



Danmarks globale klimapåvirkning - Global afrapportering 2023 (GA23): International transport

Dato
27-04-2023

Baggrundsnotat nr. 12

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	8
3.3	Luftfartens ikke-CO ₂ relaterede klimaeffekter	16
3.4	Indsatser for reduktion af luftfartens klimaeffekt	21
3.5	Teknologisk udvikling.....	22
3.6	Metode.....	25
3.7	Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer.....	27
4.	International skibsfart	27
4.1	Klimaregulering af international skibsfart.....	29
4.2	Udledninger – nøgletal og indikatorer	31
4.3	Black Carbon	38
4.4	Indsatser	38
4.5	Teknologisk udvikling.....	40
4.6	Metode.....	42
4.7	Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer.....	43
5.	Kilder.....	45
6.	Bilag	48
6.1	Datakilder for afrapportering af nøgletal og indikatorer for international luftfart	48
6.2	Datakilder for afrapportering af nøgletal og indikatorer for international skibsfart	53

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 2022 (GA22). Metode og tilgang er den samme som i GA22, og de væsentlige ændringer består dermed alene 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.
- cases, der belyser indsatser på skibs- og luftfart.

2. Rammesætning

Den globale luft- og skibsfart er kilder til betydelige drivhusgasudledninger og udgør begge en væsentlig del af de samlede globale udledninger. Disse udledninger indgår ikke i opgørelserne af de forskellige landes territoriale udledninger, som indrapporteres til FN's Klimakonvention, jf. *FN's opgørelsesmetode*, og derfor heller ikke i de enkelte landes nationale målsætninger under Parisaftalen. Udledning af CO₂ fra luftfart internt i EU er dog omfattet af EU's kvotedirektiv, hvorfor denne udledning også er indmeldt som værende 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 opgørelser for udledninger fra global luft- og skibsfart i sine beregninger, og reduktionsmål for luft- og skibsfart håndteres internationalt i regi af ICAO¹ og IMO² og på europæisk plan gennem EU.

Global skibsfart står for mellem 2 og 3 procent af den globale CO₂-udledning fra energirelaterede udledninger. Sektoren har været påvirket af covid-19 fra pandemien brød ud i 2020, eftersom fragttaktiviteterne oprindeligt faldt, indtil de i 2021 igen begyndte at stige. Fragttaktiviteterne forventes frem mod 2050 at stige parallelt med verdenshandlen.

For global luftfart (inden- og udenrigsflyvninger) svarer udledningen ligeledes til mere end 2 pct. af de globale CO₂-udledninger fra energiforbrug (IEA 2022a, IEA 2022b).

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

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



Luftfartens aktivitetsniveau blev særligt hårdt ramt af covid-19 pandemien. Fra 2019 til 2020 faldt udledningerne med knap 43 pct., hvorefter udledningerne i luftfarten igen steg med ca. 21 pct. i 2021 (IEA 2022a). Afrapporteringerne omfatter kun direkte udledninger af CO_{2e} fra forbrænding af flybrændstof. Det er dog internationalt anerkendt, at luftfarten, udover klimaeffekt fra CO₂ udledningerne, har en væsentlig klimaeffekt relateret til afbrændingen af brændstof i stor højde, også kaldet ikke-CO₂-effekter (IPCC, 1999; EASA 2020). Ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter gennemgås nærmere i afsnit 3.3.

International luftfart har gennem årtier været kendetegnet ved markant passagervækst, og efterspørgslen på lufttransport forventes at stige frem mod 2050. ICAO har, medregnet covid-19 effekter, estimeret den globale årlige vækst i passageres efterspørgsel på lufttransport til at være mellem 2,9-4,2 pct. om året frem mod 2050 (ICAO, 2021). Det vil i givet fald svare til en tredobling set ift. 2018-niveauet. ICAO har en tilsvarende forventning ift. luftfragt.

Klimastatus og –fremskrivning giver årligt bl.a. en status for, hvordan Danmarks territoriale drivhusgasudledninger har udviklet sig siden 1990, samt en vurdering af, hvordan udledningen af drivhusgasser vil udvikle sig frem mod 2035. Heri indgår udledninger fra transport i Danmark, dvs. vejtransport, banetransport samt indenrigs sø- og luftfart³.

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

Afrapporteringerne vedr. international transport er styret af, hvordan *danskrelaterede* internationale udledninger defineres samt mulighederne for at belyse aktiviteterne ved hjælp af eksisterende dataregistre. Der er således en række begrænsninger, som

³ Udledninger fra ruter mellem Danmark og hhv. Grønland og Færøerne indregnes, mens ruter internt i Grønland og Færøerne ikke indgår. Derudover omfatter Klimastatus og –fremskrivning udledninger fra fritidsfartøjer og forsvarets transportmidler. I baseline og fremskrivninger fra Luftfartens Klimapartnerskab indgår flyvninger til og fra Grønland og Færøerne i udenrigsemissionerne.



følger af de tilgængelige data på området. Derfor skal det også bemærkes, at valget

Boks 1: International transports sammenhæng med andre typer afrapporteringer af transport i GA23

Udledninger fra international transport indgår som element i flere dele af GA23. 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 og fly som bunkrer 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 GA23, 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 GA23 er defineret som følgende:

International transport: Drivhusgasudledninger opgøres med fokus på, hvem der transporterer (operatør) og hvor transporten sker. Baggrundsnotatet er derfor et tillæg til afrapporteringerne for klimapåvirkning for import, eksport og forbrug i GA23.

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 danskernes persontransport ind og ud af Danmark og i udlandet

og tilgængeligheden af opgørelsesmetoder og sektorafgrænsning påvirker både størrelsen af udledningerne og den historiske udvikling.

Der er, som vist i boks 1, forskellige afrapporteringer i Danmarks globale klimapåvirkning - global Afrapportering 2023 (GA23), hvor elementer af international transport indgår. Der er således visse overlap: Fx er udledninger fra dansk opererede skibe i udlandet, der fragter varer, som efterfølgende importeres og forbruges i Danmark, inkluderet både i indeværende afrapportering samt i opgørelser under klimapåvirkning af import og forbrug, jf. baggrundsnotaterne *Klimaaftrykket af import* og *Klimaaftrykket af forbrug*.

GA23 indeholder en række nøgletal for danske aktiviteter inden for sø- og luftfart. Det drejer sig dels om, hvor store udledninger danske aktiviteter giver anledning til, og dels hvordan de kan vurderes ift. sektorens og andre aktørers udledninger. Derfor er det væsentligt også at forholde sig til udviklingen i udledningerne frem for alene de absolutte udledninger, idet udledningerne også er drevet af ændringer i de danske markedsandele ift. den globale efterspørgsel på transport. Den globale efterspørgsel kan betragtes som eksogen, idet den vil være til stede og blive mødt, hvad enten den efterkommes af danske eller udenlandske aktører.



GA23 indeholder desuden en gennemgang af den internationale regulering af områderne samt nogle cases, der kaster lys over danske indsatser. Endelig indeholder GA23 perspektiver for en række teknologier og drivmidler, som forventes at kunne blive en del af løsningen for at omstille international sø- 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 tværnationalt 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 på selve flyvningerne, herunder både på danske luftfartsselskabers globale aktiviteter og på alle selskabers – også udenlandske selskabers – flyvninger til og fra Danmark. Dansk relateret er i denne sammenhæng indkredset ud fra de tilgængelige databaser, dvs. data for 1) alle fly, uanset tilhørsforhold, der flyver til og fra Danmark, 2) udenrigsluftfartens tankning i Danmark, uanset tilhørsforhold samt 3) alle dansk opererede fly, der tankes i udlandet.

3.1 Klimaregulering af international luftfart

Luftfartens udledninger er reguleret internationalt i regi af EU og FN's civile luftfartsorganisation, ICAO. 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). 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. Der er desuden ikke i aftalen vedtaget delmål for reduktionsvejen mod 2050.

Luftfartens udledninger er reguleret både i EU's kvotehandelssystem (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. I Danmark er der for nuværende ingen national beskatning af den internationale luftfarts udledninger.



EU ETS omfatter flyvninger inden for EU og Det Europæiske Økonomiske Samarbejdsområde (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. Det er dog med aftalen om revisionen af EU's kvotehandelsystem fra december 2022 besluttet helt at udfase tildelingen af gratiskvoter fra 2024 til 2026, jf. tekstboks 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 (Sustainable Aviation Fuel - SAF), for herigennem at give et økonomisk incitament til at købe SAF.

CORSIA er et globalt system, der er designet til 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). Deltagelse i de første to faser er frivillige. I pilotfasen anvendes 2019 som baseline niveauet for udledningerne fra internationale flyvninger. Fra 2024-2035 blev det på ICAO's generalforsamling i 2022 besluttet, at baseline skal reduceres til 85 pct. af 2019-niveauet. For nuværende skal luftfartsselskaber kompensere for udledninger, der overstiger baselineniveauet, dog alene på flyvninger mellem de omkring 118 stater, herunder Danmark og alle øvrige EU-lande, som deltager i CORSIA's første frivillige fase.

Kompensationen sker gennem køb af internationale kreditter, som primært medfører reduktion i udledninger i andre sektorer. I CORSIA benyttes en sektorvækstfaktor til beregning af den enkelte flyoperatørs kompensationsforpligtelse. Sektorvækstfaktoren medfører, at det enkelte flyselskab påtager sig en andel af den samlede udledningsvækst i sektoren. På ICAO's generalforsamling i 2022 blev det, som led i et samlet kompromis, besluttet at forøge anvendelsen af sektorvækstfaktoren på bekostning af den individuelle vækstfaktor. Sektorvækstfaktoren er til fordel for de hurtigt voksende luftfartsnationer, idet deres kraftigere vækst dermed udjævnes over alle lande, som er med i CORSIA. Der er derfor reelt tale om en lettelse af byrderne for udviklingslandene.

Den første og frivillige fase blev indledt den 1. januar 2021. Covid-19 medførte store nedgange i antal flyoperationer og passagerer, og flyselskabernes udledninger har derfor været under 2019-niveauet, hvorfor flyselskabernes kompensationsforpligtelse for 2021 var nul. Kompensationsforpligtelsen for 2022 udregnes i 2023.

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



Boks 2: Fit-for 55 på luftfartsområdet

Aftaler

Revisionen af EU's kvotehandelsdirektiv (ETS) omhandlende luftfart, 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 ikke-CO₂-effekter i 2025 med henblik på at opnå et datagrundlag for reguleringen af ikke-CO₂-effekter. EU-Kommissionen skal senest i 2028 fremsætte et forslag for håndtering af ikke-CO₂-effekter i 2028. Rådet og EU-Parlamentet afsluttede forhandlingerne om forslaget i december 2022.

AFIR-(Alternative Fuels Infrastructure Regulation) medfører, at større lufthavne skal sikre elektricitetsforsyning ved lufthavnens standpladser frem mod 2030. Elektricitetsforsyningen skal understøtte, at flyene kan slukke motorerne i forbindelse med parkering mellem to flyafgange. 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 internationale flyvninger vil i stedet blive underlagt minimumsafgifter (på niveau som benzin og diesel), som indføres hen over en tiårig periode. Der pågår fortsat forhandlinger mellem Rådet og EU-Parlamentet omkring initiativet.

