

IDAs Klimaplan **2050**

FAGLIGT NOTAT



Forventede effektivitetsforbedringer i luftfarten

Forventede effektivitetsforbedring i luftfarten - frem til 2030 og 2050

Af Jacob Sørensen¹

Indledning

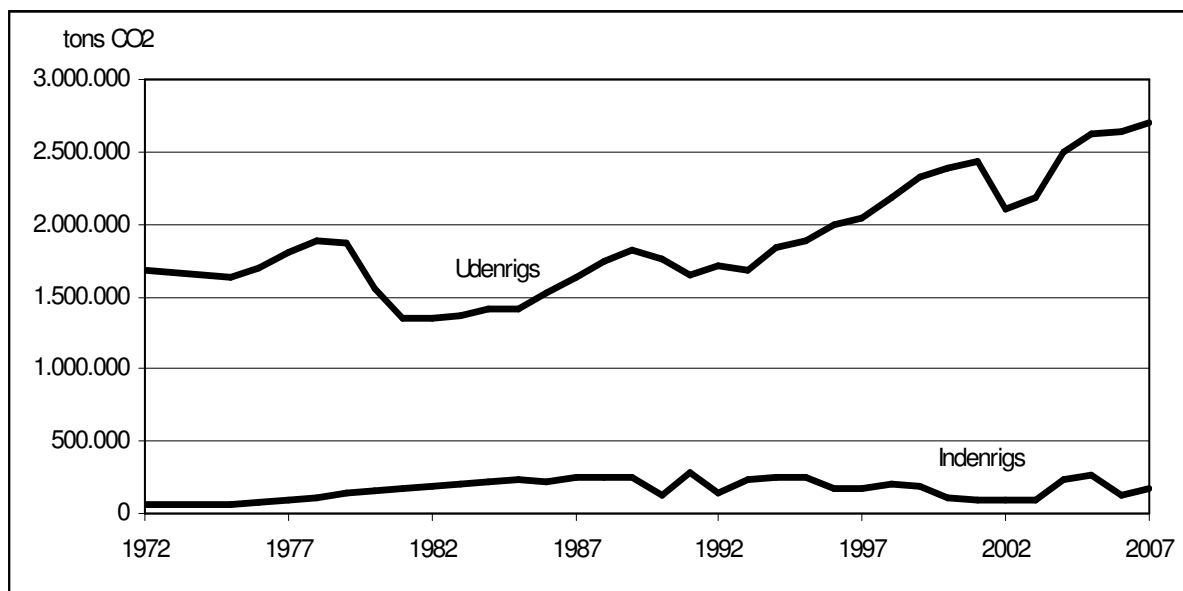
Udviklingen i luftfartens påvirkning af klimaet er i stor grad afhængig af den internationale udvikling. Luftfart anses således som et område, der er vanskelig at regulere på nationalt plan. I nedestående forventes således, at udviklingen i dansk luftfart vil ske i tråd med den internationale udvikling. Dog forventes en regional regulering af korte ruter, der nemt kan gennemføres med tog.

Klimabelastning i dag

De nyeste tal for udledning af CO₂ fra dansk luftfart fremgår af Energistyrelsens årlige Energistatistik. Statistikken opgøres på baggrund af brændstof bunkret i danske lufthavne. Det vil i princippet sige alle indenrigsfly samt udgående udenrigsfly. Den nyest Energistatistik er fra 2007².

I Figur 1 ses udviklingen i luftfartens udledning af CO₂ siden 1972. Den årlige stigning har i gennemsnit været ca. 1,5 procent i perioden både for indenrigs- og udenrigsbeflyvningerne. Ujævnhederne på grafen skyldes formentligt først og fremmest økonomiske faktorer. Det er rimeligt

Figur 1. Udledningen af CO₂ fra dansk luftfart siden 1972. En regressionsanalyse for perioden 1972-2007 giver en årlig stigning på 1,5 procent for indenrigs og udenrigs sammenlagt. Stigningen har været kraftigst siden starten af '90-erne.



¹ De faglige notater udarbejdes af forskellige eksperter i forbindelse med klimaprojektet og afspejler ikke nødvendigvis IDAs holdninger

² Energistatistik 2007, http://ens.dk/graphics/Energi_i_tal_og_kort/statistik/aarsstatistik/Statistik%202007/Tab2007.xls

at forvente, at sådanne svært forudsigelige fluktuationer vil fortsætte i fremtiden. Den årlige stigning siden 1990 har været 2,9 procent i udenrigsfarten, mens indenrigsfarten er faldet med 2,0 procent.

