



Danmarks globale klimapåvirkning - Global afrapportering 2024 (GA24): International transport

Kontor/afdeling
Systemanalyse & Innovation

Dato
29-04-2024

Baggrundsnotat nr. 10

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	2
2.	Rammesætning	2
3.	International luftfart	5
3.1.	Klimaregulering af international luftfart	5
3.2.	Flytransportens udledninger – nøgletal og indikatorer	9
3.3.	Luftfartens non-CO ₂ relaterede effekter	18
3.4.	Øvrige indsatser for reduktion af luftfartens klimæffekt	23
3.5.	Teknologisk udvikling	23
3.6.	Metode	26
3.7.	Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer	27
4.	International skibsfart	28
4.1.	Klimaregulering af international skibsfart	29
4.2.	Udledninger – nøgletal og indikatorer	34
4.3.	Black Carbon	39
4.4.	Øvrige indsatser for reduktioner i skibsfarten	40
4.5.	Teknologisk udvikling	41
4.6.	Metode	44
4.7.	Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer	45
5.	Kilder	46
6.	Bilag	50
6.1	Datakilder for afrapportering af nøgletal og indikatorer for international luftfart	50
6.2	Datakilder for afrapportering af nøgletal og indikatorer for international skibsfart	55

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

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

www.ens.dk



1 Indledning

Nærværende baggrundsnotat om international transport er en opdatering af baggrundsnotatet fra Global Afrapportering 2023 (GA23). Metode og tilgang er dermed i høj grad den samme som i GA23, og de væsentlige ændringer består af en opdatering af:

- Nøgletal og tilhørende indikatorer på baggrund af seneste tilgængelig data fra de anvendte statistikker.
- Reguleringen på området ud fra seneste politiske beslutninger og internationalt samarbejde.
- Udvikling i forhold i teknologi og klimaeffektopgørelser.

2 Rammesætning

International luft- og skibsfart står hver for 2-3 pct. af de globale energirelaterede CO₂ udledninger ((IEA, 2024a; IEA 2024b). Samtidig indgår udledninger fra international luft- og skibsfart ikke i opgørelserne af de forskellige landes territoriale udledninger, som indrapporteres til FN's Klimakonvention, eller i de enkelte landes nationale målsætninger under Parisaftalen, *jf. FN's opgørelsesmetode*. Udledninger af CO₂ fra luft- og skibsfarten, der omfattes af EU's kvotedirektiv, er dog omfattet af EU's reduktionsmål under Parisaftalen, *jf. EU's såkaldte Nationally Determined Contribution (NDC)*.

FN's klimapanel IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) medtager udledninger fra global luft- og skibsfart i sine beregninger, mens reduktionsmål for luft- og skibsfart håndteres internationalt i regi af ICAO¹, IMO² og på europæisk plan gennem EU.

International skibsfart, der står for ca. 2 pct. af de globale udledninger, har været påvirket af covid-19 pandemien, der brød ud i 2020, hvor fragttaktiviteterne faldt. Aktiviteten og udledningerne steg igen i 2021 og 2022. Det forventes, at fragttaktiviteterne vil stige frem mod 2050 i takt med forventninger om stigning i verdenshandlen (Clarke, D., et al., 2023; IEA, 2024b). Skibsfarten har, foruden de direkte udledninger af drivhusgasser, også klimaeffekter fra udledningen af black carbon, der består af sodpartikler fra motorernes forbrændingsproces. I afsnit 4.3 beskrives effekterne vedrørende black carbon nærmere.

Globalelt set, var luftfarten (både udenrigs- og indenrigsflyvninger) i 2019, lige inden Covid-19 pandemien, ansvarlig for ca. 3 pct. af de globale CO₂ udledninger. Aktivitetsniveauet blev stærkt påvirket af covid-19 pandemien, og CO₂ udledninger faldt som

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 skibsfart.



følge heraf i 2020 med knap 43 pct. Udledningerne er siden steget igen, og i 2022 var udledningerne tilbage på ca. 75 pct. af niveauet i 2019 (IEA, 2024a).

Luftfarten har gennem årtier været kendetegnet ved markant passagervækst, og efterspørgslen på lufttransport forventes fortsat at stige frem mod 2050. ICAO har, medregnet covid-19 effekter, estimeret den globale årlige vækst i passagerenes efterspørgsel på lufttransport til at være mellem 2,9-4,2 pct. om året frem mod 2050 målt i RPK (ICAO, 2021). Det vil i givet fald svare til en tredobling i 2050 set ift. 2018-niveauet. Der forventes en tilsvarende udvikling ift. luftfragt. Dermed forventes det også, at udledningerne vil vokse hurtigt og allerede i 2025 overstige niveauet i 2019 (IEA, 2024a).

Internationalt er det anerkendt, at luftfarten, ud over klimaeffekten fra de direkte CO₂ udledninger, har en væsentlig klimaeffekt relateret til forbrændingen af brændstof i stor højde, også kaldet non-CO₂-effekter (IPCC, 1999; EASA, 2020). Effekterne er komplicerede at bestemme, og der er endnu ikke international konsensus om opgørelsesmetode, hvorfor de ikke er en del af gældende regulering. Non-CO₂-effekterne gennemgås nærmere i afsnit 3.3.

Danmarks Klimastatus og –fremskrivning (KF) giver årligt en status for, hvordan Danmarks territoriale drivhusgasudledninger har udviklet sig siden 1990. Dertil en vurdering af udviklingen i udledningen af drivhusgasser frem mod 2035, under frozen policy, det vil sige uden nye politiske tiltag. Heri indgår udledninger fra transport i Danmark, dvs. vejtransport, banetransport samt indenrigs skibs- og luftfart³ samt grænsehandel af brændstoffer.

GA har modsat KF et globalt fokus og præsenterer de internationale effekter af *danske aktiviteter og den danske klimaindsats*. I dette baggrundsnotat om international transport afdækkes derfor, hvordan danske aktiviteter er med til at påvirke de globale udledninger fra international luft- og skibsfart. GA omhandler de udledninger, som involverer *dansk aktivitet*, eller som kan siges at være danskrelaterede, men som ikke er omfattet af Danmarks opgørelse af de nationale udledninger i henhold til FN's Klimakonvention, og som på den baggrund ikke er en del af det danske reduktionsmål for 2030.

Den *danske klimaindsats* er i denne sammenhæng eksempelvis, hvis Danmark påvirker indholdet af biobrændstof, når der bunkres eller tankes i Danmark til udenrigsskibs- 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, *jf. Klimaloven*.

³ For luftfarten mellem Danmark og hhv. Grønland og Færøerne medregnes blot udledninger fra den del af brændstoffet, der er tanket i Danmark. Ruter internt i Grønland og Færøerne er ikke inkluderet. Disse afgrænsninger følger FN's opgørelsesmetode.



Afrapporteringerne vedr. international transport er styret af, hvordan *danskrelaterede* udledninger uden for Danmark 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 boks 1, flere kapitler i GA24, hvor elementer af international transport indgår.

Boks: International transports sammenhæng med øvrige kapitler i GA24

Udledninger fra international transport indgår som element i flere dele af GA24. 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, alle fly til og fra Danmark samt skibe der bunkrer og fly som tankere i Danmark (jf. metodeafsnittene 3.6 og 4.6). 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 afrapporteringer i GA24, fx fordi udledninger fra dansk opererede skibe, som fragter varer til import og forbrug i Danmark både er med i indeværende afrapportering samt under klimapåvirkning af import og forbrug.

Relaterede afrapporteringer i GA24 er defineret som følgende:

International transport: Drivhusgasudledninger opgøres med fokus på, hvem der transporterer (operatør) og hvor transporten sker. Den danske indenrigstransport er ikke medtaget. Baggrundsnotatet er derfor et tillæg til afrapporteringerne for klimapåvirkning for import, eksport og forbrug i GA24.

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 transporterer varer til forbrug i andre lande.

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



Der er således visse overlap: Fx er udledninger fra danskopererede skibe i udlandet, der fragter varer, som efterfølgende importeres og forbruges i Danmark, inkluderet både i indeværende afrapportering samt i opgørelser under klimapåvirkning af import og forbrug, jf. baggrundsnotaterne *Klimaaftrykket af import* og *Klimaaftrykket af forbrug*.

GA24 indeholder en række nøgletal for danske aktiviteter inden for skibs- og luftfart. Det drejer sig dels om, hvor store udledninger danske aktiviteter giver anledning til, og dels hvordan de kan vurderes ift. sektorens og andre aktørers udledninger. Derfor er det også væsentligt at være opmærksom på, at de danske udledninger også er drevet af ændringer i de danske markedsandele ift. den globale efterspørgsel på transport. Den globale efterspørgsel på international transport er her betragtet som værende eksogen, hvilket vil sige, at den vil blive mødt, hvad enten den leveres af danske eller udenlandske aktører.

GA24 indeholder desuden en gennemgang af den internationale regulering af områderne. Endelig indeholder GA24 perspektiver for en række teknologier og drivmidler, som forventes at kunne blive en del af løsningen for at omstille international skibs- og luftfart på længere sigt.

3 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 internationalt erhverv, hvor fly, flyselskaber, bemanningsselskaber 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 udelukkende på selve flyvningerne, herunder både på danske luftfartsselskabers globale aktiviteter og på alle selskabers – også udenlandske selskabers - flyvninger til og fra Danmark.

Begrebet "danskrelaterede flyvninger" er i denne sammenhæng indkredset med afsæt i de tilgængelige databaser, og dækker data for 1) alle fly, uanset tilhørsforhold, der flyver til og fra Danmark, 2) udenrigsluftfartens tankning i Danmark, uanset tilhørsforhold samt 3) alle danskopererede fly, der tankes i udlandet.

3.1 Klimaregulering af international luftfart

Både i EU og i ICAO er der fastsat politiske mål om at reducere luftfartens klimapåvirkning. EU vedtog i juni 2021 den europæiske klimalov, der tilsiger mindst 55 pct. CO₂-reduktion i 2030, i forhold til 1990, og klimaneutralitet inden 2050. Flyvningerne internt i EU er omfattet af målsætningen (Europakommissionen, 2022) og i 2023 færdigforhandlede EU et krav til luftfartens udledninger gennem ReFuelAviation-forordningen (Europa-Kommissionen, 2024a).



ICAO vedtog i 2022 et langsigtet mål om en klimaneutral global luftfartssektor i 2050 (ICCT, 2023). Der er tale om et såkaldt "*long-term global aspirational goal*" (LTAG) for international luftfart, og dermed ikke et bindende mål, hverken for medlemslande eller luftfartsselskaber. Som led i opnåelsen af LTAG vedtog ICAO's medlemslande i november 2023 et delmål på 5% CO₂-reduktion i 2030. Denne CO₂-reduktion skal primært komme fra brugen af bæredygtige flybrændstoffer (SAF), men også brug af mere effektive operationer og ny teknologi.

Luftfartens udledninger er reguleret både i EU's kvotehandelsystem (EU ETS) og i FN regi via ICAO's globale CO₂-reguleringsmekanisme CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation). Begge instrumenter anvender en markedsbaseret tilgang, som skaber økonomisk incitament for luftfartsselskaberne til at mindske deres CO₂-udledning. Regeringen indgik i december 2023 *Aftale om Grøn Luftfart i Danmark*, sammen med Socialistisk Folkeparti og Enhedslisten. Aftalen indeholder bl.a. en passagerafgift, der indføres med 70 kr. i gennemsnit pr. rejse i 2025 stigende til 100 kr. i gennemsnit pr. rejse i 2030. Afgiften differentieres, så der ved fuld indfasning i 2030 opkræves 50 kr. for indenrigsrejser og rejser inden for Europa, mens der opkræves 310 kr. og 410 kr. på mellem- og langdistanceruterne. Denne passagerafgift skønnes at medføre en marginal passagernedgang, hvilket alt andet lige, forventes at medføre en vis reduktion i udledningerne fra international luftfart knyttet til Danmark.

EU ETS omfatter flyvninger inden for EU og EØS (inkl. flyvninger til Storbritannien og Schweiz). Under EU ETS skal luftfartsselskaberne købe CO₂-kvoter svarende til deres udledninger på flyvninger internt i EU. Luftfartsselskaberne modtager i dag en del af deres kvoter gratis, dog er der med revisionen af EU's kvotehandelsystem fra december 2022 besluttet helt at udfase tildelingen af gratiskvoter fra 2024 til 2026, *jf. boks 2*. Hertil er der indført en ny ordning, således at der er afsat en mængde CO₂-kvoter svarende til 20 mio. ton frem mod 2030, som kan udløses til luftfartsselskaber, der køber bæredygtigt flybrændstof (SAF), for herigennem at give et økonomisk incitament til at købe SAF.

CORSIA er et globalt markedsbaseret klimakompensationssystem, der er designet med det formål at sikre en CO₂-neutral vækst i international luftfart fra 2020 og frem. CORSIA implementeres i tre faser: pilotfasen (2021-23), første fase (2024-26) og anden fase (2027-2035). Fra 2021-2026 skal flyvninger mellem de 118 lande, herunder Danmark og alle øvrige EU-lande, som deltager i CORSIA's første frivillige fase, kompensere for udledninger, der overstiger baselineniveauet (2019-niveau). Flyselskaberne havde dog ingen kompensationsforpligtigelse i 2021 og 2022, idet udledningerne i begge år var under baselineniveauet (2019-niveau) som følge af Covid-19.

For perioden 2024-2035 er det bestemt at baseline-udledningen skal reduceres til 85 pct. af 2019-niveauet.



Kompensationen for CO₂-udledningerne sker gennem køb af internationale kreditter, som primært medfører reduktion i udledninger i andre sektorer. Når den enkelte flyoperatørs kompensationsforpligtelse skal beregnes under CORSIA, vægtes flyoperatørens egne udledninger med en sektorvækstfaktor. Sektorvækstfaktoren afspejler den generelle vækst i udledninger for alle selskabers udledninger omfattet af CORSIA. Dette betyder, at det enkelte flyselskab påtager sig en andel af den samlede udledningsvækst i sektoren. På ICAO's generalforsamling i 2022 blev det besluttet at forøge vægten af sektorvækstfaktoren på bekostning af den individuelle vækstfaktor. Medregning af sektorvækstfaktoren er til fordel for hurtigt voksende selskaber, men også for de hurtigt voksende luftfartsnationer, idet deres kraftigere vækst udjævnes over alle lande, som er med i CORSIA.

EU's Fit-for-55 pakke

Europa-Kommissionen har vedtaget forskellig regulering af luftfartens CO₂-udledninger, herunder revision af kvotehandelssystemet for luftfart samt et fælleseuropæisk iblandingskrav til luftfarten (ReFuelEU Aviation), *jf. boks 2*. Derudover er en revision af beskatningen af flybrændstof fortsat under forhandling.