ReFuelEU Aviation: Europa-Kommissionens forslag indfører et europæisk krav til iblanding af bæredygtige brændstoffer på 2 pct. i 2025, stigende til 5 pct. i 2030 med et underkrav om iblanding af syntetiske brændstoffer, som bl.a. PtX-brændstoffer. Kravet forøges over tid til 63 pct. i 2050 med et underkrav til syntetiske flybrændstoffer på 28 pct. Forslaget vil pålægge forpligtelser for luftfartsoperatører, europæiske lufthavne og brændstofleverandører. Der pågår fortsat forhandlinger mellem EU-Parlamentet og Rådet omkring initiativet.

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 er indledt trilogforhandlinger om forslaget, dvs. mellem Kommissionen, Rådet og EU-Parlamentet. Forhandlingerne forventes at fortsætte i 2023.



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 dansk opererede flys tankning i udlandet, som også omfatter flyveaktiviteter, der ikke nødvendigvis berører Danmark territorialt. En stor del af de dansk opererede flys tankning i udlandet vil dog være forud for en flyrejse til Danmark og der vil derfor været et vist overlap mellem de to opgørelser.

De opgjorte nøgletal og indikatorer vedrører udelukkende selve flytransporten, som også står for langt størstedelen af luftfartens udledninger, og dækker således ikke over øvrige udledninger forbundet med flyrejser, eksempelvis 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. Det er desuden væsentligt at understrege, som beskrevet i afsnit 3.3, at forbrænding af flybrændstof i højere luftlag har en større klimaeffekt, end den som alene tilskrives udledningen af drivhusgasserne CO₂, CH₄ og N₂O. Der er fortsat videnskabelig usikkerhed vedr. størrelse og metoder for opgørelse af denne ekstra klimaeffekt, ligesom der endnu ikke er international konsensus om, hvordan effekten skal indregnes i officielle klimaregnskaber.

Der henvises til metodeafsnit 3.6 (og dertil hørende bilag) for nærmere beskrivelse af data, afgrænsninger, metode og kilder.

3.2.1 Udledninger

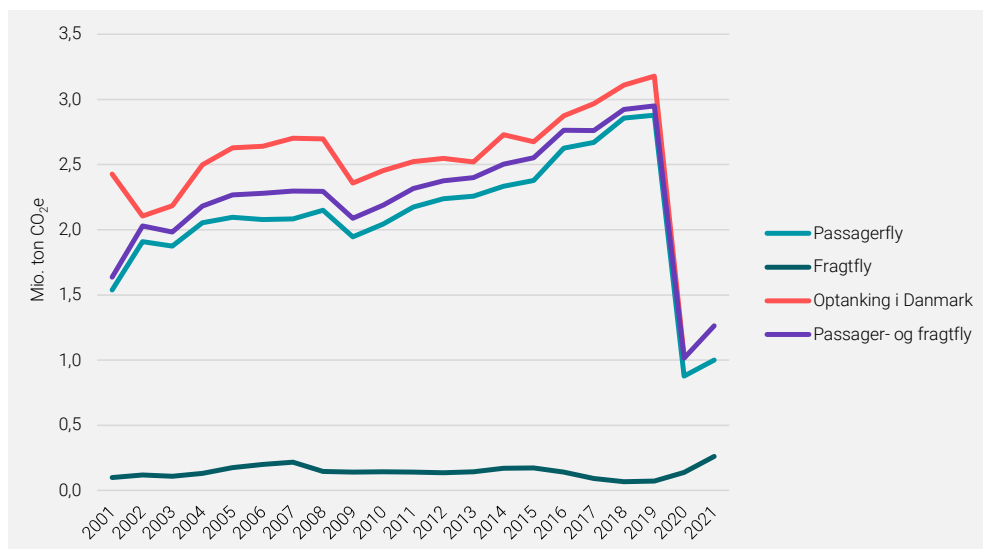
Udledningen af drivhusgasser forbundet med flyvninger fra Danmark til første udenlandske destination lå i 2009 på ca. 2,1 mio. ton CO₂e, hvilket frem mod 2019 steg til knapt 3 mio. ton CO₂e, jf. kurven "passager- og fragtfly" i figur 1. Tallene dækker over udledninger fra fly med afgang fra Danmark uanset 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 i 2020, bl.a. som følge af covid-19, er udledningerne i 2021 steget til omkring 1,25 mio. ton. Disse tal inddrager ikke ikke-CO₂ klimaeffekterne forbundet med udledninger i stor højde.

Figur 1 viser udledningerne på baggrund af to forskellige opgørelsesmetoder. Den røde kurve præsenterer 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 deltallet efter flytyper, i kombination med gennemsnitsværdier for en række repræsentative flytypespecifikke udledninger. Metoden giver, som vist i figuren, mulighed for en opdeling af udledningerne på henholdsvis passager- og godstransport fra Danmark. De dedikerede fragtflyvninger udgør dog kun en beskedent del af luftfartsaktiviteten i Danmark, og derfor kun en lille

del af de samlede beregnede udledninger. Det bemærkes desuden, at passagerflyvninger oftest også befordrer fragt i lastrummet. Se bilag 3.8.1 og 3.8.2 for nærmere beskrivelse af datagrundlag og beregningsmetode.

Udledningerne forbundet med tankning i Danmark er i perioden 5-10 pct. højere end de beregnede udledninger for brændstofforbruget for flyvningen til den efterfølgende lufthavn. Dette kan bl.a. skyldes, at der tankes mere i Danmark end alene påkrævet for videreflyvningen til den efterfølgende lufthavn i udlandet.

Figur 1. Udledning af drivhusgasser forbundet med udenrigsflyvning fra Danmark i perioden 2009-2021



Kilde: Energistyrelsen, 2022; Trafikstyrelsen, 2022.

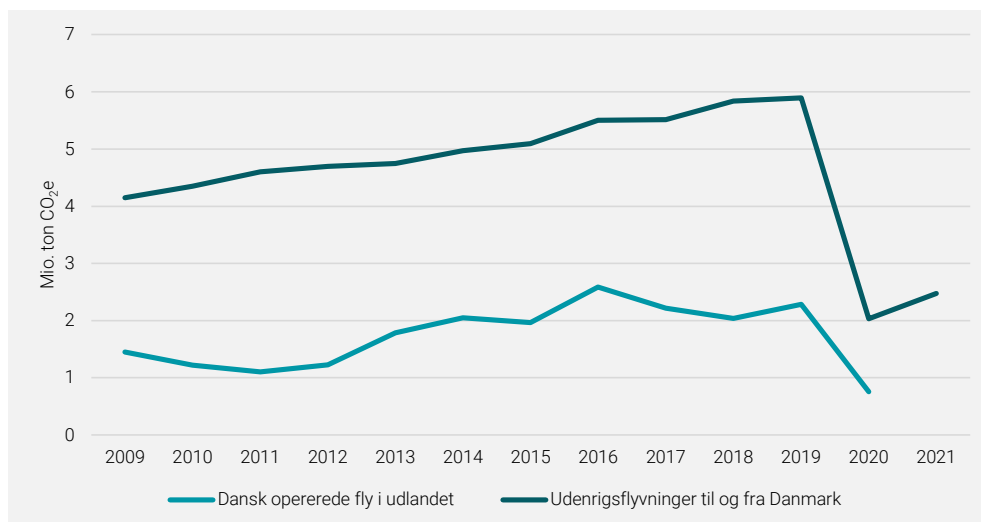
Flytrafikken til og fra Danmark er i al væsentlighed symmetrisk, dvs. af samme størrelse i begge retninger. De samlede udledninger forbundet med flyrejser til og fra Danmark var i 2019 ca. 6 mio. ton, omtrent det dobbelte af udledningerne knyttet alene til flyvninger fra Danmark. Dette fremgår af figur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

redygtige flybrændstoffer eller lignende, der kan nedbringe flyvningens CO₂-udledning på den enkelte operation⁴. Som i figur 1 ses ligeledes det bratte fald i udledningerne i 2020 som følge af covid-19 og den efterfølgende begyndende stigning i udledningerne i 2021.

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 kun tilgængelige frem til 2020). Her medregnes udledninger i udlandet, der er knyttet til luftfartsselskaber, som er hjemmehørende/registreret i Danmark.

Stigningen i udledningerne frem mod 2019, både de territorielt tilknyttede såvel som 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 2021, samt fra dansk opererede flys tankning i udlandet i perioden 2009-2020, både passager- og godstransport



Kilde: Trafikstyrelsen, 2022; Danmarks Statistik, 2022.

3.2.2 Aktivitet

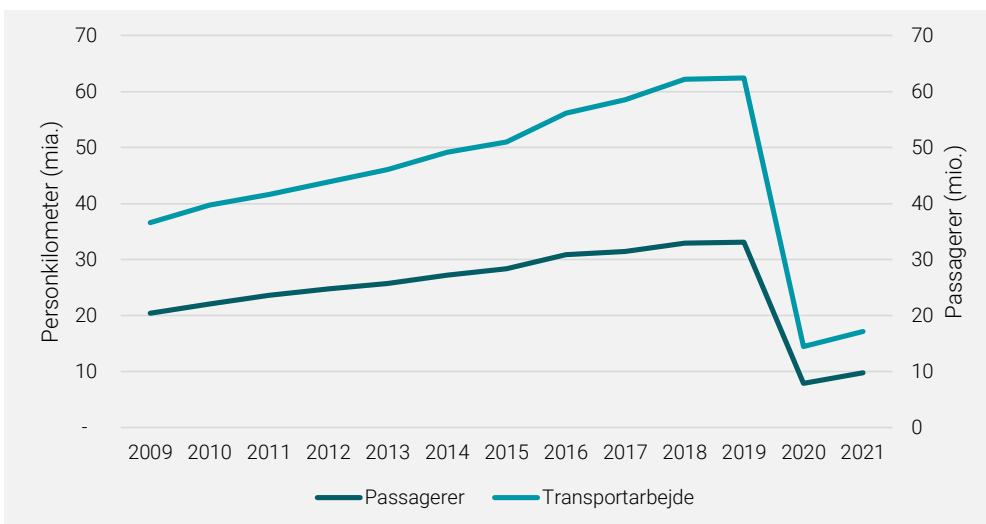
Udviklingen i luftfarten kan anskues enten som udviklingen i antallet af passagerer eller ved udviklingen i transportarbejdet, dvs. udviklingen i antal personkilometer. I figur 3 nedenfor ses udviklingen i disse parametre beregnet på baggrund af data fra

⁴ IATA anslår, at den globale SAF produktion i 2022 var 450 mio. liter, svarende til cirka 0,15 procent af det globale jet fuel forbrug. Den globale SAF produktion var kun 24 mio. liter i 2019.



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 2021 steg passagerantallet til cirka 10 mio. og transportarbejdet til cirka 17 mia. personkilometer.

Figur 3: Antal passagerer og transportarbejde forbundet med udenrigsflyvninger til og fra Danmark i perioden 2009-2021.



Kilde: Trafikstyrelsen, 2022.