Luftfarten påvirker det globale klima med andet end CO₂, dvs. NO_x (nedbrydes til ozon og metan), H₂O, SO_x, sod og kondensskyer. Den nyeste assessment-rapport fra IPCC³ har beregnet, at luftfartens klimapåvirkning er 1,9 til 4,7 gange større end selve udledningen af CO₂ fra luftfart som helhed. Et "bedste bud" gives ikke. Denne værdi tager udgangspunkt i Radiative Forcing Index (RFI). Assedsment-rapporten beregner også Emission Weighing Factor (EWT) til mellem 1,2 og 2,7. EWT har en indbygget forsinkelse, hvorfor RFI er en mere relevant matrix for klimapolitiske beslutninger, der omhandler de kommende årtier⁴.

Det er vores vurdering, at målsætningen med IDAs strategi for reduktion af udledning af klimagasser frem til 2050 er langsigtet – forstået på den måde at det er den primære målsætning at få klimaændringerne stoppet, mens det er en mindre del af målsætningen at reducere hastigheden, hvormed klimaændringerne udvikler sig de kommende årtier. Derfor har vi valgt at tage udgangspunkt i EWT til at bestemme luftfartens samlede klimapåvirkning. I det følgende vil vi derfor bruge en multiplikationsfaktor på 2, dvs. midtpunktet mellem de to yderpunkter for IPCC's EWT-interval.

Multiplikationsfaktoren skal betragtes som en gennemsnitsfaktor for den samlede globale luftfart. Korte ruter, fx dansk indenrigs, hvor maskinerne ikke kommer så højt op som på de lange ruter, vil – alt andet lige – påvirke klimaet mindre per udledt CO₂ end gennemsnittet. Omvendt vil lange ruter – med en gennemsnitsbetragtning – påvirke klimaet mere per udledt CO₂ end gennemsnittet. Erstatte flere korte ruter i fremtiden med fx tog, vil andelen af lange ruter stige, og den resulterende multiplikationsfaktor vil blive større.

I Tabel 1 er dansk luftarts samlede klimapåvirkning vist på baggrund af multiplikationsfaktoren 2.

Tabel 1. Udledning af CO₂ og samlede klimapåvirkning fra dansk luftfart i 2007

	Indenrigs	Udenrigs	I alt
Tons CO ₂	175 000	2 701 000	2 876 000
Tons CO ₂ -ækv.	350 000	5 403 000	5 753 000

Effektivitetsforbedringer

Brændstoffektivisering af luftfartens trafikarbejde kan deles op i to områder:

1. *Trafikstyring og operationelle forbedringer.* Det vil sige koordinering og kontrol af luftrommet, fjernelse af overflødig vægt, optimering af flyenes hastighed, mindre brug af hjælpe-generatoren, når flyet er på landjorden, bedre kabinefaktor og udnyttelse af lastpotentialiet osv.
2. *Tekniske forbedringer af flyene.* Den gennemsnitlige brændstoføkonomi forbedres, når nye mere effektive fly bliver sat ind. Forbedringer af nye fly sker fx gennem forbedringer af mo-

³ IPCC Fourth Assessment Report, Working Group I Report "The Physical Science Basis", kapitel 2.6

⁴ http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/download/Grassl_Brockhagen.pdf

torerne og aerodynamiske (airframe) forbedringer. Det kan være forbedringer af allerede introducerede modeller eller retrofitting af fly, der allerede er i drift.

Effektivitetsforbedringer frem til 2030

Det engelske Department for Transport (DfT) har lavet en prognose for engelsk luftfart⁵, som nedenstående betragtninger bygger på. Betragtningerne over brændstofeffektivitet tager udgangspunkt i sæde-kilometer. Det er dog enkelte steder uklart, om der er tale om sæde-kilometer eller person-kilometer.

På side 63-64 i DfT's rapport kan man se en oversigt over forskellige studier over historiske og fremtidige forbedringer.

Effektiviteten af nye flytyper bestemmes frem til 2020 med udgangspunkt i producenternes egne specifikationer af fly på tegnebrættet. Fx forventes Airbus A350 og Boeing B787 at være 20 procent mere effektive end deres nærmeste forgængere fra starten af dette årti. A380 vil være 12 procent mere effektiv end Boeing 747-400.