Boks 2: Fit-for 55 aftaler på luftfartsområdet

Aftaler

Revisionen af EU's kvotehandelsdirektiv (ETS) betyder at tildelingen af gratis-kvoter til luftfartsselskaberne udfases frem mod 2026. Herudover er det aftalt, at der fastsættes en højere lineær reduktionsfaktor, hvilket øger prisen for kvoterne i systemet. Der er indført en ny ordning, således at der afsættes en mængde CO₂-kvoter, svarende til 20 mio. ton frem mod 2030, som kan udløses til luftfartsselskaber, der køber bæredygtigt flybrændstof (SAF). Endelig skal Kommissionen indføre et system til overvågning, rapportering og verificering (MRV) for non-CO₂-effekter i 2025 med henblik på at opnå et datagrundlag for reguleringen af non-CO₂-effekter. EU-Kommissionen skal senest i 2028 fremsætte et forslag for håndtering af non-CO₂-effekter.

AFIR (Alternative Fuels Infrastructure Regulation) medfører at større lufthavne skal sikre elektricitetsforsyning ved lufthavnenes standpladser ved gates senest i 2025 og alle remote standpladser i 2030. Elektricitetsforsyningen skal understøtte, at flyene kan slukke motorerne i forbindelse med parkering mellem to flyafgange. I Danmark er elektrificering af standpladser dog allerede i vid udstrækning gennemført.

ReFuelEU Aviation indfører et europæisk krav til brændstofleverandører om iblanding af bæredygtige brændstoffer på 2 pct. i 2025, stigende til 6 pct. i 2030 med et underkrav om iblanding af syntetiske brændstoffer, som bl.a. PtX-brændstoffer. Kravet forøges over tid til 20 pct. i 2035, 34 pct. i 2040, 42 pct. i 2045 og 70 pct. i 2050. Underkravet til syntetiske flybrændstoffer indføres fra 2030 med et gennemsnitsunderkrav på 1,2 pct. i perioden 2030-31 og 2 pct. i perioden 2032-34. Det syntetiske underkrav fastsættes herefter til et årligt underkrav og forøges til 5 pct. i 2035, 8 pct. i 2040, 11 pct. i 2045 og 35 pct. i 2050. ReFuelAviation introducerer også et krav i forhold tankningsprocedure, der skal undgå, at de enkelte fly tanker mere end der er behov for på en flyvning, som følge af lokale prisforskelle på brændstof. Dette skal både øge konkurrencen og have emissionsmæssige fordele, idet der ikke flyves med mere vægt end nødvendigt.

Revisionen af direktivet for vedvarende energi (VEIII) definerer hvilke alternative brændstoffer, der anses som "grønne alternativer" til de fossile kilder. Med VEIII udvides basen fra kun at omfatte vej og bane til også at omfatte indenrigs- og udenrigs sø- og luftfart. Rådet og EU-Parlamentet afsluttede forhandlingerne af forslaget i marts 2023.

Igangværende forhandlinger

Revision af Energibeskatningsdirektivet: Europa-Kommissionens forslag indebærer at afskaffe den obligatoriske afgiftsfritagelse for flybrændstof. Flybrændstof til flyvninger inden for EU vil i stedet blive underlagt minimumsafgifter (på niveau som benzin og diesel), som indføres hen over en tiårig periode. Forslaget forhandles fortsat i rådsarbejdsgruppen, og det er p.t. usikkert, hvornår der kan opnås enighed om forslaget, da der fortsat er uenighed om større elementer.



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, så brændstofforbruget mindskes. 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. Der pågår trilogforhandlinger om forslaget, dvs. mellem Kommissionen, Rådet og EU-Parlamentet, og forhandlingerne forventes at fortsætte i 2024.

3.2 Flytransportens 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 drivhusgasudledninger ift. rejseaktiviteten og effektiviteten i sektoren. Desuden præsenteres udledninger fra danskopererede flys tankning i udlandet, som også omfatter flyveaktiviteter, der ikke nødvendigvis berører Danmark territorialt. En stor del af de danskopererede 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 lufthavnenes udledninger.

Udledningstallene omfatter kun den direkte udledning af drivhusgasser fra forbrænding af brændstof. Det vil sige, at udledninger forbundet med udvinding, produktion og transport af brændstoffer ikke medregnes.

Forbrænding af flybrændstof i højere luftlag har yderligere klimaeffekt, som rækker ud over den klimaeffekt, der alene tilskrives udledningen af drivhusgasserne CO₂, CH₄ og N₂O. Der er fortsat videnskabelig usikkerhed vedr. størrelse og metoder for opgørelse af denne ekstra klimaeffekt, ligesom der endnu ikke er international konsensus om, hvordan effekten konkret skal indregnes officielle klimaopgørelser.

For nærmere beskrivelse af data, afgrænsninger, metoder og kilder henvises der til metodeafsnit 3.6 (og dertil hørende bilag).



3.2.1 Udledninger

Udledningen af drivhusgasser forbundet med flyvninger fra Danmark til første udenlandske destination lå i 2009 på ca. 2,3 mio. ton CO₂e, hvilket frem mod 2019 steg til ca. 3 mio. ton CO₂e, jf. kurven "passager- og fragtfly" i Figur 1.

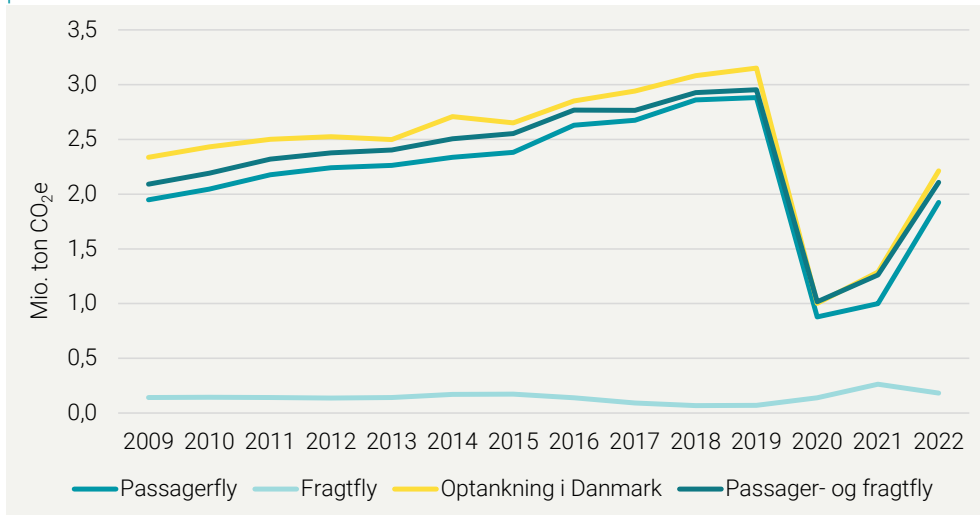
Tallene dækker over udledninger fra fly med afgang fra Danmark uanset passagerernes eller flyenes nationalitet. Stigningen i udledningerne afspejler en generel international vækst i efterspørgslen på flytransport. Efter at være faldet til omkring 1 mio. ton CO₂ i 2020 som følge af covid-19, er udledningerne i 2022 steget til 2,2 mio. ton. Disse tal dækker ikke non-CO₂ klimaeffekterne forbundet med udledninger i stor højde.

Figur 1 viser udledningerne forbundet med udenrigsflyvning fra Danmark på baggrund af to forskellige opgørelsesmetoder. Den gule kurve viser drivhusgasudledningerne 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 deltaljeret 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 6.1 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.

Figur 1: Udledning af drivhusgasser forbundet med udenrigsflyvning fra Danmark i perioden 2009-2022.



Kilde: Energistyrelsen 2023; Trafikstyrelsen 2023.

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 udledningerne knyttet alene til flyvninger fra Danmark. Af Figur 2 fremgår den bottom-up beregnede udledning samlet for begge retninger.

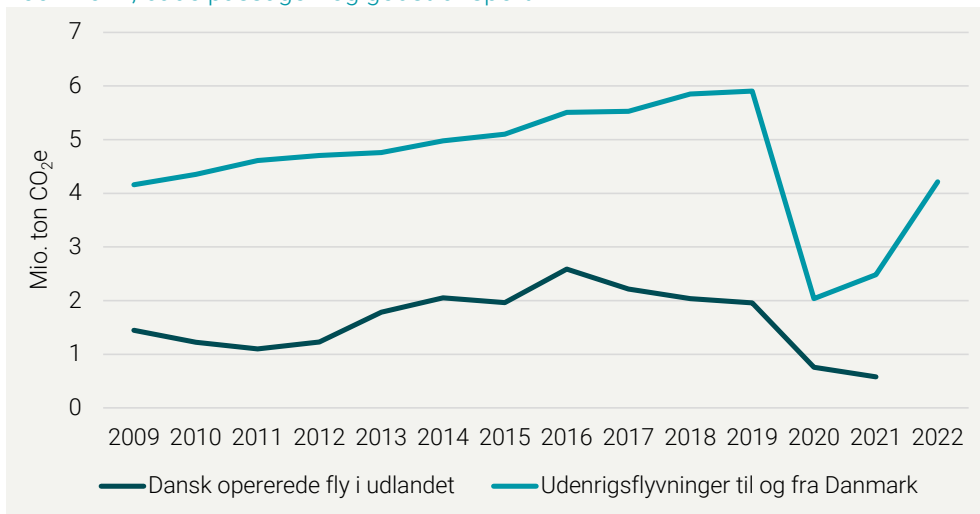
De beregnede udledninger omfatter udenrigsflyvninger med passagerer og/eller gods uanset flyselskab og -ejerforhold på strækninger mellem en dansk lufthavn og den efterfølgende eller seneste udenlandske lufthavn. Udledningerne kan ikke specifikt knyttes til de ombordværende passagerers nationalitet eller fragtgodsets produktions- eller slutanvendelsesland. Beregningen er lavet med antagelse om, at alle flyvninger indtil videre stadig foretages uden brug af bæredygtige flybrændstoffer eller lignende, der kan nedbringe flyvningens CO₂-udledning knyttet til den enkelte flyvning⁴. Der sker et brat fald i udledningerne i 2020 som følge af covid-19 og en efterfølgende begyndende stigning i udledningerne i 2021, og en kraftig stigning mod 2022, jf. Figur 2.

Figur 2 viser endvidere udviklingen i udledningen af drivhusgasser fra danskopererede flys tankning i udlandet. Dette er beregnet ud fra samme princip, som anvendes i Danmarks Statistiks *Grønt nationalregnskab* (data tilgængelige frem til 2021). Her medregnes udledninger i udlandet, der er knyttet til luftfartsselskaber, som er hjemmehørende/registreret i Danmark.

⁴ Ifølge IATA var den globale SAF produktion i 2022 omkring 240.000 tons, svarende til cirka mellem 0,1 procent af det globale jet fuel forbrug. Ifølge IATA kan stigning i produktionskapacitet af SAF føre til cirka 24 mio. tons SAF i 2030.

Stigningen i udledningerne frem mod 2019, både dem fra flyvning til og fra DK samt de dem fra dansk opererede flys aktiviteter i udlandet, forårsagedes primært af en voksende global efterspørgsel på flytransport. I opgørelsen af udledningerne for dansk opererede flys tankning i udlandet vil ændringer i markedsandele dog også kunne påvirke andelen af udledningerne med dansk tilknytning.

Figur 2: Udledning af drivhusgasser forbundet med udenrigsflyvning til og fra Danmark frem til 2022, samt fra dansk opererede flys tankning i udlandet i perioden 2009-2021, både passager- og godstransport.

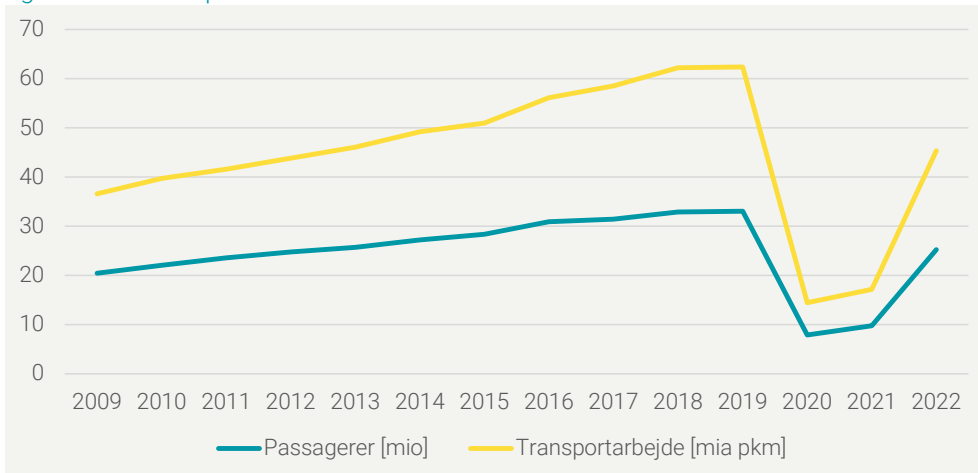


Kilde: Trafikstyrelsen, 2023; Danmarks Statistik, 2023.

3.2.2 Aktivitet

Udviklingen i luftfarten kan anskues enten som udviklingen i antallet af passagerer eller ved udviklingen i transportarbejdet, målt i antal personkilometer. De to tilgange afspejler hhv. udviklingen i antallet af passagerer, der flyver ud og ind af Danmark eller om der samlet set løses et større transportarbejde med fly til og fra Danmark, hvilket både afhænger af antal passagerer og hvor langt de flyver. I figur 3 nedenfor ses udviklingen i disse parametre beregnet på baggrund af data fra Trafikstyrelsens Luftfartsstatistik. 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 tydeligt i 2020, hvor antallet af passagerer faldt til ca. 8 mio. og transportarbejdet faldt til 14,5 mia. personkilometer. I 2022 steg passagerantallet til ca. 25 mio. og transportarbejdet til ca. 45 mia. personkilometer.

Figur 3: Antal passagerer og transportarbejde forbundet med udenrigsflyvninger til og fra Danmark i perioden 2009-2022.



Kilde: Trafikstyrelsen, 2023.