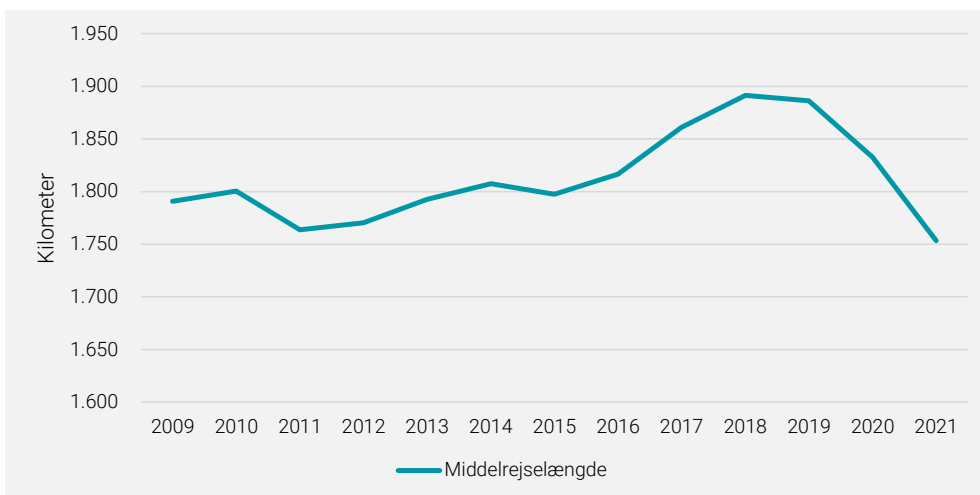
Det bemærkes, at Danmarks Statistik ligeledes har data for udviklingen i antal passagerer og transportarbejde. Danmarks Statistik benytter også dataudtræk fra Trafikstyrelsens luftfartsstatistik og når omtrent samme passagerantal i perioden 2009-2021, men kommer til et betydeligt lavere transportarbejde⁵. Det skyldes bl.a. forskelle i de to opgørelsesmetoder, afgrænsninger ift. bl.a. hvilke danske lufthavne, der er omfattet, samt definition af en flyrejse, jf. beskrivelse af datakilder i bilag 3.8.1. Endvidere benytter Danmarks Statistik storcirkelafstande mellem lufthavne, mens bottom-up-tilgangen anvender approksimative faktiske flyvelængder (se bilag 3.8.2).

Med udgangspunkt i data fra Luftfartsstatistikken kan udviklingen for en gennemsnitlig rejselængde per flyrejse estimeres. Denne udvikling er vist i figur 4, hvoraf det

⁵ I perioden fra 2009-2021 er tal for transportarbejdet fra Danmarks Statistik ca. 12-25 pct. lavere end det tilsvarende tal beregnet på baggrund af data fra Luftfartsstatistikken.

fremgår, at der samlet set over perioden 2009 til 2021 ikke er sket en betydelig ændring i middelrejselængden (dog med en langsomt stigende rejselængde frem til 2018, som efterfølgende er aftaget)⁶.

Figur 4: Gennemsnitlig rejselængde pr. passager på udenrigsflyvninger til og fra Danmark i perioden 2009-2021.

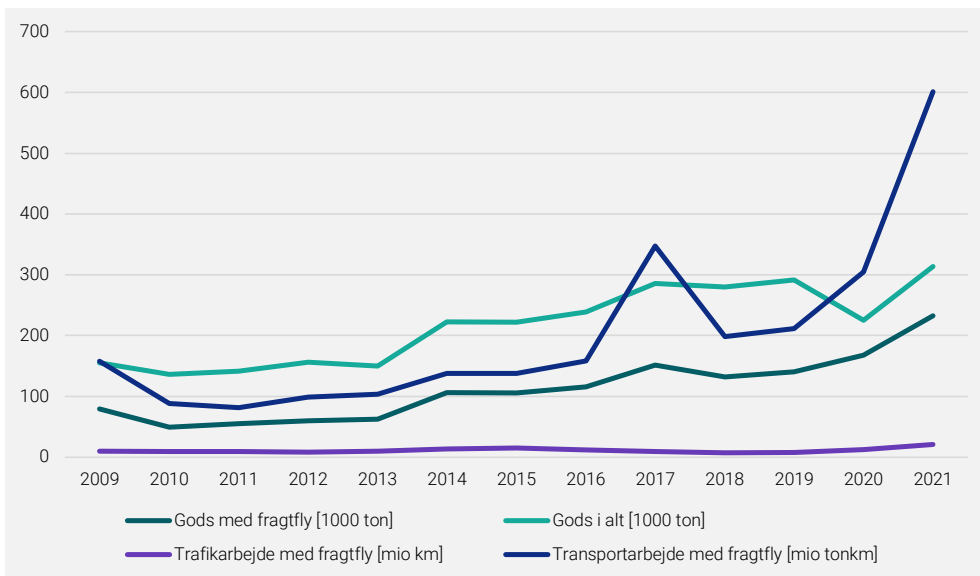


Kilde: Trafikstyrelsen, 2022

I figur 5 vises udviklingen i godsmængder og flyveaktivitet for perioden 2009 til 2021. Mængden af ton flygods i alt (med både passager- og fragtfly) er i perioden fordoblet fra ca. 0,15 mio. ton i 2009 til ca. 0,30 mio. ton i 2019 (men faldt til ca. 0,23 mio. ton i 2020). I 2021 steg den samlede mængde flygods atter til niveauet omkring 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.

⁶ Danmarks Statistik har ligeledes data for middelrejselængden, som varierer fra denne opgørelse.

Figur 5: Transporteret gods (opgjort særskilt for fragtfly og samlet set, hvilket inkluderer 'belly freight'), trafikarbejde med fragtfly og transportarbejde med fragtfly for perioden 2009-2021



Kilde: Trafikstyrelsen, 2022. **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. Normalt vil passagerfly også befordre fragt – såkaldt "belly freight". Pga. covid-19 har der været færre passagerfly, men for at imødekomme efterspørgslen på fragtleverancer, har 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. I 2021 steg både godsmængde og flyveaktivitet.

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 3.8.2.

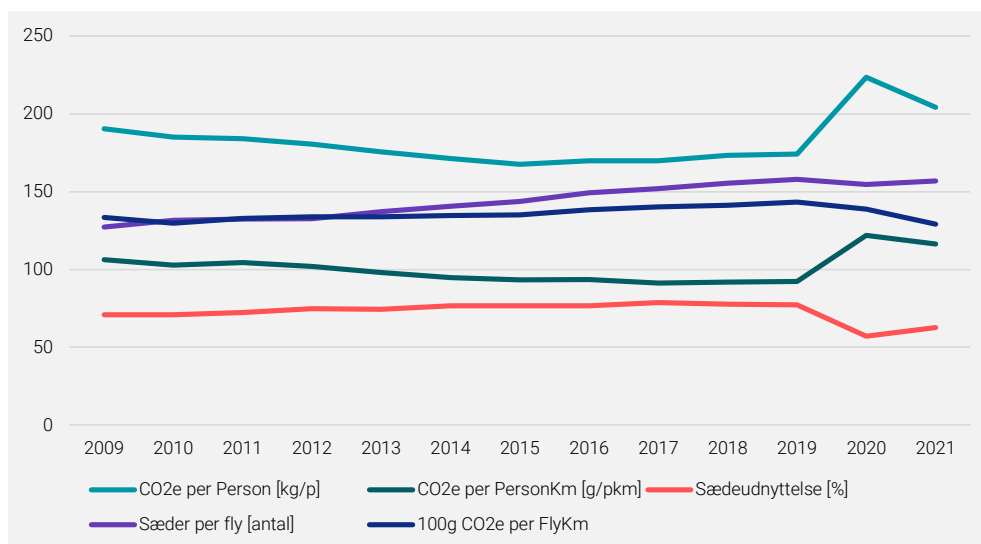
Desuden belyses udvikling i flystørrelse og udnyttelsen af flyenes transportkapacitet udtrykt ved indikatorerne:

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

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

Udviklingen i indikatorerne er vist i figur 6.

Figur 6: Udvikling i de fem indikatorer, som er opstillet for at belyse effektivitetsudviklingen i udenrigsluftfarten (passagerflyvninger) til og fra Danmark i perioden 2009-2021.



Kilde: Trafikstyrelsen, 2022. **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 2019 vokset med 24 pct. fra ca. 130 sæder til ca. 160 sæder. I samme periode er flyenes udledningsintensitet (CO₂e-udledning per flykilometer) kun vokset med 7 pct.

fra 13,2 kg til 14,2 kg CO₂e per flykilometer. Det vil sige, at flyene som helhed er blevet større og relativt mere energieffektive, blandt andet via mere effektive motorer. Samtidig er sædeudnyttelsesgraden vokset fra ca. 71 pct. i 2009 til 77 pct. i 2019. Det fremgår, at covid-19 medførte et fald i sædeudnyttelsen i 2020 og 2021.

Samlet set giver dette anledning til en reduktion i udledningen per personkilometer fra 106 g CO₂e/personkilometer i 2009 til 92 g CO₂e/personkilometer i 2019, svarende til et fald på ca. 13 pct. Ligeledes ses udledningen per flyrejsende at være faldet med ca. 9 pct. fra 191 kg CO₂e/person i 2009 til 174 kg CO₂e/person i 2019. Forbedringerne i begge udledningsintensiteter (udledning per person og udledning per personkilometer) er sket i perioden 2009 til 2015, hvorefter niveauerne er stabiliseret. Ud over de ovennævnte forhold kan andre faktorer som eksempelvis optimering af flyveruter, udnyttelse af vejrforhold og 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, jf. kurverne for 'sæder per fly' og 'CO₂e-udledning per flykilometer'. Udledningerne per passager målt på personkilometer steg til markant højere niveauer end niveauerne i 2009. I 2021, hvor aktiviteten i luftfartssektoren så småt begyndte at stige igen, ses atter et fald i udledningerne, både per person, per flykilometer og per personkilometer (til ca. 204 g CO₂e/person, 129 g CO₂e/flykilometer og 116 g CO₂e/personkilometer).

For fragtflyvninger er der beregnet tilsvarende indikatorer:

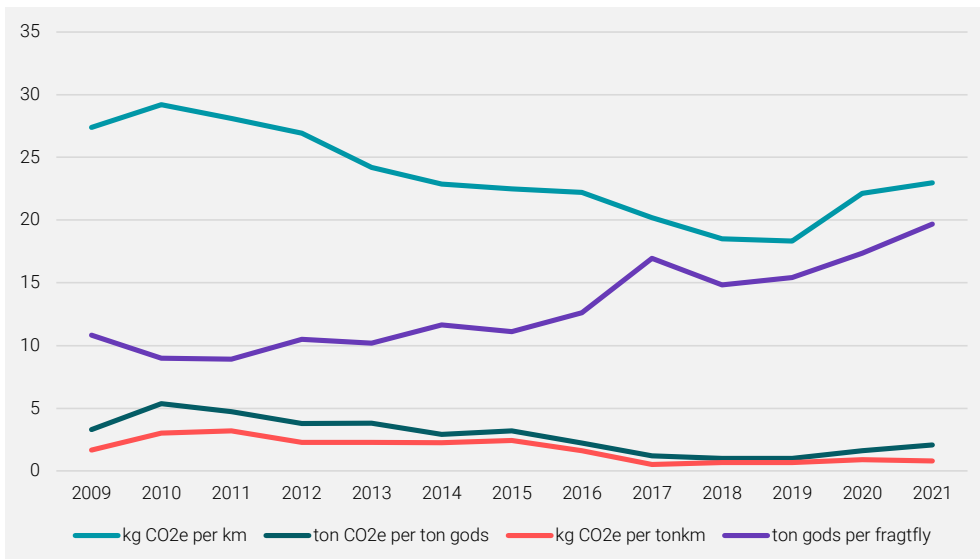
- Udledning per fragtgods (CO₂e per ton fragt)
- Udledning per transportarbejde (CO₂e per tonkilometer)
- Udledning per trafikarbejde (CO₂e per flykilometer)

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 de fire indikatorer, som er opstillet for at belyse effektivitetsudviklingen i udenrigsluftfarten (fragtflyvninger) til og fra Danmark i perioden 2009-2021.



