11100-9, doi:10.2760/687800, JRC117610.

Danske Rederier (2021). *Dansk skibsfart rykker plads ned*.

<https://www.danishshipping.dk/presse/nyheder/dansk-skibsfart-rykker-plads-ned>

Download 2022-03-23.

N.B. Tallet for danskflagede skibe er suppleret af Danske Rederier med tal for danskopererede skibe.

Danmarks Statistik (2021): Data udtrukket via Statistikbanken november 2021 fra Danmarks Statistiks database, der løbende opdateres.

Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2021): *Greenhouse gas reporting: conversion factors 2021. Condensed set (for most users) – revised January 2022*. <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021>. Download 2022-03-23.



EASA (2020): *Updated analysis of the non-CO2 climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to the EU Emissions Trading System Directive Article 30(4)*.

<https://op.europa.eu/da/publication-detail/-/publication/2b1de727-2d9c-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-da/format-PDF/source-220456915>

Download 2022-03-23

Energistyrelsen (2021): *Energistatistik 2020*. Energistyrelsen

<https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energistatistik2020.pdf>

Europakommissionen (2021): *Forslag til EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS FORORDNING om sikring af lige konkurrencevilkår for bæredygtig lufttransport*. Europakommissionen.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0561>

Download 2022-03-23

ICAO, (2021): *Post-COVID-19 Forecast Scenarios (COVID-19 IMPACT ON THE ICAO LONG-TERM TRAFFIC FORECASTS)*, Appendix A: Traffic Forecasts, ICAO Revenue Passenger-Kilometres (RPK) Forecast Scenarios:

<https://www.icao.int/sustainability/Documents/Post-COVID-19%20forecasts%20scenarios%20tables.pdf>.

Download 2022-03-23.

ICCT (2019): *CO₂ EMISSIONS FROM COMMERCIAL AVIATION, 2018*. Working Paper 2019-16, ICCT (International Council on Clean Transportation).

Download 2022-03-23.

IMO (2021): *Fourth IMO GREENHOUSE GAS STUDY 2020*. Download 2022-03-23.

<https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>

Download 2022-03-23.

IMO-DCS (2021): Udtræk fra IMO's Data Collection System leveret oktober 2021 af Søfartsstyrelsen.

Jungbluth & Meili (2018): *Recommendations for calculation of the global warming potential of aviation including the radiative forcing index*. The International Journal of Life Cycle Assessment · November 2018, DOI: 10.1007/s11367-018-1556-3.

Klimapartnerskab for luftfart (2021): *Klimapartnerskab for luftfart, Sektorkøreplan. Regeringens klimapartnerskaber*. <https://em.dk/media/14289/sectorkoereplan-for-klimapartnerskab-for-luftfart.pdf>

Download 04.12.21

Lee et al (2009): *Aviation and global climate change in the 21st century*. D.S. Lee, Fahey, D., Forster, P.M., Newton, P.J., Wit, R.C.N., Lim, L.L., Owen, B., Sausen, R., (2009). Atmos. Environ. 43, 3520–3537.

<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.024>.



Lee et al (2021) *The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018*. D.S. Lee a,* , D.W. Fahey b, A. Skowron a, M.R. Allen c,n, U. Burkhardt d, Q. Chen e, S.J. Doherty f, S. Freeman a, P.M. Forster g, J. Fuglestvedt h, A. Gettelman i, R.R. De Le´on a, L.L. Lim a, M. T. Lund h, R.J. Millar c,o, B. Owen a, J.E. Penner j, G. Pitari l, M.J. Prather k, R. Sausen d, L. J. Wilcox m.

Niklass et al, (2020): *Integration of Non-CO2 Effects of Aviation in the EU ETS and under CORSIA* . Final report. Malte Niklaß, Katrin Dahlmann, Volker Grewe, Sven Maertens, Martin Plohr and Janina Scheelhaase Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Hamburg, Oberpfaffenhofen und Köln Jonathan Schwieger, Urs Brodmann, Claudia Kurzböck, Mischa Repmann and Nadin Schweizer First Climate (Switzerland) AG, Zürich. Environmental Research of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety

Shippingwatch (2021): *OECD and the Netherlands warn against LNG as a transitional fuel to reach climate goals*, 20.05.21.
Shippingwatch: <https://shippingwatch.com/regulation/article12994209.ece>

Splash (2021): *World Bank urges governments to stop spending on LNG bunkering infrastructure*, 16.04.2021.
Asia Shipping Media Pte Ltd: <https://splash247.com/world-bank-urges-governments-to-stop-spending-on-lng-bunkering-infrastructure/>

Trafikstyrelsen (2021): Udtræk fra Luftfartsstatistikken leveret november 2021 af Trafikstyrelsen.