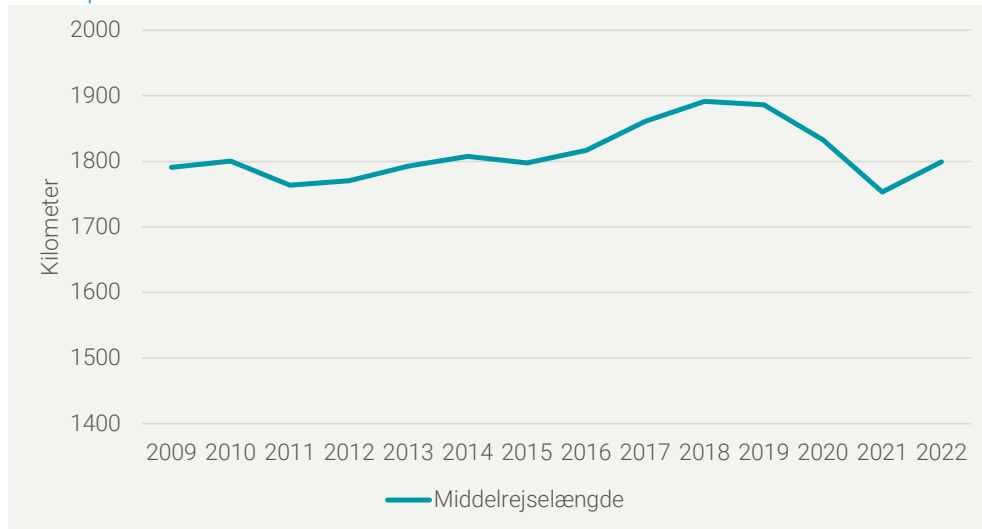
Danmarks Statistik udarbejder ligeledes data for udviklingen i antal passagerer og transportarbejde, og benytter også dataudtræk fra Trafikstyrelsens luftfartsstatistik. Danmarks Statistik resultater er dog lidt anderledes, hvilket bl.a. skyldes forskelle i opgørelsesmetoder, afgrænsninger ift. hvilke danske lufthavne, der er omfattet, samt definition af en flyrejse. Endvidere benytter Danmarks Statistik storcirkelafstande mellem lufthavne, mens tallene i GA24 beregningerne er baseret på bottom-up-tilgang der anvender approksimative faktiske flyvelængder⁵ (se bilag 6.1).

Med udgangspunkt i data fra Luftfartsstatistikken kan udviklingen for en gennemsnitlig rejselængde per flyrejse estimeres. Denne udvikling er vist i figur 4, hvoraf det fremgår, at der samlet set over perioden 2009 til 2022 ikke er sket en betydelig ændring i middelrejselængden (dog med en langsomt stigende rejselængde frem til 2018, som efterfølgende er aftaget).

⁵ Storcirkelafstande er betegnelsen for den korteste afstand mellem to punkter på en kugleoverflade. I praksis vil reelle flyvninger afvige fra den kortest mulige afstand pga. trafik, luft-rumsregler, indflyvning, ventetid i luften.



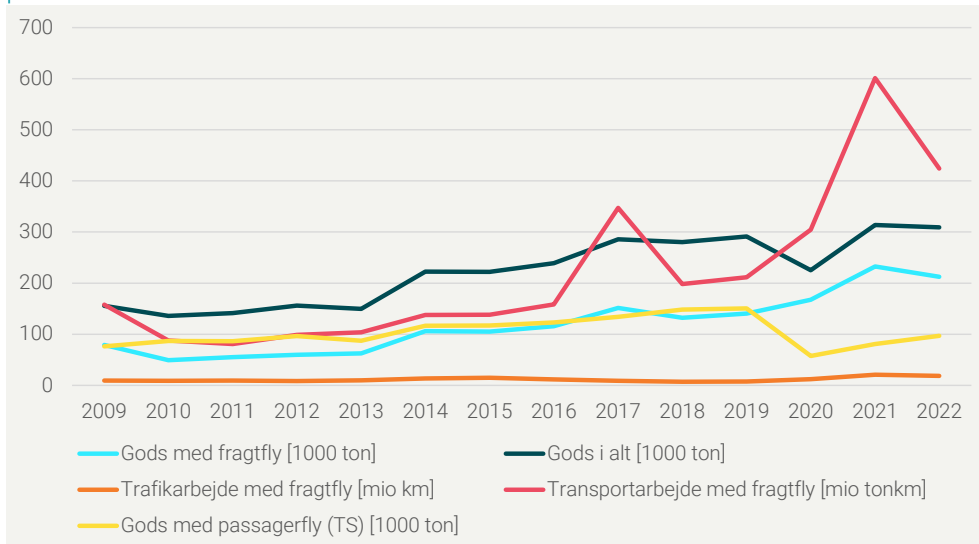
Figur 4: Gennemsnitlig rejselængde pr. passager på udenrigsflyvninger til og fra Danmark i perioden 2009-2022



Kilde: Trafikstyrelsen, 2023

I Figur 5 vises udviklingen i godsmængder og flyveaktivitet for perioden 2009 til 2022. Mængden af ton flygods i alt (både fragtfly og som belly freight i passagerfly) 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). Fra 2021 er den samlede mængde flygods atter på niveau med årene før covid-19. Transportarbejdet (med fragtfly) målt i tonkm (udtryk for *et ton gods transporteret en kilometer*) 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 2009-2022.



Kilde: Trafikstyrelsen, 2023. Anmærkning: Bemærk at y-aksens enheder er forskellig afhængig af tidsserier.

Både transportarbejdet og godsmængden med fragtfly udviser en kraftig stigning i 2020, og særligt i 2021, sammenholdt med den historiske trend. Afvigelsen kan formentlig knyttes til covid-19. Pga. covid-19 har der været færre passagerfly, men for at imødekomme efterspørgslen på fragtleverancer, har fragtgods 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.

3.2.3 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. På baggrund af tilgængelige data er følgende indikatorer for passagerflyvninger udvalgt:

- Udledning per flyrejsende (CO₂e per person)
- Udledning per transportarbejde (CO₂e per personkilometer)
- Udledning 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 6.1.

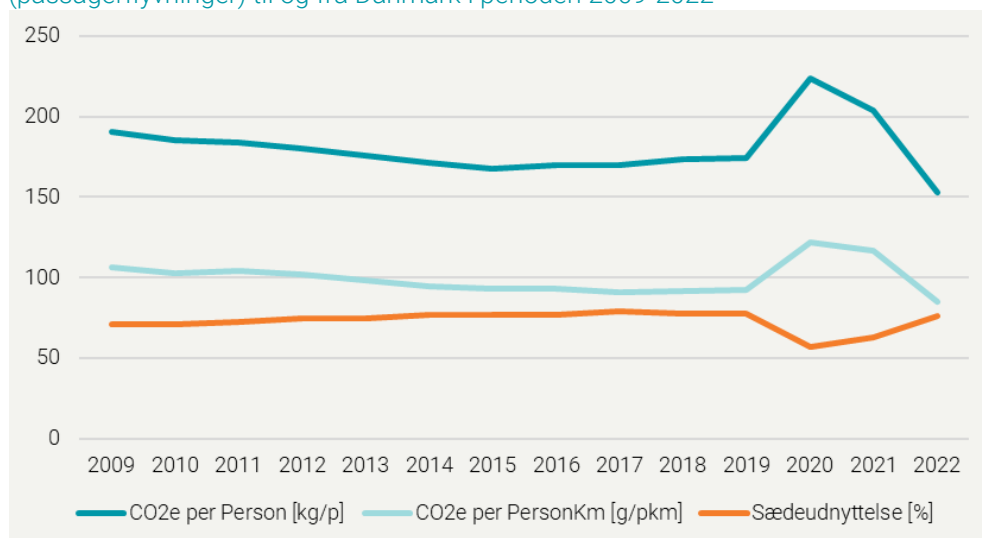
Desuden belyses udvikling i flystørrelse og udnyttelsen af flyenes transportkapacitet udtrykt ved indikatorerne:



- 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 indikatorer, der belyser effektivitetsudviklingen i udenrigsluftfarten (passagerflyvninger) til og fra Danmark i perioden 2009-2022



Kilde: Trafikstyrelsen, 2023. Anmærkning: Bemærk at y-aksens enheder er forskellig afhængig af tidsserier.

Den gennemsnitlige flystørrelse, udtrykt som antal sæder per fly, er i perioden 2009 til 2022 vokset med ca. 25 pct. fra 127 sæder til 160 sæder. I samme periode er flyenes udledningsintensitet (CO₂e-udledning per flykilometer) faldet fra 13,4 kg CO₂e per flykilometer til 12,4 kg CO₂e per flykilometer. Det vil sige, at flyene som helhed er blevet større og relativt mere energieffektive, blandt andet via mere effektive motorer. I samme periode har sædeudnyttelsesgraden til gengæld ikke ændret sig markant, bortset fra årene 2020-2021 pga. covid-19 i perioden, og ligger på 76 pct. i 2022.

Samlet set giver udviklingen anledning til en reduktion i udledningen per personkilometer fra 107 g CO₂e/personkilometer i 2009 til 85 g CO₂e/personkilometer i 2022, svarende til et fald på ca. 21 pct. Ud over de ovennævnte forhold kan andre tiltag som eksempelvis optimering af flyveruter, udnyttelse af vejrforhold og ændrede 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. Udledningerne per passager målt på personkilometer steg i denne tid tilsvarende markant. I 2022, hvor aktiviteten i luftfartssektoren igen har været stigende, ses atter et fald i udledningerne målt per personkilometer.

For fragtflyvninger er der beregnet tilsvarende indikatorer:

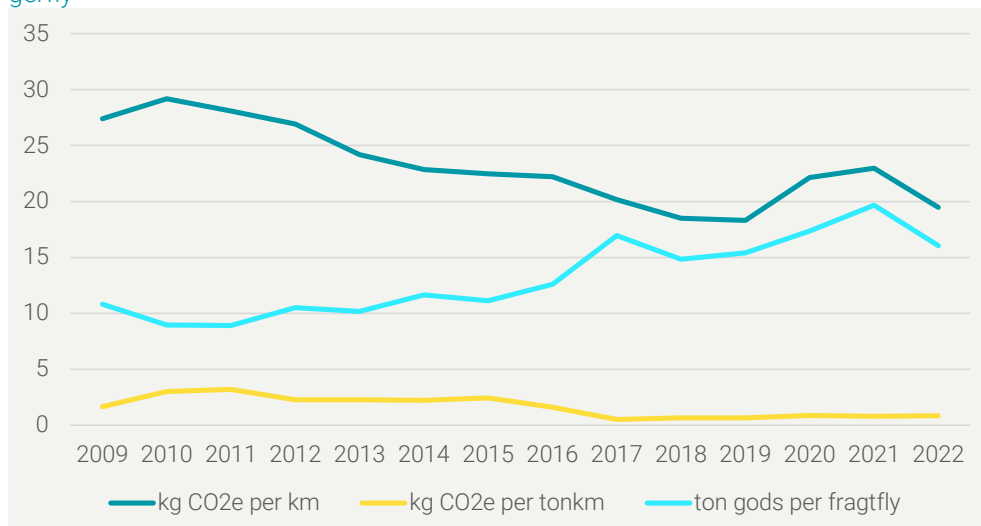
- Udledning per fragtgods (CO₂e per ton fragt)
- Udledning per transportarbejde (CO₂e per tonkilometer)
- Udledning per trafikarbejde (CO₂e per flykilometer)

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 tre indikatorer, som er opstillet for at belyse effektivitetsudviklingen i udenrigsluftfarten (fragtflyvninger) til og fra Danmark i perioden 2009-2022. Opgørelsen er foretaget for rene fragtfly og inkluderer således ikke 'belly freight' i passagerfly



Kilde: Trafikstyrelsen, 2023. **Anmærkning:** Bemærk at y-aksens enheder er forskellig afhængig af tidsserier. Opgørelsen er foretaget for rene fragtfly og inkluderer således ikke 'belly freight' i passagerfly.

Fragtflyvninger har undergået en væsentlig udvikling. Den gennemsnitlige godsmængde per fragtflyvning er vokset ca. 60 pct. fra omkring 10 ton i 2009 til omkring 16,5 ton i 2019. Udledningen per transportarbejde er i samme periode faldet ca. 50 pct. fra 1,7 kg CO₂e/tonkilometer til 0,9 kg CO₂e/tonkilometer. Udviklingen vurderes at kunne tilskrives den stigende efterspørgsel på fragtflyvning kombineret med effek-



tivisering 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.

3.2.4 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 og lå inden effekterne af covid-19 på ca. 6 mio. ton i 2019. Efterfølgende er udledningen igen steget og var i 2022 på ca. 4,5 mio. ton. I perioden 2009-2022 er udledningerne pr. passagerkilometer faldet med ca. 21 pct. til 85 g CO₂e/passagerkilometer. Dette viser, at samtidig med at aktiviteten i, og udledningerne fra, udenrigsluftfarten er steget, er sektoren overordnet set blevet mere effektiv, så der udledes mindre i forhold til transportarbejdet.

3.3 Luftfartens non-CO₂ relaterede effekter

Luftfarten har, ud over den direkte klimaeffekt af CO₂-udledning, en yderligere klimapåvirkning, der skyldes flyenes udledninger i stor flyvehøjde. Effekten af disse udledninger omtales som luftfartens non-CO₂ relaterede klimapåvirkninger. Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) beskriver de overordnede tekniske aspekter om disse non-CO₂ relaterede klimaeffekter, *jf. boks 3*. Der er væsentlig usikkerhed knyttet til de enkelte elementers effekt, og der er et komplekst samspil mellem dem. Det skyldes dels forhold omkring tidshorisonter, modsatrettede effekter og andre betydende faktorer som flyvehøjder, vejr- og klimatiske forhold. Derfor findes der heller ikke et sæt af fælles værdier for dette fænomen, og det indgår *ikke* som led i de nuværende klimamål for luftfarten i EU eller FN.

Videnskabelige kilder peger på, at luftfartens samlede klimapåvirkning spænder mellem 1-3 gange højere end fra den CO₂-relaterede del, afhængig af metode og tidshorisonter (Azar & Johansson, 2011; Jungbluth & Meili, 2018; Lee et al., 2021). Den største effekt findes ved langdistance flyvninger, hvor en stor del af flyvningen typisk foregår i højder over 8.000 meter.

I Storbritannien udgiver den britiske regering årligt et sæt konverteringsfaktorer, der kan anvendes internationalt af virksomheder og organisationer, der ønsker at opgøre deres klimapåvirkning. Hvis man ønsker at inkludere non-CO₂ relaterede effekter af flytransport, anbefales det her, for alle typer af flyrejser, at gange de direkte CO₂-udledninger med en faktor på 1,9 (Department for Business, Energy & Industrial Strategy 2022).

I publiceringen "Sveriges Globala klimatavtryck" fra 2022 angives luftfartens udledninger med og uden de non-CO₂ relaterede klimaeffekter (Statens Offentliga Utredningar, 2022). Baseret på Chalmers Tekniska Högskolas udredninger anvendes en faktor 1,7 på udenrigsflyvninger og en faktor 1,3 på indenrigsflyvninger.



Boks 3: Luftfartens non-CO₂ klimaeffekter. Forfatter: DMI, 2024

Luftfartens klimaeffekter

Ud over den direkte CO₂-effekt har udstødningen fra fly i de højere luftlag en yderligere klimaeffekt. Det skyldes særligt to faktorer. Dels vil øvrige udledninger fra forbrændingsprocessen (bl.a. NO_x, sulfat, sod og vanddamp) have en klimaeffekt, dels medfører flyets udledninger skydannelse i form af kondensstriber og dannelse af cirruskyer, som kan lede til en kraftig, men kortvarig opvarmning.