Kilde: Trafikstyrelsen, 2022. **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 i årene 2009 til 2019 undergået en kraftig effektivisering. Den gennemsnitlige godsmængde per fragtflyvning er vokset ca. 50 pct. fra omkring 10 ton i 2009 til omkring 15 ton i 2019. Trods den øgede godsmængde per fly er udledningen per fragtflykilometer faldet ca. 33 pct. fra næsten 30 kg CO₂e i 2009 til under 20 kg CO₂e i 2019. Udledningen per transportarbejde er i samme periode faldet ca. 60 pct. fra 1,7 kg CO₂e/tonkilometer til 0,7 kg CO₂e/tonkilometer. Udledningen per ton fragtet gods er faldet med 70 pct. fra 3,3 til 1,0 ton CO₂e per ton fragtgods. Udviklingen vurderes at kunne tilskrives den stigende efterspørgsel på fragtflyvning kombineret med effektivisering af logistik og en øget gennemsnitlig godsmængde per fragtflyvning. Samtidig er udledningen per flykilometer i samme periode reduceret, formentlig ved udskiftning af gamle fly til nyere samt større og mere energieffektive fly.

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 (når der ses bort fra effekterne af covid-19 de sidste to år) og lå på ca. 6 mio. ton i 2019. I samme periode faldt udledningerne pr. passager med ca. 9 pct. til 172 kgCO₂e/passager mens udledningerne pr. passagerkilometer faldt med ca. 13 pct. til 91 g CO₂e/kilometer. Dette viser, at aktiviteten i udenrigsluftfarten er steget, men at sektoren overordnet set er blevet mere effektiv.

3.3 Luftfartens ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter

Luftfarten har, ud over den direkte klimaeffekt af CO₂-udledning, en ekstra klimapåvirkning, der skyldes flyenes udledninger i stor flyvehøjde. Effekten af disse udledninger omtales som luftfartens ikke-CO₂ relaterede klimapåvirkninger. Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) beskriver i tekstboks 3 de overordnede tekniske aspekter om disse ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter. Der er væsentlig usikkerhed knyttet til de enkelte elementers effekt, samt et komplekst sammenspil mellem dem. Det skyldes dels forhold omkring tidshorisonter, modsatrettede effekter og andre betydende faktorer som flyvehøjder, vejr- og klimatiske forhold.

Videnskabelige kilder peger på, at luftfartens samlede klimapåvirkning kan være mellem 1 og 3 så stor som den CO₂-relaterede del, afhængig af metode og tidshorisonter (Azar & Johansson, 2011; Jungbluth & Meili, 2018; Lee et al., 2021). Den største effekt findes ved internationale flyvninger, hvor en stor del af flyvningen typisk foregår i højder over end 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 ikke-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 ikke-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 ikke-CO₂ klimaeffekter. Forfatter: DMI, 2022.

Luftfartens klimaeffekter

Ud over den direkte CO₂-effekt har udstødningen fra fly i de højere luftlag en 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 leder til en kraftig, men kortvarig opvarmning.

Der er fortsat videnskabelig usikkerhed omkring størrelsesordenen af disse effekter, og hvordan de estimeres. Atmosfæriske processer og komplekse kemiske vekselvirkninger gør det svært at modellere, og usikkerhederne er derfor særligt store for de ikke-CO₂-relaterede klimaeffekter. En komplikation skyldes, at NO_x-effekten er afhængig af fremtidige udledninger af luftforurening ved jordoverfladen. Derudover er der store usikkerheder forbundet med vekselvirkningen mellem udstødningspartiklerne og skyer. Endelig er klimapåvirkningen fra ikke-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. Ved ét års udledninger fra luftfarten, kan effekten af kondensstriber og NO_x udledning ses i

den globale overfladetemperatur 10 år efter udledningen, mens CO₂ både har en opvarmende effekt på den korte (10-årige) tidsskala og dominerer den samlede opvarmning på langt sigt.

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 alene af 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. 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.

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

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 cirruskydannelse	Kondensstriber og cirruskyder 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.

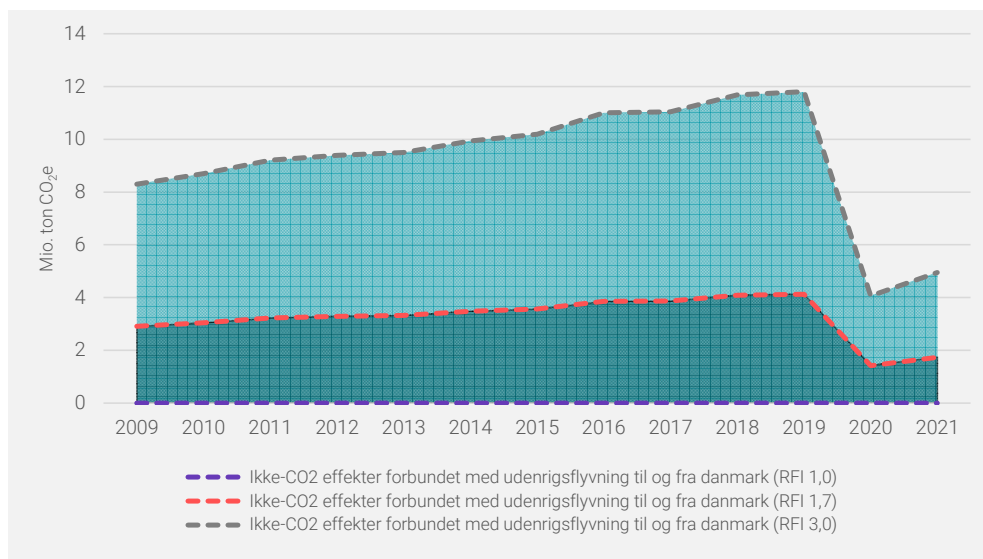
Internationalt er der endnu ikke konsensus om, hvordan luftfartens ikke-CO₂ relaterede klimaeffekt bør opgøres og indregnes i luftfartens samlede klimaeffekt. Derfor

indgår de ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter heller ikke i GA23's afrapportering over nøgletal og indikatorer over luftfartens udledninger, der fremgår af afsnit 3.2.

Nedenstående figur 8 illustrerer, hvordan de ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter forbundet med flyvninger til og fra Danmark ser ud, hvis der anvendes en RFI faktor på henholdsvis 1,7 og 3. En RFI faktor på 1,7 svarer til den faktor, DMI når frem til ved valg af GWP₁₀₀, som en af flere metrikker til sammenvejning af de forskellige effekter, jf. tekstboks 3. Som nævnt, er effekten forbundet med stor usikkerhed. Derfor inddrages også en RFI faktor på 3, som litteraturen ligeledes placerer i spændet for mulige ikke-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 ikke-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 de ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter som følge af flyvningers udledning i stor højde.



Kilde: Energistyrelsen. **Anmærkning:** Figuren illustrerer hvor stort bidraget af ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter ville se ud ved anvendelse af en GWP₁₀₀ faktorer på henholdsvis 1,7 og 3. Desuden viser figuren, at en RFI på 1, svarer til ingen ikke-CO₂ effekt – fx ved flyvninger i lav højde eller med andet end jetmaskiner. Det understreges, at RFI-faktorer er forbundet med anseelig usikkerhed, og at de illustrerede effekter målt i CO₂ ækvivalenter skal tages med store forbehold.

Regulering af ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter

På trods af den store usikkerhed er der internationalt et generelt voksende fokus på betydningen af, og behovet for, at reducere de ikke-CO₂-relaterede effekter.

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

Det diskuteres endvidere, hvorvidt det er mere hensigtsmæssigt at målrette regulering direkte mod de ikke-CO₂ relaterede effekter, fx NO_x-udledning eller brændstoffets indhold af aromatiske stoffer (se tekstboks 4), frem for at forsøge at sammenveje effekterne i en fælles CO₂-ækvivalent for luftfart (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 ift. de materialer, som pakninger i flyets motor- og brændstofs-system normalt er lavet af, og de bevægelige dele i flyet (brændstofpumper mv.).

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 Indsatser for reduktion af luftfartens klimaeffekt

Både internationalt og i Danmark arbejdes der på flere fronter for 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. Indsatserne er på nuværende tidspunkt særligt drevet af erhvervslivet.



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. Med sektorkøreplanen for Klimapartnerskabet for Luftfart⁷ 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.

Nedenfor i tekstboks 5 fremgår et eksempel på, hvordan en dansk aktør arbejder for at mindske klimabelastningen fra luftfarten. Se også tekstboks 8 i afsnit 3.4 for PtX-projekter i Danmark, som er målrettet både luft- og skibsfarten.

Boks 5: Alsie Express indsats for bæredygtige flybrændstof

Alsie Express flyver mellem Sønderborg og København på SAF

Som den første indenrigsrute i Danmark er flyselskabet Alsie Express, i samarbejde med Sønderborg Lufthavn og brændstofleverandøren DCC & Shell Aviation, fra maj 2021 påbegyndt flyvninger, hvor der er iblandet SAF (Sustainable Aviation Fuel) ibiobaseret flybrændstoffet. Initiativet er et skridt til en gradvis reduktion af Alsie Express' klimaaftryk.

Der iblandes i perioder op til 40 pct. SAF med det fossile flybrændstof. Alsie Express forventer for hele året en reduktion i CO₂-aftryk fra det iblandede biobaserede flybrændstof svarende til omkring 4 pct. af den årlige CO₂-udledning fra indenrigsflyvningerne fra Sønderborg til København.

SAF produktet er lavet af det finske selskab Neste. Brændstoffet er fremstillet på bæredygtige olieafgrøder eller biomasse som f.eks. fedstoffer, alger, animalske olier og forskellige former for fossile brændstoffer som f.eks. spildaffald fra industri eller husholdning. Der anvendes ikke spildaffald fra fremstilling af palmeolie.

Kilde: <https://alsieexpress.dk/travel-info/biobraendstof/>

3.5 Teknologisk udvikling

Luftfarten er en af de sværere transportformer at omstille, da luftfarten har begrænsede alternative teknologier til forbrændingsmotorer og fossile brændsler. Særligt skift til alternative fremdriftsteknologier, der indebærer hel eller delvis elektrificering, er udfordrende. 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. Samtidig stilles der omfattende krav til sikkerhed, hvilket afspejles i omfattende godkendelsesprocedurer for nye flytyper og nye teknologier. Endelig er nye teknologier, som oftest, forbundet med store investeringer og omkostninger, der, koblet med lange levetider for fly og

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

materiel, kan sænke omstillingshastigheden eller 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 brint-fly og bæredygtigt flybrændstof.

3.5.1 Iblanding af bæredygtige flybrændstoffer

Sustainable Aviation Fuels (SAF) er en samlebetegnelse for bæredygtigt brændstof, der kan iblandes fossilt flybrændstof (kerosen) eller i princippet 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 at reducere klimapåvirkningen fra international luftfart på kort sigt. 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 små mængder.

Hver type af SAF skal certificeres i henhold til ASTMs (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 på op til 50 pct. Det forventes dog, at disse tilladte grænser for iblanding vil øges frem mod 2030, da der allerede i dag foretages testflyvninger på 100 pct. bæredygtigt flybrændstof i bl.a. USA og Sverige. Flyproducenten Airbus har blandt andet, sammen med forskellige samarbejdspartnere, foretaget testflyvninger med 100 pct. SAF i én motor i deres A319 neo-fly og 100 pct. SAF i begge motorer i deres A350-fly. I juni 2022 gennemførte det svenske luftfartsselskab Braathens Regional Airlines en kommerciel flyvning på 1 time og 20 minutter fra Malmø til Stockholm med et ATR 72-600-fly, som var drevet på 100 pct. SAF

Ifølge IATA (The International Air Transport Association) (2022) er der p.t. foretaget 450.000 flyvninger med jet fuel iblandet SAF. De største barrierer for øget anvendelse af SAF er høje priser på SAF sammenlignet med konventionelt flybrændstof. Priserne for de forskellige SAF produkter ligger på op til 6 gange konventionelt flybrændstof (Europa-Kommissionen, 2021), hvilket er en afgørende barriere for udbredelsen af SAF, da brændstofomkostninger udgør en stor del af de samlede omkostninger i luftfartsbranchen. I den europæiske luftfartsbranches rapport "Destination 2050 – A route to net zero European aviation" forventes, at SAF produktionen vil kunne dække 6 pct. af EU- landenes behov for flybrændstof i 2030 og 83 pct. i 2050.



Der vil stadig være udfordringer forbundet med drivhusgaseffekter knyttet til anvendelsen af konventionelle forbrændingsmotors udledninger i stor højde, jf. afsnit 3.3. Nyere forskning tyder dog på, at SAF kan have en reducerende virkning på disse ikke-CO₂ relaterede drivhusgaseffekter (EASA, 2020), se også tekstboks 4 om aromatindhold i flybrændstoffer.

3.5.2 Elektrificering af luftfart

Elektrificering af luftfart omhandler både rene el-fly, baseret på enten batteri- eller brint/brændselscelle teknologi, men også hybridfly, hvor traditionelle forbrændingsmotorer kombineres med elmotorer.

Udfordringen for el-fly, der anvender batterier, ligger 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 korte ruter, hovedsageligt i indenrigsluftfart. Begrænsningerne betyder ligeledes, at el-fly forventes at have et relativt begrænset antal passagersæder. Det kan derfor kræve en omlægning af flyselskabernes nuværende ruteprogrammer, da der ved brug af el-fly vil være behov for flere operationer for at drive det samme udbud af passagersæder. Desuden kræver indsættelsen af denne type nye teknologier, at en række forudsætninger vedrørende opladningskapaciteter, energilagring, strømforsyning fra energiproducenter og infrastrukturelle fysiske rammer i lufthavnene skal opbygges for at kunne håndtere denne type nye flyteknologier.

På verdensplan arbejder en række selskaber med udvikling af batteribaserede el-fly. De flytyper, der nærmer sig godkendelser og markedet, er i første omgang små fly med plads til under 10 passagerer og rettet mod korte distancer.

Det norske flyselskab Widerøe har indgået samarbejder, som skal gøre det muligt for Widerøe at indsætte el-fly på indenrigsruter i Norge fra 2026. De små el-fly (Tecnam P-Volt) vil have plads til omkring 9 passagerer og skal danne spydspids for en større satsning på elektrificering af de større fly i Widerøe's flåde frem mod 2030-35.

Den svenske flyproducent Heart Aerospace udvikler el-fly (ES-30) med plads til 30 passagerer og en rækkevidde på op til 200 kilometer alene med elektrisk fremdrift og 400 km i hybriddrift (dvs. i kombination med forbrændingsmotor). Rækkevidden i hybriddrift øges til 800 km med en reduktion af antal sæder til 25 passagerer. Flyene vil planmæssigt være færdigudviklet i 2028, og der foreligger ordrer fra blandt andet Air Canada, United Airlines og Mesa Air Group på flere hundrede fly.

Parallelt med udvikling af batterifly arbejdes der også med udvikling af fly, der anvender brint, enten i forbindelse med brændselsceller og tilknyttet eldrift af motorer eller som direkte brændstof i forbrændingsmotorer. Brint har 2,5 gange større energitæthed pr. vægt end konventionelt brændstof og grønne flybrændstoffer, men fylder til gengæld langt mere. Brint skal 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 betyder at brintfly forventeligt vil skulle designes anderledes end de konventionelle fly, så opbevaring kan ske i vingerne. Desuden stiller anvendelsen af brint store krav til produktionskapacitet, distributionssystemer samt tank- og lagringsinfrastrukturer i lufthavnene.

I forhold til flyenes klimaeffekt er der ingen CO₂-emissioner forbundet med anvendelse af brint i flyets fremdriftssystem. Anvendes brint i forbrændingsmotorer vil der også være tale om 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 forsker blandt andet Airbus i betydningen af brint anvendt som motorbrændstofs for kondensstriber. Anvendes brint i brændselsceller er der ingen emissioner ud over vanddamp, men denne udskilles med lav hastighed og temperatur og forventes ikke forbundet med dannelse af kondensstriber.

Flyproducenten Boeing har underskrevet kontrakt med motorproducenten GE Aviation om, at Boeing skal understøtte GE Aviations udvikling af hybrid-el-motorer til store fly. Flyproducenten Airbus har igangsat et udviklingsprogram kaldet ZEROe, som skal udvikle tre flytyper, der flyver på brint. Airbus' ambition er, at man i 2035 er klar med tre flytyper, som vil kunne anvendes i den internationale luftfart. Det største fly vil have plads til 200 passagerer, det næststørste til 100 passagerer.

Start-up firmaet ZeroAvia forventer, ifølge egen hjemmeside, at have brintdrevet el-fly med plads til op til 20 passagerer og en rækkevidde på 300 NM (omkring 550 km) klar i 2025. I 2030 er ZeroAvia's ambition at have udviklet et fly med plads til 100-200 passagerer og en rækkevidde på 2.000 NM (omkring 3.700 km), hvilket vil kunne dække flyruter mellem København og Lissabon.

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 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 GA23.

Behandlingen af international luftfart i GA23 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 3.8.1 og 3.8.2 for hhv. datakilder og en mere detaljeret gennemgang af metoden for afrapporteringen af udledningerne i form af en række nøgletal og indikatorer.

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

- EU’s kvotehandelssystem (ETS) omfatter intra EU/EØS/UK flyvninger, hvor Danmark er ansvarlig for flyvninger, som udføres af danske luftfartsselskaber. Danske luftfartsselskaber er her defineret som selskaber med dansk erhvervmæssig driftslicens (Air Operator Certificate). Det er fx DAT, Star Air, Sunclass Airlines, Air Alsie m.fl. Det bemærkes, at SAS i ETS-sammenhæng administreres af Sverige, idet hovedkvarteret ligger i Sverige.
- I ICAO’s CORSIA system er Danmark ansvarlig for internationale flyvninger med danske luftfartsselskaber, der defineres på samme måde som i EU’s ETS system.
- I sammenhæng med Danmarks indberetninger af 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 fra⁸. Udledningerne beregnes på baggrund af brændstof tanket i Danmark.
- I Danmarks Statistik opgøres udledninger forbundet med dansk opererede fly, hvilket defineres som fly opereret af flyselskaber hjemmehørende/registreret i Danmark. Denne afgrænsning følger opgørelsen af BNP⁹.

I GA23 anvendes to forskellige afgrænsninger i afrapporteringen af udledningerne fra udenrigsluftfart med tilknytning til Danmark. Afgrænsningen skal både være operativ ift. datatilgængelighed og give et retvisende billede af udledningerne forbundet med danske aktiviteter.

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

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



I den første afgrænsning defineres udenrigsflyvninger med ankomst til eller afgang fra en dansk lufthavn som værende dansk relaterede aktiviteter. Dette omfatter både danske og udenlandske flyselskaber og –operatører og der skelnes ikke mellem nationaliteten på de rejsende eller produktions- eller slutanvendelsesland for det fragtede gods¹⁰. Afgrænsningen går således alene på den territoriale eller geografiske tilknytning til Danmark, hvor passagerer der rejser til/fra, eller gods som bliver fragtet til/fra, Danmark kan siges at have en tilknytning til Danmark. Data og metoder for afrapporteringen af udledningerne på baggrund af den territoriale afgrænsning beskrives i bilag 3.8.1 og 3.8.2.

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.

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

3.7 Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer

Det overvejes at undersøge, om der kan fremskaffes data, som vil muliggøre en fordeling af udledninger forbundet med udenrigsflyvning til og fra Danmark på henholdsvis danske og udenlandske statsborgere samt rejseaktiviteten.

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

Som nævnt i afsnit 3.3 vil der i arbejdet med GA løbende blive fokuseret på udviklingen i viden og metoder for opgørelse af ikke-CO₂ relaterede klimaeffekter.

4. International skibsfart

Danmark er som verdens niende største skibsfartsnation, målt på opereret tonnage, en stor spiller i international skibsfart (Danske Rederier, 2023). Der er cirka 1.900

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



dansk opererede skibe, og de udgør omkring 4,1 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. Med sit globale perspektiv er sektoren derfor også i høj grad internationalt reguleret. En række særlige forhold karakteriserer sektoren, herunder:

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

Disse karakteristika betyder, at international skibsfart er udfordrende ift. reguleringsregimer men også ift. monitorering og dataindsamling.

I GA23 er det derfor også udfordrende at afgrænse, hvad der forstås ved "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 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 denne afrapportering er fokus på danske rederiers globale aktiviteter og på alle selskabers – også udenlandske selskabers – transporter, der bunkrer i Danmark. I den sammenhæng er danskrelateret skibsfart indkredset ud fra de tilgængelige databaser. Det vil sige data for 1) alle skibe, uanset tilhørsforhold, der bunkrer i Danmark til udenrigsskibsfart, 2) alle skibe der sejler under dansk flag (over 5.000 bruttotonnage), uanset hvor de bunkrer samt 3) danskopererede skibes bunkring i udlandet.

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

4.1 Klimaregulering af international skibsfart

International skibsfart er på globalt plan reguleret gennem FN's Søfartsorganisation, International Maritime Organization (IMO). I april 2018 vedtog IMO en strategi om reduktion af drivhusgasser fra skibsfarten med konkrete mål for 2030 og 2050. Foruden denne langsigtede vision for international skibsfart har IMO defineret nogle retningslinjer (EEDI)¹², som skibe bygget efter 2013 skal efterleve. Med nye regler (EEXI og CII)¹³ vil eksisterende skibe fra 2023 også blive omfattet af kriterier for energieffektivitet, som de skal måles og monitoreres efter. Med forslagene i EU's 'Fit-for-55'-pakke fra 2021, herunder vedtagelsen af forslaget om at inkludere skibsfart i EU's kvotehandelssystem fra 2024, forventes skibsfarten fremover at bidrage til EU's klimamål for 2030 og 2050.

4.1.1 IMO's langsigtede strategi

IMO's klimastrategi indeholder mål for reduktion af sektorens udledninger, jf. tabel 1. IMO vedtog i juni 2021 de tiltag, som skal medvirke til at adressere strategiens 2030-mål, hvor det bl.a. blev aftalt, at der skal indføres et obligatorisk energimærke for skibe. Det er desuden aftalt, at IMO senest i sommeren 2023 skal vedtage en revideret klimastrategi. I forbindelse med revisionen af strategien vil Danmark arbejde for, at der inkluderes et konkret reduktionsmål om klimaneutral skibsfart i 2050.

Tabel 2: Klimamål i IMO's klimastrategi fra 2018

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

For at reducere skibsfartens drivhusgasudledninger vurderes der at være behov for at strategien udmøntes gennem ambitiøse reduktionstiltag, som kan fremme overgangen til nye grønne brændstoffer. Dette kan både være markedsbaserede tiltag, fx afgifter eller kvoter, som kan reducere den store prisforskel mellem grønne og fossile brændstoffer, og teknisk regulering af brændstoffernes udledning af drivhusgasser.