Der er fortsat videnskabelig usikkerhed omkring størrelsesordenen af disse effekter, herunder hvordan de estimeres. Atmosfæriske processer og komplekse kemiske vekselvirkninger er svære at modellere, og usikkerhederne er derfor særligt store for de non-CO₂-relaterede klimaeffekter. Det skyldes bl.a. at NO_x-effekten er afhængig af de fremtidige udledninger af luftforurening ved jordoverfladen. Når atmosfærens sammensætning ændrer sig i fremtidige udledningsscenarioer, fører det til ændringer i den kemiske omsætning. En renere atmosfære, som følge af lavere luftforurening ved jordoverfladen, vil føre til at den opvarmende netto-effekt fra fly-udledninger af NO_x bliver reduceret. Derudover er der store usikkerheder forbundet med vekselvirkningen mellem udstødningspartiklerne og skyer. Endelig er klimapåvirkningen fra non-CO₂-relaterede effekter foruden flyhøjde og rute påvirket af brændstofforbrug, brændstoftype, temperatur og tidspunkt på døgnet.

Overordnet giver kondensstriber, relateret til cirruskydannelse og ozondannelse fra NO_x-udstødning en kortvarig, kraftig opvarmning. Den kemiske omsætning af NO_x i atmosfæren giver dels en opvarmende effekt fra dannelse af ozon, dels en kølende effekt fra nedbrydning af metan, som resulterer i en opvarmende netto-effekt. Selvom den enkelte sky har kort levetid, kan man ved ét års udledninger fra luftfarten, se en opvarmende effekt i den globale overfladetemperatur 10 år efter udledningen, som er domineret af bidrag fra kondensstriber mens NO_x og CO₂-udledning derudover bidrager ca. lige meget. Efter 20 år er effekten fra NO_x dog kølende, og dominerer over den opvarmende effekt fra CO₂, mens bidraget fra kondensstriber er aftaget meget kraftigt. På længere sigt dominerer den opvarmende effekt fra CO₂.

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*). Anvendes denne metode leder det til, at klimaeffekten af flytransport er 1,7 gange højere end opvarmningseffekten fra CO₂-udledningerne (baseret på tal for 2018, se også Tabel 1). Man skal dog være opmærksom på, at det ikke nødvendigvis er anbefalelsesværdigt at definere en universel, simpel faktor til udregning af den relative klimapåvirkning fra non-CO₂-relaterede udledninger. Det skyldes, at resultatet er afhængigt af valget af metodik og især tidshorisont, og ikke reflekterer variationerne i den globale flåde af fly eller de varierende atmosfærebetingelser. Derudover skal det bemærkes at den direkte effekt fra CO₂ i stigende grad bliver dominerende ved valg af længere tidsperspektiver for klimapåvirkningen.



Tabel 1: Tabellen giver et øjebliksbillede fra 2018 af størrelsesordenen af de forskellige klimaeffekter fra fly's udledninger. Her er effekten angivet som effektiv strålingspåvirkning angivet i W/m².

Klimaeffekter fra luftfart estimeret for 2018. Kilder: IPCC AR6 WGI, Lee et al (2020)			
Type	Årsag	Varighed og effekt	Effektiv strålingspåvirkning angivet i w/m ²
CO ₂	Direkte udledning fra forbrænding	Opvarmende effekt; langvarig	0,034 W/m ²
Kondensstriber og cirruskyddannelse	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 på nuværende tidspunkt.

Kilde: IPCC's sjette hovedrapport 2021; EASA, 2020; Lee et al, 2021.

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.

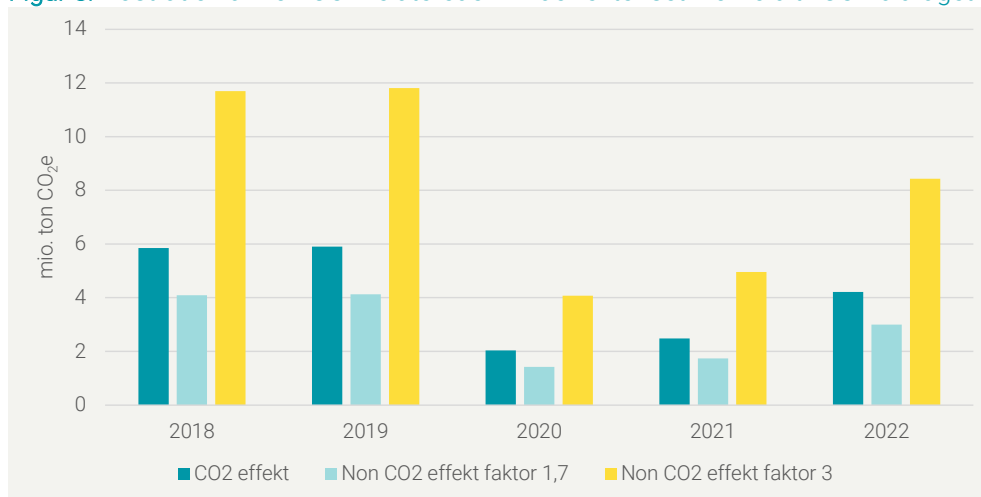
Hvis den ofte benyttede metrik for CO₂-ækvivalenter, GWP100, anvendes, findes det for 2018, at den samlede klimaeffekt af flytransport var 1,7 gange højere end effekten af CO₂-udledningerne alene. Der er en anseelig, men ikke kvantificerbar, usikkerhed på tallene i tabellen og dermed også på faktoren 1,7. Internationalt er der endnu

ikke konsensus om, hvordan luftfartens non-CO₂ relaterede klimaeffekt opgøres og indregnes i luftfartens samlede klimaeffekt. Derfor indgår de non-CO₂ relaterede klimaeffekter heller ikke i GA24's afrapportering over nøgletal og indikatorer over luftfartens udledninger, der fremgår af afsnit 3.2. Det er væsentligt at en et andet tidsinterval, som f.eks. GWP20 vil medføre en endnu højere, andel non-CO₂-effekter, fordi disse udgør mere kraftigere, men også kortvarige kraftige opvarmningsbidrag.

Nedenstående figur 8 illustrerer, hvordan non-CO₂ relaterede klimaeffekter forbundet med flyvninger til og fra Danmark ser ud, hvis de udregnes på baggrund af en faktor på henholdsvis 1,7 og 3, hvor 1,7 svarer til den faktor, DMI når frem til ved valg af GWP100, jf. *boks 3*. Som nævnt, er klimaeffekten forbundet med stor usikkerhed, og derfor inddrages også en faktor på 3, som litteraturen ligeledes placerer i spændet for mulige non-CO₂ effekter fra flyvning (Lee et al., 2021).

De specifikt anvendte flytyper, ruter og flyvehøjder samt de gældende meteorologiske forhold bidrager alle til usikkerhed om faktoren og dermed størrelsesordenen af de non-CO₂ relaterede klimaeffekter. Det betyder samtidig, at faktorerne ikke kan anvendes meningsfuldt på specifikke flyvninger, men alene bør anvendes i forbindelse med gennemsnitsbetragtninger over mange flyvninger.

Figur 8: Illustration af non-CO₂ relaterede klimaeffekter set i forhold til CO₂ bidraget.



Kilde: Energistyrelsen. **Anmærkning:** Figuren illustrerer bidraget af non-CO₂ relaterede klimaeffekter ved anvendelse af en multiplikationsfaktor på henholdsvis 1,7 og 3.

Hvis der tages højde for non-CO₂e effekterne for luftfartens samlede udledninger med en faktor 1,7, er luftfartens samlede udledninger i 2022 for fly til/fra Danmark på ca. 4 mio. ton CO₂ og non-CO₂e -effekten på ca. 2,8 mio. ton, svarende til samlede udledninger på ca. 6,8 mio. ton.

Regulering af non-CO₂ relaterede klimaeffekter

I forbindelse med revisionen af EU's kvotehandelsystem (EU ETS) er det besluttet, at Kommissionen skal indføre et system til overvågning, rapportering og verificering



(MRV) af non-CO₂-effekter i 2025 med henblik på at opnå et datagrundlag for kommende reguleringen af non-CO₂-effekter. EU Kommissionen skal senest i 2028 fremsætte et forslag for håndtering af non-CO₂-effekter.

Det diskuteres endvidere i Kommissionen, hvorvidt det vil være mere hensigtsmæssigt at målrette regulering direkte mod de non-CO₂ relaterede effekter, fx NO_x-udledning eller brændstoffets indhold af aromatiske stoffer frem for at forsøge at sammenveje effekterne i en fælles CO₂-ækvivalent for luftfart, *jf. boks 4* (EASA, 2020; Niklass et al., 2020).

Boks 4: Aromater i flybrændstoffer

Aromater i flybrændstoffer

Aromater er en gruppe af kulbrinter, der forekommer naturligt i fossile brændstoffer og hermed i fossilt flybrændstof, hvorimod de fleste SAF (bæredygtige flybrændstoffer) ikke indeholder, eller har et markant lavere indhold af, aromater. Aromater har tættende og smørende egenskaber af de bevægelige dele i flyet (brændstofpumper mv.) samt de materialer, som pakninger i flyets motor- og brændstofs-system normalt er lavet af.

Samtidig har brændstofsammensætningen, herunder aromatinholdet, betydning for partikeludledningen fra forbrændingen i flymotorer. Brændstoffer med et højt indhold af aromater, herunder især naftalin, fører blandt andet til højere sod/partikeldannelse i flymotorer, hvilket efterfølgende er medvirkende til dannelse af kondensstriber.

Dette underbygges af flere studier, blandt andet EASA (2020), der påpeger, at brændstoffer med lavt aromatinhold reducerer dannelsen af kondensstriber. Blandt andet viser Voigt et al (2021), at afbrænding af lav-aromatisk SAF kan resultere i 50-70 pct. reduktion i koncentrationen af sod og ispartikler og en reduktion i størrelsen af iskrystaller. De to typer SAF, der ligger til grund for resultaterne, har et volumenindhold af aromater på hhv. 8,5 og 9,5 pct. Studiet påpeger, at en reduktion i aromatinholdet således kan bidrage til at reducere flytransportens indvirkning på den globale opvarmning.

Indholdet af aromater i traditionelt fossilt jet fuel kan reduceres gennem to forskellige tilgange: 1) Kemisk omdannelse af aromater til andre stoffer gennem fx hydrogenering, 2) Aromaterne separeres fra brændstoffet gennem ekstraktiv destillation. De nævnte teknologier forhindrer ikke, at flybrændstoffet lever op til ASTM-standarder (CE Delft 2007). Anvendelse af teknologierne, fx på europæisk plan, vil dog medføre en vis meromkostning på brændstoffet.

Mange moderne fly- og motortyper er konstrueret med pakninger af materialer, som ikke kræver aromaters tætnende egenskaber, og der forskes og udvikles løbende på materialerne i motorerne. I praksis varierer aromatinholdet også naturligt i almindeligt jet fuel, og derfor flyves der allerede i nogle tilfælde med et lavt aromatinhold, uden at der opleves ulemper.

Kilde: NIRAS, 2022; Voigt et al., 2021



3.4 Øvrige indsatser for reduktion af luftfartens klimaeffekt

Både internationalt og i Danmark arbejdes der på at reducere udledningerne fra luftfarten. Dette vedrører både udvikling af bæredygtige flybrændstoffer med tilhørende etablering af forsyningskæder, nye teknologier, optimering af flyveruter og optimering af logistikken i lufthavnene.

Klimapartnerskabet for Luftfart er et af 14 politisk nedsatte klimapartnerskaber med erhvervslivet. I sin rapport fra foråret 2020, har Klimapartnerskabet for Luftfart udarbejdet en række initiativer og anbefalinger, som kan bidrage til Danmarks 70 pct. klimamålsætning for 2030. Det bemærkes, at initiativerne og anbefalingerne skal ses i sammenhæng med, at der skønnes en 100 pct. grøn indenrigsluftfart som følge af *Aftale om Grøn Luftfart i Danmark*. Med sektorkøreplanen for Klimapartnerskabet for Luftfart fra oktober 2021 opsummeres erhvervslivets målsætninger og indsatser, der giver overblik over de igangsatte initiativer, som der vil blive arbejdet med i de kommende år (Dansk Luftfart, 2021).

3.5 Teknologisk udvikling

Luftfarten er en af de sværere transportformer at omstille, da luftfarten har begrænsede alternative teknologier til forbrændingsmotorer og fossile brændsler.

Der stilles omfattende krav til sikkerhed, hvilket afspejles i omfattende godkendelsesprocedurer for nye flytyper og nye teknologier. Derudover er nye teknologier inden for luftfart oftest forbundet med store investeringer og øgede omkostninger. Endelig er de eksisterende fly store investeringer med lange levetider, hvilket vil fordyre en forceret omstilling betydeligt.

Luftfartsbranchen investerer i forskning og teknologisk udvikling for at reducere luftfartens klimaaftryk. Det gælder bl.a. løbende effektivisering af konventionelle teknologier, samt introduktionen af nye teknologier som el- og brintfly og bæredygtigt flybrændstof.

3.5.1 Iblanding af bæredygtige flybrændstoffer

Sustainable Aviation Fuels (SAF) er en samlebetegnelse for bæredygtigt brændstof. SAF kan iblandes fossilt flybrændstof (kerosen) eller anvendes direkte, dvs. uden iblanding i fossilt brændstof. SAF kan produceres under forskellige bæredygtighedskriterier på blandt andet restprodukter fra skov- og landbrug, affald, madolie eller ud fra "Power-to-X" teknologi baseret på elektrolyse og CO₂-kilder.

Iblanding af bæredygtigt flybrændstof vurderes at være den mest realistiske mulighed for, på kort sigt, at reducere klimpåvirkningen fra international luftfart. Det skyldes blandt andet, at både eksisterende tankningsinfrastruktur og flymateriel kan anvende SAF-produkter, samt at SAF-produkter allerede i dag er tilgængelige på markedet, om end stadig i meget små mængder i forhold til det samlede brændstofforbrug i luftfarten.



SAF certificeres i henhold til ASTM's (American Society for Testing and Materials) standarder for at sikre en forsvarlig drift og operation af flyene med eksisterende motor- og brændstofsystemer. På nuværende tidspunkt er de godkendte SAF produkter alle certificeret med en maksimal iblandingsprocent i fossilt brændstof på op til 50 pct. Det forventes dog, at disse tilladte grænser for iblanding vil øges inden for de nærmeste år. Ifølge IATA (The International Air Transport Association, 2022) var der frem til 2022 foretaget 450.000 flyvninger med jet fuel iblandet SAF, og senest er der i efteråret 2023 foretaget en transatlantisk testflyvning med et stort passagerfly, der anvendte 100 pct. SAF.

De største barrierer for øget anvendelse af SAF er dels høje priser, der kan være op til 6 gange konventionelt flybrændstof (Europa-Kommissionen, 2021). Dels er der i takt med krav og målsætninger en markant øget efterspørgsel, der kan udfordre produktionskapaciteten for SAF. Produktionen af SAF er desuden i sig selv udfordret af tilgangen til bæredygtige råvarer og vedvarende energi. Europa Kommissionens oprindelige forslag til "ReFuelEU Aviation" er vurderet at medføre et SAF-forbrug i EU på omkring 2,3 mio. ton fra 2030 stigende til 14,8 mio. tons i 2040 og 28,6 mio. tons i 2050 (EASA, 2022). Stramningen i den endelige forordning betyder et yderligere behov for SAF. Det europæiske SAF-behov skal ses i relation til projektioner for SAF produktionskapaciteten som fx IATA har vurderet til globalt omkring 24 mio. tons i 2030.