Forhandlingerne i IMO om revision af klimamål (som beskrevet i tabel 1) samt klimatiltag på mellemlang sigt frem mod 2050 blev påbegyndt i november 2021, og i sommeren 2023, parallelt med revision af strategien, forventes beslutning om hvilke reguleringsværktøjer, der skal arbejdes videre med. Den endelige godkendelse af reguleringstiltag på klimaområdet ventes at ske i 2025.

¹² Forkortelse for begrebet "Energy Efficiency Design Index". Begrebet beskrives senere i kapitlet

¹³ EEXI og CII uddybes senere i kapitlet



4.1.2 IMO stiller nye klimakrav til skibsfarten

Fra 2023 træder ny klimaregulering for international skibsfart i kraft, som gælder for alle fragt- og passagerskibe med størrelse på over 5.000 bruttotonnage (BT). Reglerne er vedtaget af IMO og omfatter både et design-teknisk kriterie samt et operationelt kriterie.

EEXI – Energy Efficiency eXisting ship Index

EEXI er et tal, der beregnes for det enkelte skib baseret bl.a. på skibets motorkraft, brændstoftype, størrelse og fart. For hver skibstype og størrelse findes en reference værdi, som ikke må overskrides. Hvis grænseværdien overskrides, skal der foretages justeringer, typisk i form af en begrænsning af motorens ydeevne, men andre energi-effektiviseringer 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. EEXI er en pendant til EEDI-kravet, der gælder for alle nybyggede skibe og som trådte i kraft i 2013. Alle skibe skal leve op til EEXI senest ved den årlige fornyelse af certifikater i 2023. Ved udgangen af 2023 vil alle skibe således være omfattet.

CII – Carbon Intensity Indicator

CII'en er det første operationelle krav til skibes CO₂ udledning. CII'en sammenligner på årsbasis skibets CO₂-udledning med det transportarbejde, der er udført, sidstnævnte målt som *deadweight tonnage milage* (DWT-mil) hvor dødvægten 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, 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 skal opfylde 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 5000 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 skal danne grundlag for de nye klimaregler, som er på vej under 'Fit-for-55'-pakken, og som er de første eksempler på regulering i EU, der har til formål at mindske udledningerne fra sektoren.

EU har tidligere adopteret en miljølov, der sætter grænser for svovlindholdet i skibsbrændstoffer.

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 nettodrivhusgasudledningerne i 2030 ift. 1990-niveauet samt klimaneutralitet i 2050. Pakken indeholder en række forslag til nye retsakter samt revisioner af nuværende retsakter, som adresserer alle led i omstillingen af skibsfarten. For så vidt angår skibsfarten, fremgår de relevante forslag i nedenstående boks 6.

Boks 6: Fit-for-55 på søfartsområdet

Aftaler

Revisionen af kvotehandelsdirektivet (ETS), som sætter en pris på CO₂-udledningerne, bliver fra 2024 udvidet til ligeledes at omfatte udledninger fra søfart. Skibe på mindst 5.000 BT (bruttotonnage) pålægges således en overvågnings-, verifikations- og rapporteringspligt samt kvotereturneringspligt fra 2024.

- Skibe på under 5.000 BT men over 400 BT forventes inkluderet i 2027.
 - Gradvis indfasning af kvotereturneringspligten (40% 2024, 70% 2025, 100% 2026).
- Rådet og EU-Parlamentet afsluttede forhandlingerne af forslaget i december 2022.

FuelEU Maritime skal sikre efterspørgslen efter alternative brændstoffer ved at opstille tekniske standarder for brændstoffernes udledninger. Skibe over 5.000 BT i EU pålægges et CO₂-fortrængningskrav stigende gradvist fra 2 pct. i 2025 til 80 pct. i 2050. I aftalen indgår ligeledes at container- og passagerskibe skal anvende landstrøm fra 2030 og at skibes brændstof som mål skal indeholde mindst 1 pct. elektrobrændstoffer (PtX) i 2030 og alternativt som krav skal indeholde 2 pct. elektrobrændstoffer (PtX) fra 2034. Rådet og EU-Parlamentet afsluttede forhandlingerne af forslaget i marts 2023.

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

Revisionen af direktivet for vedvarende energi (RED III) definerer hvilke alternative brændstoffer, der anses som "grønne alternativer" til de fossile kilder. Rådet og EU-Parlamentet afsluttede forhandlingerne af forslaget i marts 2023.

Igangværende forhandlinger

Revisionen af energibeskatningsdirektivet har til formål at beskatte brugen af fossile brændstoffer, herunder i søfarten. Der pågår fortsat forhandlinger mellem Rådet og EU-parlamentet omkring initiativet.

Kilde: 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/>

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. aktivite-

ten 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. de IMO-baserede data, jf. bilag 4.8.1. Det har blandt andet ikke været muligt at udtrække data specifikt for dansk opererede skibe, men alene for dansk flagede skibe samt for den samlede verdensflåde (der også indeholder de dansk flagede skibe). Desuden betyder den korte tidsserie for IMO-statistikken, at det ikke for nuværende er muligt at præsentere udviklinger i nøgletallene og indikatorerne.

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

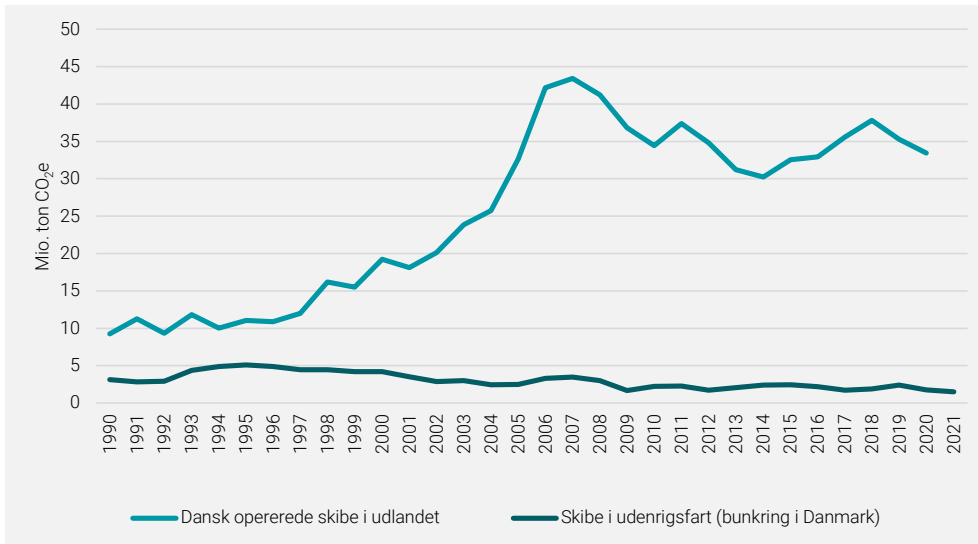
4.2.1 Udledning knyttet til bunkring i Danmark og i udlandet

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 m.m.

Figur 9 viser de samlede udledninger knyttet til bunkring (tankning af brændstof) i Danmark af skibe i udenrigsfart, uanset tilhørsforhold. Disse udledninger har siden 2010 varieret mellem 1,7 mio. og 2,5 mio. ton CO₂e. Desuden viser figuren udledninger knyttet til dansk opererede skibes bunkring i udlandet (data kun tilgængelige frem til 2020)¹⁴. Dansk opererede 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. Se nærmere om definition og afgrænsninger i afsnit 4.6.

¹⁴ Udledninger fra dansk opererede skibes bunkring i udlandet er baseret på indberetninger for udgifter til brændstof, som oversættes til brændstofmængder vha. relevante enhedspriser.

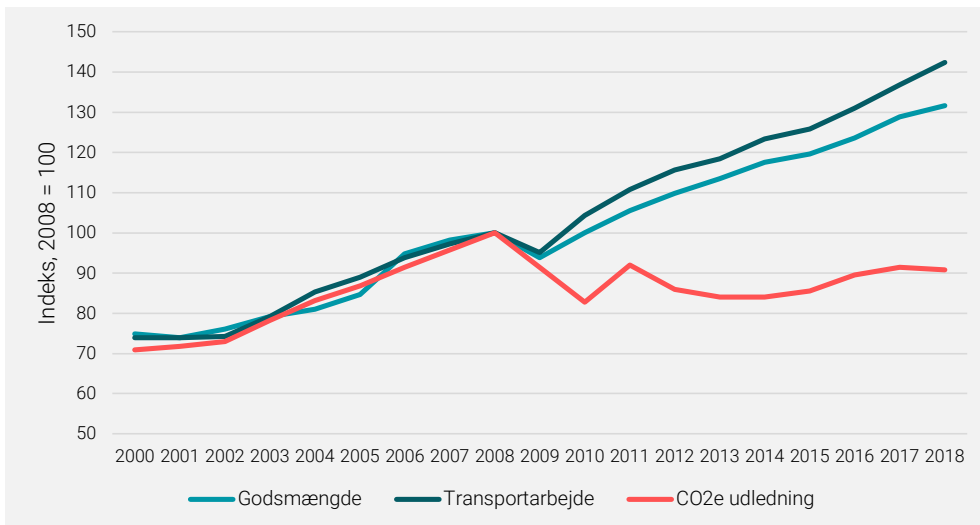
Figur 9: Udvikling i udledninger fra bunkring i Danmark fra skibe i udenlandsfart (både danske og udenlandske skibe) i perioden 1990-2021, samt fra dansk opererede skibes bunkring i udlandet i perioden 1990-2020.



Kilde: Danmarks Statistik, 2022; Energistyrelsen, 2022.

Som det fremgår af figur 9, har der i perioden 1990-2007 været en betydelig stigning i udledningerne fra dansk opererede 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, og udviklingen i udledningerne følger samme tendens som udledningerne fra den samlede verdensflåde, som IMO opgør cirka hver femte år, jf. figur 10. Det bemærkes, at udledningerne fra dansk opererede skibe også vil påvirkes i det omfang, at der sker ændringer i den danske handelsflådes markedsandele. Faldet i udledningerne i 2020 hænger formentlig sammen med covid-19 og den deraf mindre aktivitet og efterspørgsel på transport af varer.

Figur 10: Vækst i skibsfartens fragtede mængder og udledninger indekseret ift. 2008, der er baseline for IMO's strategi fra 2018. 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, 2021).

Ovenstående 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.

En række nøgletal og indikatorer er præsenteret i tabel 2. Formålet er at give et overblik over størrelsesordner og den overordnede sammensætning af skibe fordelt på IMO's skibskategorier. Data er angivet både for dansk flagede skibe og for den globale flåde (inkl. dansk flagede skibe) for årene 2019-2021. Flådestørrelsen er angivet i antal skibe og DWT ("Dead Weight Tonnage"), som er et mål for skibets lasteevne eller kapacitet i ton (last plus brændstof). Endvidere anføres det samlede antal sejlede sømil, samt det hertil svarende potentielt maksimale transportarbejde (DWTxSømil). Databasen indeholder ikke information om kapacitetsudnyttelse, hvilket giver anledning til udfordringer, da DWT alene er et udtryk for skibenes maksimale lasteevne. Det betyder, at et skib, der sejler med fuld last det meste af året, vil have et større energiforbrug og tilsvarende flere CO₂ udledninger, end et skib, der i perioder sejler tomt eller halvtomt, da det fuldtlastede skib er tungere og derfor anvender mere brændstof pr. sejlet distance. Men de fyldte skibe er dog mere energi- og klima-effektive end de mindre fyldte, hvis der måles på energiforbrug og udledning pr. ton fragtet vare.