3.5.2 Elektrificering af luftfart

Skift til alternative fremdriftsteknologier, der indebærer hel eller delvis elektrificering, er særligt udfordrende for luftfarten. Her er hovedudfordringen principielt behovet for at kunne medbringe tilstrækkeligt med energi ombord på flyene, uden at det kompromitterer flyets funktion ift. hastighed, pladsbehov, vægt og lasteevne. Elektrificering af luftfart omhandler både rene el-fly, baseret på enten batteri- eller brint/brændsels-celle teknologi, men også hybridfly, hvor traditionelle forbrændingsmotorer kombineres med elmotorer.

Batterifly

Fordelen ved batterifly er at det muliggør flyvning helt uden emissioner eller dannelse af kondensstriber, ved flyvningen. Dermed undgås udledning af både klimagasser og non-CO₂ effekter. Hvis flyene oplades med elektricitet fra vedvarende energikilder, reduceres up-stream emissionerne endvidere betydeligt. Udfordringen for batteribase-rede el-fly består først og fremmest i batteriers lave energitæthed og dermed store vægt ift. energiindhold. Det betyder, at den potentielle rækkevidde bliver kort, hvorfor disse typer fremdriftsteknologi kun forventes anvendelige på kortere ruter, hovedsageligt i indenrigsluftfart. I princippet er teknologien ikke specielt begrænsende i forhold til flyenes størrelse. I praksis er de dog mindre flytyper med et relativt begrænset antal passagersæder, der kommer først på markedet. Det kan derfor kræve en omlægning af flyselskabernes nuværende ruteprogrammer, da der ved brug af min-



dre el-fly vil være behov for flere operationer for at drive det samme udbud af passagersæder. Desuden kræver teknologien, at en række forudsætninger vedrørende opladningskapaciteter, energilagring, strømforsyning fra energiproducenter og infrastrukturelle fysiske rammer i lufthavnene er opfyldt.

På verdensplan arbejder en række selskaber med udvikling af batteribaserede el-fly. De flytyper, der nærmer sig godkendelser og markedet, er som forventet i første omgang små fly med plads til under 10 passagerer og rettet mod kortere distancer. Der arbejdes dog også med udvikling af større el-fly med plads til 30 passagerer og en rækkevidde på op til 200 kilometer alene med elektrisk fremdrift. Det aktuelle fly, der ifølge producenten er planlagt færdigudviklet i 2028, forventes at kunne øge rækkevidden til 400 km i hybriddrift (dvs. i kombination med forbrændingsmotorer), og til 800 km ved reduktion af antal sæder til 25 passagerer.

Brint anvendt i brændselsceller

Parallelt med udvikling af batterifly arbejdes der også med udvikling af elektriske fly, der anvender brint og brændselsceller. Brint har 2,5 gange større energitæthed pr. vægtenhed end konventionelt brændstof og grønne flybrændstoffer, men fylder mere volumenmæssigt. Brint skal derfor opbevares enten i flydende form stærkt nedkølet (-253 grader) eller under stort tryk ombord på flyet. Selv nedkølet fylder brint 4 gange mere end konventionelt brændstof og SAF, hvilket forventeligt betyder, at brintfly skal designes anderledes end konventionelle fly. Desuden stiller anvendelsen af brint store krav til produktionskapacitet, distributionssystemer samt tank- og lagringsinfrastrukturer i lufthavnene.

Anvendes brint i brændselsceller forventes der i praksis ingen klimaeffekt fra selve flyvningen, idet der ikke sker nogen forbrænding med tilhørende CO₂-emissioner og andre udstødningsstoffer fra flyets fremdriftssystem. Der udledes således ikke sod eller partikler, der kan lede til kondensstriber, og den vanddamp der udskilles, sker med lav hastighed og temperatur og forventes ikke forbundet med dannelse af langvarige kondensstriber. Dette område er dog stadig ikke fuldt belyst.

Brint anvendt i forbrændingsmotorer

Der arbejdes også med brint som brændstof til forbrændingsmotorer. Anvendes brint i forbrændingsmotorer er der ingen CO₂-udledning og store reduktioner i udledningen af NO_x og sod/partikler i forhold til ved brugen af kerosen. Der vil dog være øget udledning af vanddamp, og derfor forskes der i betydningen af brint for kondensstribers udledning.

På længere flyvninger, fx transatlantiske, er der ikke umiddelbart udsigt til andre teknologier end forbrændingsmotorer. Derfor vil SAF (herunder e-kerosen), og på længere sigt evt. brint, formentligt være de eneste realistiske 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.

3.6 Metode

Dette afsnit beskriver den overordnede metode og afgrænsning af international luftfart i GA24.

Behandlingen af international luftfart i GA24 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 afrapportering af udledningerne tager udgangspunkt i det tilgængelige data på området med fokus på anvendelse af et konsistent datagrundlag, som kan opdateres årligt, således at afrapporteringen kan gentages i kommende afrapporteringer og udviklingen dermed kan følges. Se bilag 6.1 for mere om datakilder og gennemgang af metoden for afrapporteringen af udledningerne i form af en række nøgletal og indikatorer.

GA24's opgørelser omhandler "danskrelaterede udledninger", hvilket kan afgrænses på flere måder. Der anvendes i dag en række forskellige afgrænsninger og definitioner af danskrelateret 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 erhvervsmæssig driftslicens (Air Operator Certificate).
- 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 luftfartsudledninger 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 fra⁶. Udledningerne skønnes på baggrund af brændstof tanket i Danmark.

⁶ Udledninger fra udenrigsluftfarten indberettes til FN på trods af, at de ikke er omfattet af reduktionsforpligtelserne ift. FN's Klimakonvention.



- I Danmarks Statistik opgøres udledninger forbundet med dansk opererede fly, hvilket defineres som fly opereret af flyselskaber hjemmehørende/registreret i Danmark. Denne afgrænsning følger opgørelsen af BNP⁷.

I GA24 anvendes to forskellige afgrænsninger i afrapporteringen af udledningerne fra udenrigsluftfart med tilknytning til Danmark. Afgrænsningen skal både være operativt 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 gods⁸. 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 afrapporteringen af udledningerne på baggrund af den territoriale afgrænsning beskrives i bilag 6.1.

I den anden og supplerende afrapportering 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.

3.7 Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer

I forhold til at udvikle GA produktet, ventes det, at de teknologiske potentialer for omstilling af luftfarten vil blive mere indgående beskrevet, i takt med både de tekniske løsninger udvikles og de reguleringsmæssige tiltag, der skal understøtte deres anvendelse, implementeres. Mange af de tekniske løsninger er dog fortsat på tidlige udviklingsstadier i forhold til at udfase fossile brændstoffer.

Desuden vil udviklingen i viden og metoder for opgørelse af non-CO₂ relaterede klimaeffekter følges og i takt med dette blive inddraget i GA produktet.

⁷ 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.

⁸ Det tilgængelige data giver ikke mulighed for at skelne mellem disse forhold.



Derudover vil der blive arbejdet videre med fremme af nye typer af data og tilgang til disse, så udvikling og forhold omkring danskrelaterede udledninger fra luftfarten kan belyses bedre.

4 International skibsfart

Danmark er som verdens tiende største skibsfartsnation, målt på opereret tonnage, en stor spiller i international skibsfart (Danske Rederier, 2023). Der er cirka 1.720 dansk opererede skibe, og de udgør knap 4 pct. af verdensflådens samlede tonnage. International skibsfart er i særlig grad et globaliseret erhverv, og derfor foregår store dele af de danske aktiviteter langt uden for Europa, med USA, Kina og Japan som nogle af de største markeder. Sektoren er 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)⁹.
- 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.
- Skibsoperatører kan charter¹⁰ skibet videre til en anden operatør.

Disse karakteristika betyder, at international skibsfart er udfordrende ift. reguleringsregimer, men også ift. monitorering og dataindsamling. Metoden for opgørelserne beskrives nærmere i metodeafsnit 4.6 og bilag 6.2.

I GA24 er det derfor også udfordrende at afgrænse data til begrebet ”danskrelaterede udledninger”. Udledningerne kan eksempelvis opgøres ud fra skibsregisteret (flagstat), ejerskabet (hvor skibets ejer er registreret), operatøren (hvor skibets operatør er registreret), ruten (til/fra Danmark), ejerskabet for gods/varer eller bunkring (hvor

⁹ Nogle skibsregistre kræver dog national tilstedeværelse (i form af et kontor), hvilket er tilfældet for Danmark.

¹⁰ Chartering af et skib refererer til processen med at leje hele eller dele af et skib til en bestemt periode eller rejse.



brændstoffet tankes). Det betyder, at der bør udvises omhu, hvis forskellige opgørelser sammenlignes, da afgrænsningerne kan være signifikant forskellige og have betydelig indvirkning på resultaterne.

I GA24's afrapportering er fokus på danske rederiers globale aktiviteter og på alle selskabers – også udenlandske selskabers – skibe, der bunkrer¹¹ i Danmark.. I den sammenhæng er danskrelateret skibsfart indkredset ud fra de tilgængelige databaser. Data benyttet i GA24 omfatter således henholdsvis:

1. Alle skibe, uanset tilhørsforhold, der bunkrer i Danmark til udenrigsskibsfart (dvs. sejlads mellem en dansk havn og en udenlandsk havn)
2. Alle skibe der sejler under dansk flag over 5.000 BT (bruttotonnage¹²), uanset hvor de bunkrer
3. Danskopererede skibes bunkring i udlandet.

4.1 Klimaregulering af international skibsfart

International skibsfart foregår i sagens natur på tværs af landegrænser. Derfor er det også internationale organisationer, der udvikler rammer og regler for fx skibsfartens energieffektivitet og udledningsværdier.

Reguleringen af international skibsfart udvikler sig løbende med nye tiltag/målsætninger fra både EU og FN. Senest har EU vedtaget lovgivning, som medfører, at skibsfart i europæiske farvande omfattes af EU's kvotehandelssystem (Emissions Trading System) samt at skibe pålægges et CO₂e-fortrængningskrav i forhold til brug af brændstoffer (Europa-Kommissionen, 2024a; Europa-Kommissionen, 2024b).

FN-organisationen IMO, der med 175 medlemslande spænder bredt, har ligeledes øget og specificeret klimaambitionerne for 2050, hvilket ventes at sætte pres på udviklingen i sektoren i de kommende år.

Nedenfor beskrives de senest planlagte og implementerede tiltag fra hhv. FN og EU, som tilsigter at minimere de negative effekter fra den internationale skibsfart.

4.1.1 IMO's opdaterede langsigtede strategi

I juli 2023 reviderede IMO sin klimastrategi, med formålet at reducere negative klima-effekter fra den internationale skibsfart. Den nye strategi erstatter den tidligere fra 2018 og skal behandles igen næste gang i 2028 (5-års intervaller). Den nye strategi opsummeres i nedenstående tabel.

¹¹ Bunkring er et udtryk for skibes tankning af brændstof.

¹² Bruttotonnage, er en angivelse af et skibs størrelse, målt ud fra rumfanget af skibets lukkede rum og beregnes efter internationale regler. Målene ligger til grund for opkrævning af mange afgifter, for tekniske krav til skibene og for besætningens størrelse og uddannelse.

**Tabel 2:** Klimamål i IMO's klimastrategi fra 2023

2030	2040	2050
Udledning pr. transportarbejde skal reduceres med mindst 40 pct. ift. 2008-niveau.	70-80 pct. reduktion af drivhusgasser ift. 2008-niveau.	Netto-nul udledning af drivhusgasser eller tæt på netto-nul udledning
20-30 pct. samlet reduktion		
5-10 pct. "zero or near-zero" GHG brændstoffer		

Kilde: IMO, 2023

Den reviderede klimastrategi øger ambitionerne og sætter for milepæle fra 2030 til 2050. Ligeledes omtales i strategien behovet for implementering af "zero or near-zero GHG emission technologies" som forudsætning for at nå de langsigtede klimamål for skibsfarten. Strategien beror på well-to-wake¹³ opgørelsesmetoden, hvilket indebærer, at emissionerne skal opgøres for hele værdikæden helt fra brændstoffernes oprindelse indtil de er anvendt på skibet (IMO, 2023).

Dette stiller krav til, at alternativer brændstoffer, såsom fx ammoniak og metanol produceres under bæredygtige og verificerbare forhold. Klimastrategien skal ifølge tidsplanen frem mod efteråret 2025 udmøntes i en konkret global regulering, som forventes at træde i kraft i starten af 2027.

4.1.2 IMO stiller nye klimakrav til skibsfarten

IMO's indførte med virkning fra 1. januar 2023 en regulering for international skibsfart, der sigter mod at forbedre skibes energieffektivitet og reducere deres GHG emissioner og miljøpåvirkning. Reguleringen omfatter to kernebegreber, hvor det ene er et teknisk krav rettet mod skibets tekniske egenskaber, mens det andet er et operationelt krav rettet mod skibets drift.

EEXI – Energy Efficiency eXisting ship Index

EEXI er et teknisk krav, der gælder for skibe over 400 BT og regulerer eksisterende skibes energieffektivitet. EEXI er en værdi, der beregnes for det enkelte skib baseret bl.a. på skibets motorkraft, brændstoftype, størrelse og fart. For hver skibstype og størrelse findes en referenceværdi, som ikke må overskrides.

¹³ Well-to-Wake er en livscyklustilgang, der består af en "Well-to-Tank" del, fra primær brændstofproduktion til transport af brændstoffet og tankning på skibet (upstream-emissioner) og en "Tank-to-Wake" del (også kaldet "Tank- til Propeller") fra skibets brændstofftank til udstødningen.



Referenceværdien er baseret på det såkaldte EEDI-krav (Energy Efficiency Design Index), der trådte i kraft i 2013, og som stiller tekniske minimumskrav til energieffektiviteten i forhold til transportkapaciteten afhængig af skibstypen for alle nybyggede skibe over 400 BT.

Hvis referenceværdien i EEXI kravet overskrides, skal der foretages justeringer, typisk i form af en begrænsning af motorens ydeevne, men andre energieffektiviseringer er også mulige. Skibe, der ikke opfylder EEXI kravet, kan ikke få de certifikater, der er nødvendige for at sejle i international drift, og de vil således blive tilbageholdt i havn.

Alle skibe skal leve op til EEXI senest ved den årlige fornyelse af certifikater i 2023. Siden udgangen af 2023 er alle skibe således være omfattet.

CII – Carbon Intensity Indicator

CII'en er det første operationelle krav til skibes CO₂ udledning i drift. CII'en sammenligner på årsbasis skibets CO₂-udledning med det transportarbejde, der er udført, sidstnævnte målt som *deadweight tonnage milage*¹⁴ (DWT-mil) der bruges som en proxy for den faktiske mængde last. Afhængigt af skibstype og størrelse sammenlignes det enkelte skib med en referencelinje, og herudfra tildeles skibet en rating fra A-E for dets energieffektivitet, hvor A er bedst. Skibe der klassificeres som A, B eller C overholder kravene, mens D og E skibe skal udvikle en plan for forbedringer, der skal godkendes af skibets flagstat. CII'en kan forbedres ved forskellige operationelle tiltag som fx langsommere sejlads, kortere havneophold, ruteoptimering, iblanding af brændstoffer med lavt kulstofindhold osv. Kravet til hvad skibet må udlede for at leve op til reglerne strammes årligt. Et skib, der er kvalificeret som A i 2023, kan således ende med at være E nogle år senere, hvis der ikke løbende indføres operationelle forbedringer. Da CII'en udregnes på årlig basis, vil de første ratings være tilgængelige, når data fra 2023 er verificeret i 2024.

4.1.3 EU regulering – 'Fit-for-55'-pakken

I 2015 vedtog EU MRV-forordningen, der overvåger CO₂-udledninger fra skibe med en bruttotonnage på 5.000 BT eller derover. 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 havde til formål at danne grundlag for den nye klimaregulering, som blev præsenteret i 'Fit-for-55'-pakken, og som er de første eksempler på regulering i EU, der har til formål at mindske udledningerne fra sektoren.

I 2021 fremsatte Europa-Kommissionen 'Fit-for-55'-pakken som et led i realiseringen af den Grønne Pagt med en overordnet målsætning om mindst 55 pct. reduktion i

¹⁴ Dødvægt



nettodrivhusgasudledningerne i 2030 ift. 1990-niveauet, samt et mål om klimaneutralitet i 2050. For så vidt angår skibsfarten, fremgår de præsenterede EU-forslag i boks 6.



Boks 5: Fit-for-55 på skibsfartsområdet

Afsluttede aftaler

[Revisionen af kvotehandelsdirektivet \(ETS I\)](#) betyder, at EU's ETS system udvides til at omfatte udledninger fra skibsfart med følgende overordnede krav:

- Fragt- og passagerskibe på mindst 5.000 BT (bruttotonnage) pålægges kvoteretuneringspligt for emissioner gældende fra 2024. Kravet følger en gradvis indfasning af kvoteretuneringspligten, der skal dække 40 pct. i 2024, 70 pct. i 2025, 100 pct. i 2026 af emissionerne. Retuneringspligten gælder for CO₂ emissioner i 2024 og 2025, mens den fra 2026 også gælder metan (CH₄) og Lattergas (N₂O)
- Øvrige havgående skibe på mindst 5.000 BT omfattes af kravet fra 2027
- Skibe på under 5.000 BT, men over 400 BT forventes inkluderet fra 2027.

I sammenhæng med revisionen udvides MRV (Overvågnings-, verifikations- og rapporteringspligten) fra i dag kun at gælde fragt- og passagerskibe over 5.000 BT til også at gælde de øvrige skibetyper fra 2025. Endelig udvides MRV fra 2024 til ud over CO₂ også at gælde metan (CH₄) og lattergas (N₂O).

[FuelEU Maritime](#) skal sikre efterspørgslen efter alternative brændstoffer ved at opstille tekniske standarder for brændstoffernes udledninger gennem et CO₂-fortrængningskrav i søfarten. Skibe over 5.000 BT i EU pålægges et CO₂-fortrængningskrav fra 2025 af, stigende gradvist fra 2 pct. i 2025 til 80 pct. i 2050. Frem til 2034 vil det være muligt at dobbelttælle brugen af PtX-brændstoffer op mod CO₂-fortrængningskravet. Fra 2034 indføres et underkrav på 2 pct. for brug af PtX-brændstoffer, såfremt PtX udgør under 1 pct. af de grønne brændstoffer i 2031. Af aftalen fremgår endvidere at container- og passagerskibe skal anvende landstrøm fra 2030, når de ligger til kaj. Rådet og EU-Parlamentet afsluttede forhandlingerne af forslaget i marts 2023, og implementeres i dansk lov pr. 2025.

[Alternative Fuels Infrastructure Regulation \(AFIR\)](#) skal sikre udbuddet af infrastruktur for alternative grønne brændstoffer, herunder muligheder for landstrøm i søfarten. Rådet og EU-Parlamentet afsluttede forhandlingerne af forslaget i marts 2023.

[Revisionen af direktivet for vedvarende energi \(VEIII\)](#) definerer hvilke alternative brændstoffer, der anses som "grønne alternativer" til de fossile kilder. Med VEIII udvides basen fra kun at omfatte vej og bane til også at omfatte indenrigs- og udenrigs sø- og luftfart. Rådet og EU-Parlamentet afsluttede forhandlingerne af forslaget i marts 2023.

Igangværende forhandlinger

[Revision af Energibeskatningsdirektivet](#): Europa-Kommissionens forslag indebærer at afskaffe den obligatoriske afgiftsfritagelse for brændstof til skibsfart, så der fremover skal betales afgift for brændstof anvendt til erhvervmæssig sejlads mellem to EU-havne, som indfases hen over en tiårig periode. Brændstof og elektricitet anvendt til skibsfart uden for EU skal enten fritages eller anvende den samme afgiftssats, som fastsættes for skibsfart inden for EU. Forslaget forhandles fortsat i rådsarbejdsgruppen, og det er p.t. usikkert, hvornår der kan opnås enighed om forslaget.

Kilde: Europa-Kommissionen, 2024b



4.2 Udledninger – nøgletal og indikatorer

I dette afsnit beskrives en række nøgletal og indikatorer for danske aktiviteter og udledninger inden for international skibsfart. Det drejer sig dels om, hvor store udledninger danske aktiviteter giver anledning til, og dels hvordan de kan vurderes ift. aktiviteten og ses ift. øvrige aktører i sektoren. Nøgletal samt indikatorer er baseret på tilgængelige data fra IMO, Danmarks Statistik og Energistatistikken. Der er en række begrænsninger ift. den relativt korte tidsserie for IMO-statistikken, som alene har data tilbage til 2019.

Der henvises til metodeafsnit 4.6 og bilag 6.2 for nærmere beskrivelse af data, afgrænsninger, metode og kilder.

4.2.1 Udledning knyttet til bunkring i Danmark og i udlandet

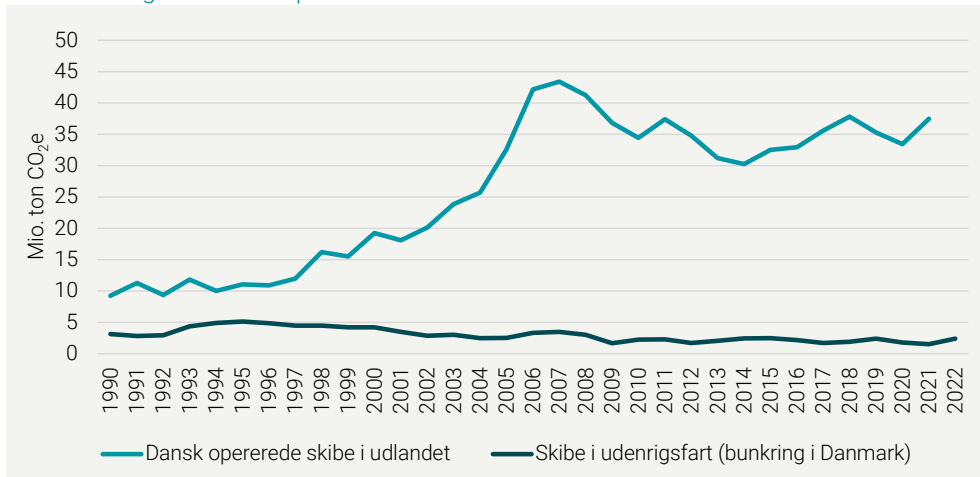
Flere faktorer påvirker skibes tankningsmønstre. Skibe tanker ikke nødvendigvis, hver gang de er i havn, og fyldes ikke nødvendigvis helt, når de anløber havn. Skibe har typisk tankkapacitet til 30 dages sejlads, så de kan tanke, når det er mest hensigtsmæssigt, herunder hvor det er billigst. Nogle skibe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

Udledningerne knyttet til bunkring (tankning af brændstof) i Danmark af skibe der sejler fra Danmark, har siden 2010 varieret mellem 1,7 mio. og 2,5 mio. ton CO₂e, jf. Figur 9. Desuden viser figuren udledninger knyttet til danskopererede skibes bunkring i udlandet (data tilgængelige frem til 2021)¹⁵. Danskopererede skibe dækker her over skibe, som opereres af danske rederier, men som ikke nødvendigvis er 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 i høj grad 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.

¹⁵ Udledninger fra dansk opererede skibes bunkring i udlandet er baseret på indberetninger for udgifter til brændstof, som oversættes til brændstofmængder vha. relevante enhedspriser.



Figur 9: Udvikling i udledninger fra bunkring i Danmark fra skibe i udenlandsfart (både danske og udenlandske skibe) i perioden 1990-2021, samt fra dansk opererede skibes bunkring i udlandet i perioden 1990-2020

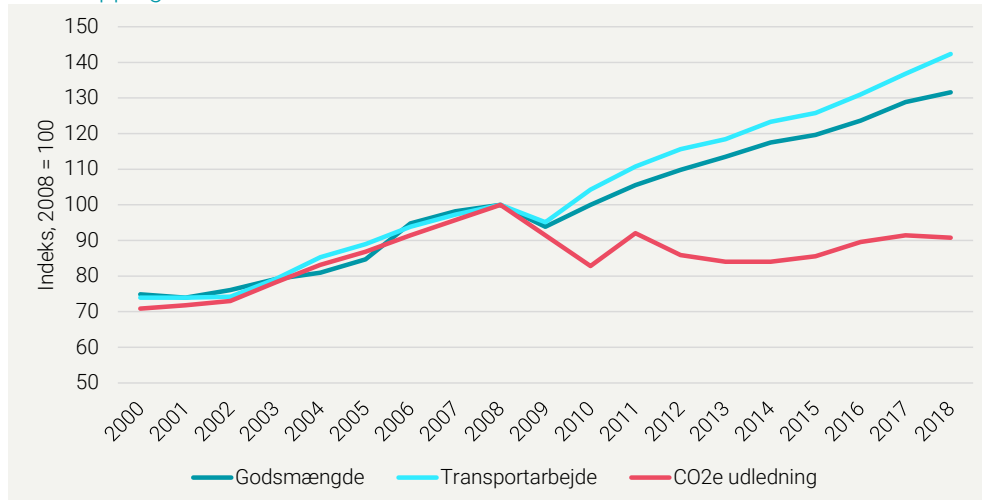


Kilde: Danmarks Statistik, 2023; Energistyrelsen, 2023.

Det fremgår af Figur 9, at der i perioden 1990-2007 har været en betydelig stigning i udledningerne fra danskopererede skibes bunkring i udlandet, hvorefter udledningerne faldt frem mod 2014 for derefter at stige til omkring 39 mio. ton CO₂e i 2019. I 2020 faldt udledningerne til ca. 33,5 mio. ton CO₂e. De stigende udledninger frem mod 2007 kan overordnet set tilskrives den generelle globale økonomiske vækst og efterspørgsel på transportydelser. Det bemærkes, at udledningerne fra dansk opererede skibe også vil påvirkes i det omfang, at der sker ændringer i den danske handelsflådes markedsandele.

Til at belyse den globale udledning af drivhusgasser fra skibsfarten, udgiver IMO sit "Green house Gas Study" med ca. 5-6 års mellemrum. Den seneste udgivelse stammer fra 2020, og viser data op til 2018 (IMO, 2020). I figur 10 sammenholdes indekserede tal for skibsfartens klimapåvirkning, samt godsmængder og transportarbejde.

Figur 10: Vækst i skibsfartens fragtede mængder og udledninger indekseret ift. 2008, der var baseline for IMO's strategi fra 2018 (som blev revideret i 2023). Skibsfartens volumen er vist både i ton og tonkm, Udledninger er fra IMO's opgørelse for international shipping



Kilde: IMO's 4th GHG study (IMO, 2020).

Figur 10 viser, at fra omkring 2011-2018 har øget effektivitet i skibsfarten bidraget til, at udledningerne er frakoblet den fortsatte vækst i fragtmængderne. 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.

Nye tendenser i brugen af maritime brændstoffer

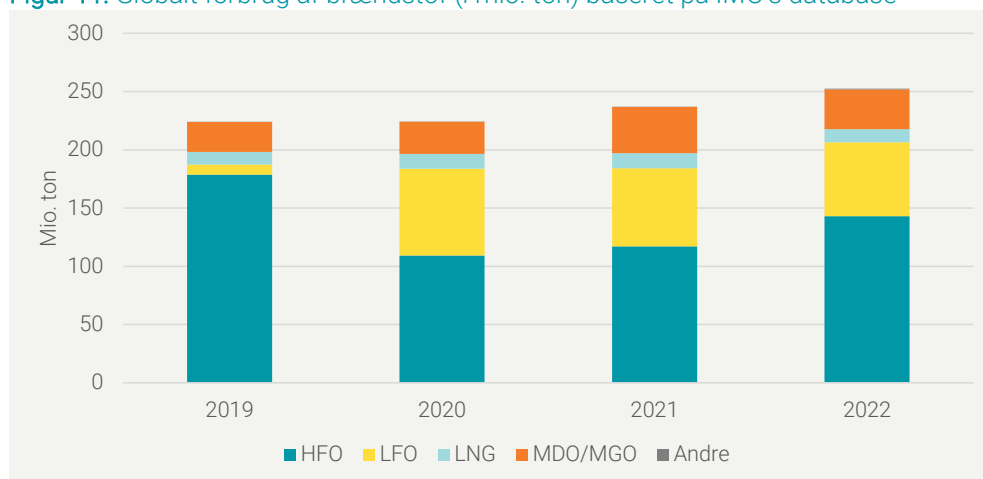
Den internationale skibsfart er domineret af brændstoffet Heavy Fuel Oil (HFO), som det primære bunkerbrændstof. HFO er baseret på restprodukterne fra raffineringprocessen af råolie, og består af højviskøse og tjærelignende kulbrinter. HFO består desuden af mange forskellige forbindelser, herunder aromater, svovl og nitrogen, der gør emissioner ved forbrænding mere forurenende sammenlignet med andre brændstoffer. Specielt det høje indhold af svovl bidrager til en række negative miljøkonsekvenser, f.eks. dannelse af black carbon (sodpartikler), syrerregn og NOx.