Tabel 2: Opgørelser for danskflagede skibe og verdensflåden (skibe over 5.000 BT).

År	Skibstype	Antal skibe		I alt mio. DWT		I alt mio. Sømil		I alt mia. DWTxSømil		I alt mio. ton CO ₂	
		Dansk	Globalt	Dansk	Globalt	Dansk	Globalt	Dansk	Globalt	Dansk	Globalt
2019	Passager- og bilfærger	23	477	0,1	2,3	1,9	33,4	7	168	0,7	17,9
	Fragtskibe	22	3.790	0,3	65,7	1,5	212,4	21	3.915	0,6	59,2
	Containerskibe	154	4.945	17,8	288,7	13,9	347,6	1.660	22.832	10,3	187,3
	Bulkskibe	29	12.002	0,9	931,5	1,5	612,0	47	51.372	0,5	231,5
	Tankskibe	138	7.381	5,4	650,4	6,3	341,8	277	34.213	1,7	148,1
	Krydstogtskibe	-	281	-	2,2	-	22,5	-	189	-	23,0
	Specielle skibe	22	1.050	0,1	21,9	0,3	28,0	1	838	0,2	15,1
2019	Total	388	29.926	24,6	1.962,6	25,4	1.597,7	2.013	113.527	14,0	682,0
2020	Passager- og bilfærger	19	519	0,1	2,6	1,3	26,5	4	155	0,5	14,2
	Fragtskibe	31	3.905	0,4	71,2	1,9	198,5	24	3.757	0,7	54,4
	Containerskibe	149	4.961	17,8	292,3	13,3	336,1	1.649	22.554	10,0	180,6
	Bulkskibe	30	12.469	1,1	978,7	1,5	641,0	49	54.191	0,5	261,8
	Tankskibe	177	7.515	7,5	657,8	7,0	338,2	312	33.552	2,1	149,2
	Krydstogtskibe	-	258	-	2,0	-	7,2	-	60	-	10,5
	Specielle skibe	24	1.038	0,2	17,9	0,3	26,9	5	668	0,2	14,3
2020	Total	430	30.665	27,0	2.022,6	25,4	1.574,3	2.043	114.938	13,9	685,0
2021	Passager- og bilfærger	23	524	0,1	2,6	1,4	28,1	5	159	0,5	15,0
	Fragtskibe	27	3.962	0,3	74,5	1,9	205,2	24	4.047	0,8	87,1
	Containerskibe	140	5.262	17,2	307,1	11,9	347,5	1.545	23.232	9,5	202,4
	Bulkskibe	39	13.220	1,8	1.054,2	2,0	663,7	82	57.044	0,7	251,1
	Tankskibe	194	7.647	9,2	664,4	8,5	334,2	406	32.417	2,4	134,4
	Krydstogtskibe	-	262	-	2,1	-	6,5	-	60	-	10,3
	Specielle skibe	23	1.084	0,1	19,0	0,3	30,9	1	744	0,2	25,1
2021	Total	446	31.961	28,8	2.123,8	25,8	1.616,1	2.064	117.703	14,1	725,4

Kilde: IMO-DCS, 2023.

Tabel 2 bygger på overordnede kategorier af skibstyper. 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 dansk flagede flåde i kategorien "bulkskibe" dæk-

ker 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 dansk flagede skibe i 2021 stod for omkring 6,2 pct. af transportarbejdet men 4,5 pct. af udledningerne fra verdensflådens containerskibe. En del af forklaringen bag dette ligger formentligt i, at en større andel af de dansk flagede containerskibe er blandt de største skibe i kategorien. Man skal således være varsom med direkte sammenligninger af de dansk flagede skibe ift. verdensflåden og fortolkninger skal ske med de rette forbehold.

Tabel 3 viser en oversigt over indikatorer, som udtrykker den gennemsnitlige effektivitet for hver skibskategori beregnet samlet for årene 2019, 2020 og 2021 for hhv. dansk flagede skibe og for den samlede verdensflåde (inkl. de danskflagede skibe). Tallene og indikatorerne skal ses med samme forbehold som nævnt ovenfor vedrørende tilgængelighed og detaljeringsgrad af data fra IMO.

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

Tabel 3: Effektivitetsindikatorer for danskflagede skibe og verdensflåden

Middel 2019-2021 Skibstype	Middel DWT		Ton CO ₂ per Sømil		g CO ₂ per DWTxSømil	
	Dansk	Globalt	Dansk	Globalt	Dansk	Globalt
Passager- og bilfærger	3.568	4.944	0,367	0,534	103,9	97,5
Fragtskibe	11.882	18.133	0,389	0,326	30,2	17,1
Containerskibe	119.182	58.552	0,760	0,553	6,1	8,3
Bulkskibe	38.378	78.650	0,330	0,388	9,3	4,6
Tankskibe	43.525	87.503	0,288	0,426	6,3	4,3
Krydstogtskibe	-	7.739	-	1,210	-	141,8
Specielle skibe	6.422	18.549	0,747	0,636	84,2	24,2
Total	63.559	66.006	0,549	0,437	6,9	6,0

Kilde: IMO-DCS, 2023.



Små skibe udleder generelt mindre CO₂ per sejlet distance end større skibe inden for samme segment, men præsterer til gengæld dårligere, når man tager højde for, hvor meget de kan transportere, dvs. per transportarbejde. Det fremgår eksempelvis af tabellen, at dansk flagede containerskibe er ca. dobbelt så store som verdensflådens gennemsnit, og at udledningerne er ca. 25 pct. lavere per transportarbejde set ift. gennemsnittet for verdensflåden. Omvendt ses dansk flagede fragtskibe, bulkskibe og tankskibe i gennemsnit at være ca. halvt så store (målt i DWT) ift. verdensflåden, mens udledningerne per transportarbejde er mellem ca. 45-102 pct. højere.

Det skal understreges, at størrelsen ikke er den eneste faktor, der har betydning for skibenes effektivitet, og disse faktorer kan indgå med forskellig vægt i dansk flagede skibe ift. verdensflåden. Energiforbruget, og dermed effektiviteten, afhænger bl.a. af design og teknologi, sejlhastighed, typen af sejlruiter, antal havne der anløbes, ventetider for anker, køling eller opvarmning af last, hvordan skibet losses (selvlossende eller med landudstyr), mv. Derudover kan der være fejl i de enkelte indberetninger.

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

4.2.2 Opsamling

Overordnet set har en generel global økonomisk vækst og øget efterspørgsel på transportydelse betydet, at udledningerne fra verdensflåden er steget de sidste årtier, men som det fremgår af figur 10, har der i perioden omkring 2011-2018 været en afkobling af udledningerne ift. væksten i transportarbejdet. Der er cirka 1.900 dansk opererede skibe, og de udgør omkring 4,1 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 dansk opererede skibe, ud over den generelle globale vækst, påvirkes af ændringer i den danske handelsflådes markedsandele.

De samlede udledninger forbundet med bunkring i Danmark fra skibe i udenrigsfart, uanset skibets tilhørsforhold, har siden 2010 ligget på 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-udledningen¹⁵. BC er ikke en drivhusgas men et sundhedsskadeligt biprodukt, der opstår ved en ufuldstændig forbrænding. BC består af sorte sodpartikler, der absorberer energi fra sollys og overfører den som varme til omgivelserne. Når BC deponeres på snedækkede overflader, mindskes refleksionen af sollys, hvilket giver en opvarmende effekt. BC medfører derfor særligt problemer i Arktis, fordi partiklerne, ud over det direkte bidrag til opvarmning af atmosfæren, accelererer afsmeltningen. Der har de seneste årtier været en nedadgående trend i udledningen af BC i flere regioner på den nordlige halvkugle.

Udledningen af BC fra forbrændingsmotorer er afhængig af bl.a. brændstoftype, motor- og efterbehandlingsteknologi samt motorens slitage og belastning. HFO (Heavy Fuel Oil) anses for at medføre den største udledning af BC. Destilleret olie (Marine diesel) udleder mindre BC, hvorimod LNG samt PtX-brændstoffer som metanol og ammoniak udleder lidt eller ingen BC.

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

4.4 Indsatser

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 stiller særlige krav til motorteknologier og brændstoffer. Ikke mindst stiller omstillingen 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. klimamålsæt-

¹⁵ ICCT (International Council on Clean Transportation), "Greenhouse Gas Emissions from Global Shipping, 2013-2015", (2017). Ifølge rapporten, der har indregnet effekten af BC, udgør BC 7 pct. af de totale CO_{2e}-udledninger på en 100 års skala og 21 pct. på en 20 års skala.



ning 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.

Nedenfor i boks 7 er et eksempel på, hvordan en dansk aktør arbejder for at mindske klimabelastningen fra skibsfarten, og i boks 8 beskrives en række PtX-projekter i Danmark, som er målrettede både luft- og skibsfarten.

Boks 7: MHO-CO A/S installerer brændselscelle ombord på et hybridskib

MHO-CO A/S i Esbjerg leverer transportydelser til offshore operatører, heriblandt offshore vindindustrien. Her har MHO 5 skibe, såkaldte Crew Transfer Vessels (CTV'er), som er specifikt designet til persontransport af personale, hvor vejforholdene kræver specialiserede skibe. Virksomhedens erklærede mission er at drive omstillingen mod en CO₂-neutral verden sammen med sine samarbejdspartnere.

Den klimamæssige opgave for MHO-CO er at implementere løsninger, som kan minimere udslippet af drivhusgasser fra sejladserne af CTV'er. Som et første skridt blev der investeret i to hybridskibe. I fjerde kvartal af 2021 tilbagelagde et af hybridskibene 4.6274627 sømil, alt imens søsterskibet, som ikke er et hybridskib, sejlede 4.4954495 sømil. Brændstofforbruget på de to skibe var henholdsvis 133.834 liter Marine gasoil (MGO) og 154.423 liter MGO. Hybridskibet viste således en brændstofbesparelse på ca. 15%. Som et næste skridt vil MHO-CO investere i endnu et dieselelektrisk skib og brændstoftankene bliver forberedt til metanol, idet MHO-CO forventer at udskifte generatorerne helt eller delvist med metanolmotorer. Det vil potentielt kunne gøre hele skibets operation fossilfri. Som et nyt tiltag i omstillingen af et af hybridskibene skibet har MHO-CO investeret i en 200 kW brændselscelle, som skal omsætte brint ombord til elektricitet. Det forventes, at brændselscellen installeres i foråret 2023, hvor den skal overtage al energiforsyning til skibet, når det er standby ved vindmølleparken. Her kan brændselscellen alene være drivkraft til at lade skibet sejle ved lavere hastigheder ved vindmøllerne. Det betyder, at skibet kan slukke de fossile motorer og benytte brint i stedet for MGO, hvilket fjerner udledningen af drivhusgasser og partikler. Med den nye brændselscelle ombord forventes således yderligere besparelser i brændstofforbruget. En brændselscelle er sensitiv over for bevægelse og et CTV-skib udsættes for mange pludselig bevægelser og store accelerationer. Derfor kan forsøget med brændselscellen give vigtig viden for andre aktører i branchen og være led i at afdække de potentialer og udfordringer der er knyttet til brændselsceller i skibe.

Brinten ombord stiller dog også en række krav. Brint er et flygtigt og brændbart produkt, som kan være vanskeligt at håndtere. Dette giver MHO-CO udfordringer omkring bunkring, opbevaring ombord, rørsystemer, overvågning, brand isolering/bekæmpelse samt ventilation. MHO-CO A/S har i forbindelse med implementering af brændselscellen fået støtte fra Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP).