IMO besluttede i 2016 at minimere den tilladte mængde svovl, fra d. 1. januar 2020. Tiltaget betød øgede krav i forhold til kravet vedtaget i 2008 MARPOL-konventionens¹⁶ annex VI. Konkret blev kravet til det maksimale tilladte svovlindhold strammet fra 3,5 pct. Til 0,5 pct. – og med krav om maksimalt 0,1 pct., i de såkaldte SECA'er (Sulphur Emission Control Areas). Reguleringen har medført, at flere skibe har overgået til brændstoffer som lettere kan følge det strengere reglement (Søfartsstyrelsen, 2024). Resultatet er, at brændstoffet 'light fuel oil' (LFO), har overtaget en betydelig

¹⁶ MARPOL står for "Marine pollution" og navnet på en international aftale som bestemmer grænseværdier for miljøskadende stoffer fra skibsfart.

andel af det samlede forbrug af brændstoffer på skibene. LFO har markant lavere svovlindhold, som kan efterleve kravene fra IMO. Udviklingen kan ses i Figur 11.

Figur 11: Globalt forbrug af brændstof (i mio. ton) baseret på IMO's database



Anm. Heavy Fuel oil (HFO), Light fuel oil (LFO), Liquefied Natural Gas (LNG), Marine diesel oil/Marine gas oil (MDO/MGO), "Andre" omfatter alle andre brændstoffer angivet i IMO-DCS data og dækker både fossil og alternative grønne brændstoffer.

Figur 11 viser, at der siden 2019 er sket et betydeligt skift fra HFO til MDO og særligt LFO, mens LNG forbruget har været mere konstant. Årsagen til, at der fortsat anvendes store mængder HFO skyldes, at skibene kan opfylde emissionskravene ved at benytte en såkaldt 'scrubber', der renser udstødningsskibet for bl.a. svovl. Som det fremgår af figuren, er der stadig endnu ikke sket nogen nævneværdig omstilling til ikke-fossile brændstoffer. Omstillingen til en mere klimaneutral skibsfart kræver dermed en meget betydelig udvikling i optaget af alternative brændstoffer.

Danskflagede skibe i den globale flåde

Data fra IMO-DCS gør det muligt at sammenligne parametre på danskflagede skibe med den globale flåde i databasen. Tabel 3 bygger på overordnede kategorier af skibstyper, hvis grupperinger beskrives nærmere i bilag 6.2.

Formålet er at give et overblik over størrelsesorden og den overordnede sammensætning af skibe fordelt på IMO's skibskategorier. Data er angivet både henholdsvis dansk flagede skibe og for den globale flåde (inkl. dansk flagede skibe) for årene 2019-2022. Flådestørrelsen er angivet i antal skibe og DWT (dødvægts tonnage¹⁷). 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, vil have et større energiforbrug det meste af året. Ligeledes vil det have tilsvarende flere CO₂ udledninger, end et skib, der i perioder sejler tomt eller halvtomt, da

¹⁷ Et mål for skibets lasteevne eller kapacitet i ton (last plus brændstof m.v.).



det fuldtlastede skib er tungere og derfor anvender mere brændstof pr. sejlet distance. Men de fyldte skibe er dog mere energi- og klimateffektive end de mindre fyldte, når der måles på energiforbrug og udledning pr. ton fragtet vare (transportarbejdet).

Inden for kategorierne kan der være væsentlige forskelle i sammensætningen af dansk flagede skibe ift. 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 danskflagede flåde i kategorien "bulkskibe" dækker primært over gasskibe, mens traditionelle bulkskibe (som sejler med tørlast) globalt set 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 danskflagede skibe i 2022 stod for omkring 5,9 pct. af transportarbejdet, men 4 pct. af udledningerne fra verdensflådens containerskibe. En del af forklaringen bag dette ligger formentligt i, at en større andel af de danskflagede containerskibe er blandt de største skibe i kategorien. Man skal således være varsom med direkte sammenligninger af de danskflagede skibe ift. verdensflåden og fortolkninger skal ske med forbehold.

Tabel 3: Transportarbejde og CO₂-udledning for hhv. den danske og globale flåde

År	Skibstype	Transportarbejde			CO ₂ udledning			Udledning ift. transportarbejde	
		DK (mio. DWTxSømil)	Globalt (mio. DWTxSømil)	DK andel af Globalt trans- portar- bejde	DK (mio. tons)	Globalt (mio. tons)	DK an- del af Global	DK (gram CO ₂ pr. DWTxSømil)	Globalt (gram CO ₂ pr. DWTxSø- mil)
2022	1_Passager- og bilfærger	9	182	4,9%	0,7	17,7	4,0%	77,8	97,3
	2_Fragtskibe	24	27.656	0,1%	0,8	123,6	0,6%	33,3	4,5
	3_Containerskibe	1.428	24.319	5,9%	8	197,8	4,0%	5,6	8,1
	4_Bulkskibe	72	57.164	0,1%	0,4	255,4	0,2%	5,6	4,5
	5_Tankskibe	458	34.336	1,3%	2,7	143,6	1,9%	5,9	4,2
	6_Krydstogtskibe	-	159	-	-	19,3	-	-	121,4
	7_Specielle skibe	1	730	0,1%	0,2	16	1,3%	200,0	21,9
Alle	1.991	144.544	1,4%	13	773,5	1,7%	6,5	5,4	

Kilde: IMO DCS, 2023



Nøgletallet gram CO₂ per DWTxSømil¹⁸ betegnes ofte AER (Annual Efficiency Ratio). AER beregnes ved brug af den maksimale lasteevne (DWT) uden korrektion for kapacitetsudnyttelse, og er derfor en nedre værdi for den faktiske udledning per reelt transporteret gods. Jo mindre udnyttelse af fragtkapaciteten, des højere faktisk udledning pr. transportarbejde. Små skibe udleder generelt mindre CO₂ per sejlet distance end større skibe inden for samme segment, men har større udledning, når man tager højde for godsmængden der transporteres (dvs. transportarbejdet). Størrelsen er dog ikke den eneste faktor med betydning for skibenes effektivitet, og disse faktorer kan indgå med forskellig vægt i dansk flagede skibe ift. verdensflåden. Energiforbruget, og dermed effektiviteten, er stærkt afhængig af bl.a. design, 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 data indberetninger.

Pendulfart på kortere ruter, og deraf relativt flere accelerationer, samt færgers relativt mindre lasteevne, kan eksempelvis være med til at forklare, hvorfor passager/bilfærgen udleder markant mere CO₂ per transportarbejde (både for dansk flagede og verdensflåden generelt) end de øvrige skibstyper.

4.2.1 Opsamling

Overordnet set har en generel global økonomisk vækst og øget efterspørgsel på transportydelser betydet, at udledningerne fra verdensflåden er steget de sidste årtier, har der i perioden omkring 2011-2018 været en afkobling af udledningerne ift. væksten i transportarbejdet, *jf. figur 1*. Der er cirka 1.850 dansk opererede skibe, og de udgør knap 4 pct. af verdensflådens samlede tonnage. Danmark er dermed verdens 9. største søfartsnation målt på opereret tonnage. 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 stabiliseret og afkoblet fra stigningen i verdenshandlen. I 2019 lå udledningerne omkring 39 mio. ton CO₂e, men faldt i 2020 til ca. 33,5 mio. ton CO₂e, formentlig som følge af covid-19. Det bemærkes, at udledningerne fra danskopererede 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 mellem 1,7 mio. og 2,5 mio. ton CO₂e.

4.3 Black Carbon

Udledning af black carbon (BC), også kaldet sodpartikler, anses for at være international skibsfarts næststørste kilde til global opvarmning efter CO₂-udledningen¹⁸. BC er ikke en drivhusgas, men består af sodpartikler, som dannes ved ufuldstændig forbrænding af forskellige typer brændsler. Sodpartiklerne danner en mørk overflade der

¹⁸ 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 CO₂e-udledninger på en 100 års skala og 21 pct. på en 20 års skala.



hvor de lander, hvilket absorberer energi fra sollys og overfører den som varme til omgivelserne. Når BC deponeres på sne- og isdækkede overflader, som almindeligvis reflekterer solens stråler, mindskes refleksionen af sollys og optages det derfor i stedet som varme. BC medfører dermed særligt ved udledning i Arktis, fordi partiklerne, ud over det direkte bidrag til opvarmning af atmosfæren, accelererer afsmeltningen. Sodpartikler medvirker endvidere til luftforureningens negative helbredseffekter.

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 fra skibsfart. Destilleret olie (Marine diesel) udleder mindre BC, mens LNG (naturgas) samt PtX-brændstoffer som e-metanol og e-ammoniak udleder lidt eller ingen BC. Der har de seneste årtier været en nedadgående trend i udledningen af BC fra alle kilder i flere regioner på den nordlige halvkugle, dog er BC-emissionerne fra skibsfart i Arktis stigende, som følge af øget skibsfart i området på grund af mindre isdække.

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. På skibsfartsområdet har IMO i en årrække arbejdet for at definere BC, indkredse metoder til målinger og indrapporteringer af BC samt udarbejde guidelines for tiltag, der kan reducere BC-emissioner.

Guidelines for BC reduktionstiltag udarbejdes af en arbejdsgruppe i IMO, som sigter efter at fremsætte guidelines til beslutning i IMO i 2025. For at forebygge forurening af havmiljøet i Arktis, som også vil reducere udledningen af BC, 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.

Fremover vil et hovedfokus formentlig også være at koble BC-tiltag til den grønne omstilling af skibsfarten og nye grønne brændstoffer (e-metanol, e-ammoniak mv.), som kan gøre udfordringen med BC på skibsfartsområdet mindre, da de nye brændstoffer har en lavere udledning af partikler, herunder BC.

4.4 Øvrige indsatser for reduktioner i skibsfarten

Skibsfarten 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. Skibsfart er en energieffektiv måde at transportere gods på ift. vægt og afstand, men omfanget af international skibsfart betyder, at omstillingen til klimaeffektive løsninger er nødvendig. En omstilling kræver at der stilles særlige krav til motorteknologier og brændstoffer, herunder store krav til både tilgængeligheden og mængden af alternative brændstoffer.



I Danmark kom Klimapartnerskabet for Det Blå Danmark i foråret 2020 med en række initiativer og anbefalinger, der skal bidrage til Danmarks 70 pct. klimamålsætning for 2030. Med afsæt i dette arbejde udgav partnerskabet i oktober 2021 sin sektorkøreplan med erhvervslivets målsætninger og indsatser for at understøtte sektorens grønne omstilling.

4.5 Teknologisk udvikling

Klimaneutral skibsfart kræver en gennemgribende teknologisk omstilling. Skibene skal både omstilles, så de er så energieffektive som muligt, og så skal de kunne sejle på drivmidler, der drastisk mindsker udledningen fra skibenes aktiviteter. Dette forudsætter udover tilpasning af skibene også, at de nye typer drivmidler produceres i tilstrækkelige mængder, med dokumenterbare og bæredygtige energikilder/værdikæder. Samtidig skal reguleringen af sektoren tilpasses i forhold til eksisterende krav om sikkerhed og miljø. Omstillingen står derfor over for en række udfordringer, hvor der ikke nødvendigvis er én teknologi, der udgør det bedste alternativ til fossile konventionelle teknologier. De forskellige brændstofalternativer har alle nogle fordele og ulemper sammenlignet med fossile brændstoffer. De største fordele ved de alternative brændstoffer er som udgangspunkt reduktionen af de negative miljø- og klimamæssige effekter. Omvendt ses det, at de fossile brændstoffer har tekniske fordele bl.a. ved deres høje energitæthed per volumen og lavere pris.

Energistyrelsens teknologikatalog for skibe og færger viser, at flere nye teknologier til omstilling af skibsfarten er langt i deres udvikling og allerede i dag er tilgængelige på markedet. Eksempelvis blev verdens første containerskib, der kan sejle på metanol og altså potentielt grøn metanol, leveret og sat i drift i 2023.

Andre teknologier, såsom ammoniakdrevne skibe forventes at nå markedet inden for få år (Energistyrelsen, 2024). Endeligt findes også teknologier som forventes teknologisk modne inden 2030, men som stadig afventer videre udvikling (Oxford Research, 2021). For mange af de nye teknologier gælder det dog, at før de er kommercielt levedygtige ift. konventionelle teknologier og fossile brændstoffer, er der behov for betydelige udvikling ift. effektivitet, sikkerhed og omkostninger. Endvidere er det afgørende for en reduktion af klimaeffekten fra skibsfart, at der findes tilstrækkelig produktionskapacitet af de alternative brændstoffer, og at den geografisk set flugter med sejlruiter og behovet for tankning.

I forhold til skibsværfternes ordrebøger er der en klar tendens mod skibe, der er forberedt på at sejle på alternative brændstoffer. I 2023 var mere end halvdelen af skibene (målt i bruttotonnage) i ordrebøgerne bestilt til at kunne sejle på andre brændstoffer end HFO/MDO/MGO. Heraf er ca. 80 pct. er LNG skibe, mens ca. 15 pct. udgøres af metanolskibe. De resterende ordrer er forberedt LPG¹⁹, og batteri/hybrid.

¹⁹ Liquefied Petroleum Gas (også kendt som flaskegas) er en fossil gas.



For containerskibssegmentet forventes over 80 metanolskibe at være i ordre til levering i 2028, svarende til ca. 30 pct. af bestilte containerskibe (Shippingwatch, 2023). De alternative brændstoffer beskrives nærmere i det følgende afsnit.

Natargas og Biogas

En del af de internationale rederier satser på gasdrevne skibe, dog hovedsageligt i form af LNG (Liquefied Natural Gas) som alternativ til HFO (Heavy Fuel Oil). Ifølge Dansk Gas Center²⁰ er 2 pct. af brændstofforbruget i global skibsfart i dag LNG, og der er ca. 300 kommercielle LNG-skibe, der benytter LNG som brændstof 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 og uforeneligt med en klimaneutral skibsfart. Anvendes i stedet LBG (Liquefied Bio Gas), er der potentielt store CO₂ reduktioner, men samtidig er grundlaget for produktion af LBG stærkt begrænset ift. at kunne erstatte LNG-behovet. LNG består primært af metan, og er derfor forbundet med problemer ift. metanudslip, der er en stærk potent drivhusgas. Problemer med metanudslip fra motoren eller tankanlæg er desuden ikke løst ved at overgå til grønne gasser.

Grøn ammoniak

Ammoniak er et potentielt alternativ til konventionelle fossile drivmidler. Ammoniak adskiller sig fra fossil- og biobaserede brændsler ved ikke at indeholde kulstof. Dermed forekommer der ingen CO₂-udledning ved afbrænding af ammoniak. Ammoniak motorer anvender dog en vis mængde diesel som pilotbrændstof, hvilket afhængig af oprindelse vil være forbundet med CO₂ udledning. Derudover kan der forekomme N₂O-udledning, hvilket er en 265 gange mere potent drivhusgas end CO₂. Udledningen af N₂O er ikke uundgåelig, men et væsentligt punkt for klimaeffekten af ammoniak som brændstof, der skal adresseres. Ammoniak er samtidig stærkt giftigt for mennesker, dyr og miljø, hvilket stiller store krav til sikkerheden ombord, opbevaring og bunkering i havne. Derfor vurderer Det Europæiske Søfartssikkerhedsagentur (EMSA) at ammoniak i sidste ende kan vise sig mest egnet oceangående fragtsejladser (EMSA, 2022).