Kilde: MHO-CO

Boks 8: PtX projekter i Danmark

Green Fuels for Denmark er et projekt, der stiler mod at reducere CO₂-udledningerne fra international sø- og luftfart. En sammenslutning af virksomheder ønsker med projektet at etablere 1,3 GW elektrolysekapacitet i 2030 til produktion af PtX-brændstoffer til bl.a. skibs- og luftfart. Projektet er inddelt i tre faser. Første fase med 10 MW forventes klar i 2025, mens fase 2a på 100 MW og fase 2b med 300 - 350 MW forventes klar i hhv. 2026 og 2029. Tredje fase er de fulde 1,3 GW i 2030. Anlægget har til formål at forsyne projektselskabernes busser, lastbiler, skibe og fly med brint, metanol og jet-fuel, mens overskudsvarmen fra PtX-produktionen skal udnyttes som fjernvarme. I produktionen af metanol og jet-fuel er der behov for at tilføre kulstof, som skal indfanges fra røggassen fra Avedøreværkets halmfyrede enhed.

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

Der er endnu ikke truffet investeringsbeslutning for alle projektets faser, men projektet er blandt de to danske projekter, som har fået tildelt støtte gennem IPCEI (Important Projects of Common European Interest), fordi det betegnes som et vigtigt projekt af fælles europæisk interesse om brint. Projektet modtager 600 mio. kr., som kan realisere de første faser op til 300 MW. Der er indgået aftale med HOFOR om at modtage strøm fra 250 MW havvind fra Aflandshage såfremt både havvindmølleparken og Green Fuels for Denmark gennemføres. Partnerskabet bag projektet består af Ørsted, DSV Panalpina, SAS, DFDS, Copenhagen Airports, Mærsk, Nel, Everfuel og Topsoe.

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

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

Bag projektet står Copenhagen Infrastructure Partners (CIP)..

Kilde: Energistyrelsen

4.5 Teknologisk udvikling

Klimaneutral skibsfart kræver en gennemgribende teknologisk omstilling på tværs af hele værdikæden. Nye drivmidler skal produceres i nødvendige mængder, havnene skal på globalt plan kunne udbyde og håndtere de nye drivmidler på en sikker måde, og skibenes fremdriftsteknologier skal kunne anvende de nye drivmidler.

En analyse af innovationsbehovet for klimaneutral skibsfart, udarbejdet for Søfartsstyrelsen i 2021, viser, at mange af de nye teknologier er langt i deres udvikling og teknologisk modne inden 2030. Der er imidlertid behov for væsentlige tiltag, som skal



sikre den endelige færdigudvikling og gøre dem kommercielt klar og levedygtige. Det gælder videreudvikling ift. teknologiernes effektivitet, sikkerhed og brugbarhed, men også øget konkurrencedygtighed ift. de billigere konventionelle teknologier og fossile brændstoffer.

Omstillingen til de potentielle løsninger på drivmiddelssiden er dog ikke uden udfordringer, og som det gælder generelt for transportsektoren, er det ikke forventningen at det er én løsning, der alene vil kunne erstatte den fossile olie. Indtil der kommer en mere endelig løsning for de klimaneutrale brændstoffer er en del af de internationale rederier, som satser på gasdrevne skibe, hovedsageligt i form af LNG (Liquefied natural gas) som et fossilt overgangsbrændstof. Ifølge Dansk Gas Center¹⁶ er 2 pct. af brændstofforbruget i global skibsfart i dag LNG, og der er ca. 300 kommercielle LNG-skibe, der benytter LNG som brændstof (inklusive bekræftede ordrer) og dertil ca. 500 LNG-tankere, der transporterer LNG fra produktionsstedet til forbrugsstedet og samtidig selv benytter LNG som brændstof. LNG udleder isoleret set mindre CO₂ end traditionel bunkerolie, men er fortsat et fossilt brændstof og derfor forbundet med betydelige udledninger af drivhusgasser. Desuden er LNG forbundet med problemer ift. metanudslip, der er en potent drivhusgas (Englert, 2021). Problemer med metanudslip fra motoren er desuden ikke løst ved at overgå til grønne gasser (LBG Liquefied Biogas), og samtidig er ressource grundlaget for produktion af LBG stærkt begrænset ift. at kunne erstatte LNG-behovet

Grøn ammoniak (baseret på VE-strøm) har potentielt store anvendelsesmuligheder i skibsfarten, men er samtidig udfordret. Det gælder ift. produktionsvolumen, der kræver store anlæg med stabil forsyning af energi baseret på VE. Desuden kan ammoniak lede til udledninger af lattergas (som er en cirka 265 gange kraftigere drivhusgas end CO₂), og da ammoniak både er giftigt og ætsende, skal håndtering være sikker. Der er endnu ikke en ammoniakmotor i kommerciel drift, men fx arbejder et dansk konsortium støttet af Innovationsfonden og ledet af motorudvikleren MAN Energy Solutions på projekt AEngine. Sammen med det danske firma Eltronic FuelTech, Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og klassifikationselskabet DNV GL arbejdes der med at konstruere og demonstrere en to-takts ammoniakmotor til skibsbranchen. Motoren skal efter planen være klar i 2024. Ifølge MAN Energy Solutions skal dette i 2025 følges af et eftermonteringsystem til gradvis ombygning af eksisterende skibe (Innovationsfonden, 2023).

Der arbejder med batteridrift og brændselsceller. En række skibe er i dag omstillet til eldrift, herunder også et par danske skibe og færger, og mange ruter er i gang med en omstilling til el. I national sammenhæng har Transportministeriet i 2021 udmøntet cirka 230 mio. kr. primært til omstilling af færger til eldrift. Yderligere 50 mio. kr. er udmøntet i 2022. Længere ruter fx færger mellem Danmark og Tyskland har indført

¹⁶ DGC "Implementering af flydende metan i Danmark" oktober 2020



eller er i gang med at idriftsætte hybridfærger. Endelig arbejder flere aktører på at benytte brændselsceller og derved altså brint som brændsel. I forhold til hurtigfærger er Transportministeriet ved at udarbejde en særskilt rapport om mulighederne for at omstille disse.

Endelig er der en lang række design- og funktionsmæssige tiltag, der hver især kan øge skibenes effektivitet – både ift. hydro-/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 GA23.

Behandlingen af international skibsfart i GA23 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 kan gentages i kommende afrapporteringer og udviklingen dermed kan følges. Se bilag 4.8.1 for hhv. datakilder og en mere detaljeret gennemgang af metoden for opgørelse af udledningerne i form af en række nøgletal og indikatorer.

”Dansk relaterede udledninger” kan afgrænses på flere måder. Det kan eksempelvis være ud fra skibsregister (flagstat), ejerskab (hvor skibets ejer er registreret), operatør (hvor skibets operatør er registreret), rute (til/fra Danmark), ejerskab for gods/varer eller bunkring (hvor brændstoffet tankes).

Der anvendes i dag en række forskellige afgrænsninger og definitioner af dansk relateret aktivitet i gældende ordninger og statistiske opgørelser, hvoraf følgende kan nævnes:

- Danskflagede skibe: Dette er den snævraste definition og omfatter skibe, der sejler i Danmark og internationalt under dansk opsyn. Skibene er således registreret i Skibsregisteret under enten DIS (Dansk Internationalt Skibsregister) eller DAS (Skibsregistret). Skibene behøver ikke være dansk ejede, 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 tilhørsforhold¹⁷.

I GA23 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 gods¹⁸. Afgrænsningen går således alene på den territoriale eller geografiske tilknytning gennem bunkring i Danmark. I den anden opgørelse af udledningerne går afgrænsningen på dansk opererede skibes bunkring i udlandet, dvs. udledninger fra aktiviteter, der har en virksomhedsøkonomisk tilknytning til den danske nationaløkonomi. Størstedelen af disse udledninger vil være forbundet med aktiviteter uden for Danmarks grænser. I den sidste afgrænsning opgøres aktiviteter og udledninger for dansk flagede skibe og for den samlede globale flåde.

4.7 Overvejelser om udvikling til fremtidige globale afrapporteringer

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

¹⁷ Udledninger fra udenrigssøfarten indberettes til FN på trods af, at de ikke er omfattet af reduktionsforpligtelserne ift. FN's Klimakonvention.

¹⁸ Det tilgængelige data giver ikke mulighed for at skelne mellem disse forhold.

at beregne en CO₂-intensitet per mængde vare importeret henholdsvis eksporteret med skib.

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

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

Danmarks Statistik (2022): Data udtrukket via Statistikbanken november 2022 fra Danmarks Statistiks database, der løbende opdateres.

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

Energistyrelsen (2022): *Energistatistik 2021*. Energistyrelsen <https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energistatistik2021.pdf>. 2022-10-14

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)

Europakommissionen (2021): *Forslag til EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS FORORDNING om sikring af lige konkurrencevilkår for bæredygtig lufttransport*. Europakommissionen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0561>
2022-03-23

Europakommissionen (2022): *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



IATA (2022): 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.

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 (2022a): Aviation, IEA. <https://www.iea.org/reports/aviation>. 2022-12-01

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

IMO (2021): *Fourth IMO GREENHOUSE GAS STUDY 2020*. Download 2022-03-23. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>. 2022-03-23.

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

Klimapartnerskab for luftfart (2021): *Klimapartnerskab for luftfart, Sektorkøreplan. Regeringens klimapartnerskaber*. <https://em.dk/media/14289/sectorkoereplan-for-klimapartnerskab-for-luftfart.pdf>
Download 2022-03-23.



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 León 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 und Köln
Jonathan Schwiager, Urs Brodmann, Claudia Kurzböck, Mischa Repmann and Nadin Schweizer
First Climate (Switzerland) AG, Zürich. Environmental Research of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. 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.

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 (2021): *OECD and the Netherlands warn against LNG as a transitional fuel to reach climate goals*, 2021-05-21
Shippingwatch: <https://shippingwatch.com/regulation/article12994209.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 (2022): Udtræk fra Luftfartsstatistikken leveret november 2022 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 GA23 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 ankommande 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 GA23. 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 udenrigs-flyvninger (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 ankommende 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:

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

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:

$$e_t^{CO2eq} = e_t^{CO2} + 25 \cdot e_t^{CH4} + 298 \cdot e_t^{N2O}$$

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

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

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 olie-selskaberne. 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 afgrænsning, som anvendes for opgørelsen af BNP. Opgørelsen er baseret på selskabernes indberetninger af udgifter til brændstof, som oversættes til brændstofmængder ved hjælp af relevante enhedspriser.

Data er offentliggjort i Statistikbanken for perioden 1990-2020 opgjort enten som 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 5000 BT eller derover er forpligtet til at indrapportere skibenes årlige forbrug af forskellige brændstoffer til IMO's GISIS Ship Fuel Oil Consumption database, der udgør en del af IMO's Data Collection System (IMO-DCS). Første rapporteringsår er 2019 og databasen indeholder indtil videre indrapporteringer til og med 2021. Dataudtrækket til denne rapport er foretaget den 9. januar 2023.

De enkelte skibe er identificeret ved skibets IMO nr. (eller anonymiseret ved et skibsnr.), 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 GA23, 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

Kilde:

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

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

hvor

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

Det samlede antal skibe i flåden er:

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

Udledningen per skib i beregnes som:

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

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

Den samlede årlig udledning fra skibe af typen t bliver

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

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

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

Databasen indeholder ikke information om de faktisk transporterede godsmængder. Det årlige "transportarbejde" per skib, $dwrnm$, 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:

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