Hvis ammoniak produceres med brint fra elektrolyse (PtX) baseret på vedvarende elektricitet, kaldes det e-ammoniak og er et klimaneutralt alternativt til traditionelle fossile brændstoffer.

Før e-ammoniak, som klimavenligt brændstof, i praksis kan erstatte de fossile drivmidler kræver det, at motorteknologien er kommerciel udbredt, og at produktionsvolumen af ammoniak, der kræver store anlæg forsynet med vedvarende energi, er til stede i tilstrækkeligt omfang og geografisk hensigtsmæssigt placeret. Desuden skal reguleringen af de sikkerhedsmæssige hensyn være på plads.

²⁰ DGC "Implementering af flydende metan i Danmark" oktober 2020



Grøn metanol

Metanol kan, såfremt den baseres på vedvarende energi og kulstoffangst eller fra bæredygtig biomasse betegnes som grøn metanol, og er potentielt et klimaneutralt brændstof til skibsfarten. Metanol fremstilles dog i dag hovedsageligt ud fra fossile kilder som naturgas, hvorfor det er afgørende at skelne mellem de anvendte produktionsmetoder. Energitætheden for metanol er på niveau med den for ammoniak, hvilket svarer til cirka det halve for HFO/MGO og det muliggør at metanol også rent praktisk kan anvendes som brændstof på de største skibe.

Grøn metanol kan fremstilles enten som e-metanol eller bio-metanol:

- E-metanol fremstilles med brint fra elektrolyse (PtX). CO₂ kan stamme fra CO₂-fangst (CCS) fra industrianlæg eller indfanget fra luften (DAC).
- Bio-metanol fremstilles ved at udnytte indholdet af kulstof og brint fra bioressourcer. Her udvindes biogas som med sit indhold af kulstof og brint kan omdannes til metanol.

Udviklingsmæssigt er brugen af grøn metanol nået længere end det er tilfældet for grøn ammoniak. Der findes i dag skibe som sejler på metanol, og regulering i forhold til sikkerhed og emissioner mv. er på plads. De største udfordringer for brugen af grøn metanol består i økonomisk konkurrenceevne, at sikre tilstrækkelig produktionskapacitet af e-metanol eller bio-metanol, og sikre en hensigtsmæssig geografisk mulighed for tankning.

Elektrisk skibsfart

Der arbejdes med elektrificering af skibe både med batteridrift og brændselsceller, hvor batterielektriske systemer er mest udviklet, af de to teknologier. En række skibe er i dag omstillet til batteri-elektrisk drift, herunder også et par danske færger, og flere ruter er i gang med en omstilling til el. Elektrificeringen sker på mindre skibe med kortere og ruter, og udelukkende med batterielektriske drivlinjer. Dette skyldes at batterielektriske færger er nået et kommercielt stadie, hvor brændselscelle-elektriske skibe stadig er i udviklingsstadiet, med få eksempler på skibe med brændselsceller ombord.

Batterielektriske skibe har batteriernes energiindhold som begrænsning for sin udbredelse. Energiindhold pr. vægt er markant lavere for batteriet end for både ammoniak, metanol og ikke mindst HFO.

Design tekniske tiltag

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



4.6 Metode

Dette afsnit beskriver den overordnede metode og afgrænsning af international skibsfart i GA24.

Behandlingen af international skibsfart i GA24 består overordnet set af kvantitative, databaserede afrapporteringer over udledningerne, en beskrivelse af hvordan sektoren reguleres i klimamæssig sammenhæng, samt kvalitative beskrivelser af reduktionsindsatser og perspektiver for den grønne omstilling.

Den kvantitative afrapportering af udledningerne tager udgangspunkt i det tilgængelige data på området med fokus på anvendelse af et konsistent datagrundlag, som kan opdateres årligt, således at afrapporteringen løbende følger udviklingen i skibsfarten. Se bilag 6.2 for hhv. datakilder og en mere detaljeret gennemgang af metoden for opgørelse af udledningerne i form af en række nøgletal og indikatorer.

”Danskrelaterede 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:

- Danskflagede skibe: Dette er den snævrere 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 danskejede, 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).
- Danskejede 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.
- Danskopererede 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 udledninger 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 skibsfartsudledninger til UNFCCC, som indberettes af DCE på vegne af Danmark, tages der udgangspunkt i den territoriale bunkering til udenrigsfart, uanset skibenes nationale tilhørsforhold²¹.

I GA24 opgøres udledningerne fra udenrigsskibsfarten 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 gods²². 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 virksomhedsekonomisk 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.

4.7 Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer

Den primære datakilde til at følge den faktiske udvikling i skibsfarten stammer fra IMO-databasen. For nuværende, indeholder databasen data for perioden 2019-2022. I takt med at flere år tilføjes, vil det være muligt at undersøge udvikling og tendenser i fx skibenes størrelser, flådens sammensætning og brugen af alternative brændstoffer. Brugen af bæredygtige alternative brændstoffer er fortsat på et tidligt stadie, ud fra både en teknisk og markeds-mæssig betragtning. Det er derfor særligt relevant at følge de nye tendenser, og afdække hvilke alternative brændstoffer som bunkres, i de nye skibe. Dette vil være en prioritet i den kommende, men også efterfølgende, udgaver af GA.

I henhold til den nye regulering som indtræder fra 2024, kan der være nye perspektiver at rapportere. Konkret vil det første fulde års deltagelse i EU ETS være afsluttet, ved udgivelsen af næste version af GA. Hvis muligt, vil det være væsentligt at berette om erfaringerne fra dette. Ligeledes vil det undersøges om det er muligt at berette om de tidligste data og erfaringer fra det første år af EEXI og CII, som indtrådte fra og med 2023. Forhandlingerne i EU og IMO vil følges fortsat, for at inkludere udviklinger for den internationale skibsfart.

²¹ Udledninger fra udenrigsskibsfarten indberettes til FN på trods af, at de ikke er omfattet af reduktionsforpligtelserne ift. FN's Klimakonvention.

²² Det tilgængelige data giver ikke mulighed for at skelne mellem disse forhold.



5 Kilder

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>. 2022-11-14

Clarke, D., et al. (2023), "CO2 emissions from global shipping: A new experimental database", OECD Statistics Working Papers, No. 2023/04, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/bc2f7599-en>.

Clarke, D., et al. (2022), "CO2 Emissions from air transport: A near-real-time global database for policy analysis", OECD Statistics Working Papers, No. 2022/04, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/ecc9f16b-en>.

Danmarks Statistik (2023): Data udtrukket via Statistikbanken november 2023 fra Danmarks Statistiks database, der løbende opdateres.

Dansk Luftfart (2021): *Klimapartnerskab for luftfart, Sektorkøreplan. Regeringens klimapartnerskaber*. <https://www.dansk-luftfart.dk/wp-content/uploads/2017/04/Endelig-Sektorkoereplan-Luftfartens-Klimapartnerskab.pdf>

Download 2024-03-14.

DCG (2020): *Implementering af flydende metan i Danmark*, Dansk Center for Gas. https://www.dgc.dk/sites/default/files/2021-06/Flydende_metan2020.pdf (2022-10-12)

Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2022): *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>. 2022-11-17

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>. 2022-03-23

EASA (2022): *European Aviation Environmental Report 2022*. ISBN: 978-92-9210-226-5 <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/press-releases/european-aviation-environmental-report-2022-sustainability> 2023-14-12

EMSA (2022), Update on potential of biofuels in shipping, European Maritime Safety Agency, Lisbon
Energistyrelsen (2022): *Energistatistik 2021*. Energistyrelsen <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energistatistik2021.pdf>. 2022-10-14



Energistyrelsen (2024): Technology Data - Commercial maritime freight and passenger transport, https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_-_commercial_maritime_freightfreight-and_passenger_transport.pdf, 18-01-2024

Englert et al (2021): *The Role of LNG in the Transition Toward Low- and Zero-Carbon Shipping*. Englert Dominik; Losos, Andrew; Raucci, Carlo; Smith, Tristan. 2021. Volume 2: World Bank, Washington, DC. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35437>. 2023-03-28

Europa-Kommissionen (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>. 2022-03-23

Europa-Kommissionen (2022a): *European Green Deal: new rules agreed on applying the EU emissions trading system in the aviation sector*, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7609. 2023-01-10

Europa-Kommissionen (2024a): Infographic - Fit for 55: increasing the uptake of greener fuels in the aviation and maritime sectors, <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-refueeu-and-fueeu/>, 2024-01-18

Europa-Kommissionen (2024b): European Green Deal: Fit for 55, <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

Europa-Kommissionen (2024b): Reducing emissions from the shipping sector, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/reducing-emissions-shipping-sector_en, 2024-01-18

IATA (2022): SAF production increases 200% - more incentives needed to reach net zero. International Air transport Association. <https://www.iata.org/en/press-room/2022-releases/2022-12-07-01/>. 16-02-2023

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>. 2022-03-23.

ICAO (2023): <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ICAO-forecasts-complete-and-sustainable-recovery-and-growth-of-air-passenger-demand-in-2023.aspx> 2023-11-07.

ICCT (2017): *Greenhouse gas emissions from global shipping 2013-2015*. ICCT (International Council on Clean Transportation). https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global_shipping-GHG-emissions-2013-2015_ICCT-Report_17102017_vF.pdf. 2022-03-23.



ICCT (2023): ICAO's 2050 net-zero CO2 goal for international aviation, <https://theicct.org/publication/global-aviation-icao-net-zero-goal-jan23/>. Download 27-03-23.

IEA (2024a): *Aviation*, IEA. <https://www.iea.org/reports/aviation>. 2023-05-05

IEA (2024b): *International shipping*, IEA. <https://www.iea.org/reports/international-shipping>. 2022-12-01.

IMO (2020): *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>. 2022-03-23.

IMO (2023): *2023 IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS*, <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/annex/MEPC%2080/Annex%2015.pdf>. 30-10-2023

IMO-DCS (2023): Udtræk fra IMO's Data Collection System leveret november 2023 af Søfartsstyrelsen.

Innovationsfonden (2023). *Dansk konsortium ledet af MAN Energy Solutions vil udvikle ammoniakmotor til skibe*, <https://innovationsfonden.dk/da/i/historier/dansk-konsortium-ledet-af-man-energy>. 2023-03-27

IPCC (1999): IPCC Special report - Aviation and the global atmosphere. Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN 92-9169

IPCC (2021): Working Group I: The physical science basis, International Panel on Climate Change. https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf. 2022-12-02.

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. 2022-12-02.

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'ón 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. 2022-11-23.

MAN Energy Solutions (u.å): *Unlocking ammonia's potential for shipping*. <https://www.man-es.com/discover/two-stroke-ammonia-engine>. 2023-01-12.

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 and Köln Jonathan Schwieger, Urs Brodmann, Claudia Kurzböck, Mischa Reppmann and Nadin Schweizer First Climate (Switzerland)



AG, Zürich. Environmental Research of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. 2022-11-23.

Niras (2022): *Aromater I flybrændstof. Niras for Brancheforeningen Dansk Luftfart*, https://www.dansk-luftfart.dk/wp-content/uploads/2017/04/Notat-Aromater_flybrændstof-NOV2022-NIRAS.pdf. 2023-01-23.

Oxford (2021): *Innovation needs for decarbonization of shipping*, https://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2021/11/TECHNICAL-REPORT_Innovation-needs-for-decarbonization-of-shipping.pdf

Rådet for Den Europæiske Union (2023): Fit for 55, <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>. 2023-25-04.

Shippingwatch (2023): One particular fuel dominates among newly ordered vessels, <https://shippingwatch.com/carriers/article14789948.ece>

Splash (2021): *World Bank urges governments to stop spending on LNG bunkering infrastructure*, Asia Shipping Media Pte Ltd: <https://splash247.com/world-bank-urges-governments-to-stop-spending-on-lng-bunkering-infrastructure/>. 2021-04-16.

Statens Offentliga Utredningar (2022): *Sveriges globala klimatavtryck*, Delbetänkande av Miljömålsberedningen. Stockholm 2022, Statens Offentliga Utredningar, SOU 2022:15. <https://www.regeringen.se/495acd/contentassets/4a8366fdf6d84c2f929ab6e4a216e23f/sveriges-globala-klimatavtryck-sou-202215.pdf>. 2022-11-23.

Trafikstyrelsen (2023): Udtræk fra Luftfartsstatistikken leveret september 2023 af Trafikstyrelsen.

Voigt et al (2021): *Cleaner burning aviation fuels can reduce contrail cloudiness* <https://www.nature.com/articles/s43247-021-00174-y>. 2022-11-29.



6 Bilag

6.1 Datakilder for afrapportering af nøgletal og indikatorer for international luftfart

6.1.1 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 udledninger til UNFCCC.

6.1.2 Luftfartstatistikken (Trafikstyrelsen)

Til brug for GA24 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 afgang 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 ankommende 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 afgang 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.

6.1.3 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 GA24. 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.

6.1.4 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).



6.1.5 Metode for afrapportering 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 drivhusgasudledninger 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 ankommande 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 udledninger 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 udledninger e_t . Herved kan der beregnes udledninger for hver enkelt flyvning.

Kataloget med emissionsdata skelner mellem udledninger under 3000 fod (LTO: Landing and Takeoff) og over 3000 fod (Cruise). Der skelnes yderligere mellem indenrigs- og udenrigsflyvning, samt involverede lufthavnstyper l, l' . Den samlede udledning for en flyvning i mellem lufthavnene l og l' beregnes:

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

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 CO₂, CH₄ og N₂O eller som samlet CO₂e-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 udledningerne per godskilometer for hver enkelt flyvning i året for begge retninger (k = fragtfly):

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

6.2 Datakilder for afrapportering af nøgletal og indikatorer for international skibsfart

6.2.1 Energistatistikken

Udledninger for brændstof bunkret i Danmark

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

6.2.2 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 af-



grænsning, 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 CO₂e (Tabel: MRO2) eller detaljeret efter komponenter: CO₂, CH₄, N₂O, m.fl. (Tabel: MRO1).

6.2.3 International Maritime Organisation (IMO)

Alle skibe i den globale flåde med en bruttotonnage på 5.000 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 2022. Dataudtrækket til denne rapport er foretaget i september 2023.

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

- Sejlet distance (sømil)
- Timer til søs (timer)
- Brændstofforbrug (ton, fordelt på brændstoftyper)
- Konverteringsfaktorer (per brændstoftype) til beregning af CO₂-udledninger

Søfartsstyrelsen har adgang til databasen og har formidlet data til brug for GA24, 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).

6.2.4 Metode for afrapportering af nøgletal og indikatorer for international skibsfart

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

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.



Tabel 4: Aggregerede skibstyper og IMO-skibstyper

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

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 brændstoftypen 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, $dwrnm$, udtrykkes ved den sejlede distance d_{it}^y multipliceret med skibets lasteevne dwt_{it} :

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

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:

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

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

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