Mindre jettfly som Embraer 170, 175 og 190 samt Bombardier CRJ900 forventes også at blive mere effektive end deres nærmeste forgængere. Det forventes, at Embraer-flyene vil være syv procent mere brændstofeffektive. Bombardier vil være mindst ti procent mere effektive.

Udviklingen af nye flytyper tager lang tid. Men det er sandsynligt, at flytyper, der ikke på nuværende tidspunkt er på tegnebrættet, vil blive introduceret før 2030. Det er ACARE's⁶ mål, at nye fly skal være 50 procent mere energieffektive i 2020 set i forhold til 2000⁷. 20 til 25 procent skal komme fra forbedringer af aerodynamikken (airframe). 15 til 20 procent fra forbedringer af motorerne. Og fem til ti procent fra bedre styring af flytrafikken. Udgangspunktet er brændstofforbrug per personkilometer. NASA har tilsvarende forventninger til fremtidens amerikansk producerede fly.

Da flybranchens mål gælder for nye fly, er det nødvendigt at forudsige sammensætningen af flåden for at give et samlet skøn over forbedringer af effektiviteten i fremtiden. Sammensætningen vil i høj grad afhænge af omkostningerne ved at købe eller lease fly, omkostninger til at drive og vedligeholde flyene, flyenes egnethed til at opfylde de rejsendes behov og flyproducenternes evne til at levere flyene (herunder udviklingen i produktion af og pris på råstoffer til fly).

DfT forventer, at fem procent af flyene i drift i 2020 vil opfylde ACARE's målsætning for nye fly i 2020. DfT regner med, at de nye fly vil bruge 40 procent mindre brændstof (da fem til ti procent af forbedringerne vil komme fra bedre styring af flytrafikken ift. 2000-niveauet). Dette giver god overensstemmelse med IPCC's middelpåsigelse, der forudsiger en brændstofforbedring på mellem 6-12 procent i perioden 2006-2019. Ni procent forbedring i perioden giver 0,72 procent p.a. DfT

⁵ UK Air Passenger Demand and CO2 Forecasts, november 2007,

<http://www.dft.gov.uk/pgr/aviation/atf/ukairdemandandco2forecasts/airpassdemandfullreport.pdf>

⁶ Advisory Council for Aeronautics Research in Europe har bl.a. medlemmer fra luftfartsbranchen, Kommissionen og nationale ministerier

⁷ 2008 Addendum to the Strategic Research Agenda, Advisory Council for Aeronautics Research in Europe (ACARE), http://www.acare4europe.com/docs/ACARE_2008_Addendum.pdf

forventer i den centrale prognose, at andelen af fly, der opfylder ACARE-målene, vil stige til 25 procent i 2030.

Tabel 2 Årlige gennemsnitlige brændstofforbedringer frem til 2030. Kopieret fra tabel 3.4 i DfT's rapport

År	Årlige gennemsnitlige forbedringer i brændstoffeffektivitet	
	DfT 2007	IPCC 1999
2005-2010	0,8 %	1,30 %
2010-2020	1,6 %	1,00 %
2020-2030	0,6 %	0,50 %
2005-2010	0,8 %	1,30 %
2005-2030	1,0 %	0,90 %
Samlet 2005-2030	29,7 %	33,00 %

Tabel 2 viser de forventede brændstofforbedringer for den samlede flyflåde mellem 2005 og 2030. En samlet effektivitetsforbedring på 30 procent er i god overensstemmelse med andre studier af udviklingen af luftfarten frem til 2030.

Effektivitetsforbedringer mellem 2030 og 2050

Vi kender ikke til projektioner af brændstoffeffektivitet, der specifikt handler om post-2030. IPCC vurderer, at effektiviteten vil forbedres med 0,5 procent p.a. efter 2021. DfT regner med en effektivitetsforbedring på 0,75 procent, da andelen af fly, der opfylder ACARE-målsætningen, fortsat vil stige. Med 0,75 procent effektivisering p.a. bliver den samlede forbedring 15,3 procent mellem 2030 og 2050.

Klimaeffekt fra luftfarten frem til 2030

I IDAs Energiplan 2030 fra 2006 nævnes, at man på EU-plan arbejder med en vækst i energiforbruget på 4 procent p.a. i årene 2008 til 2012, hvis intet foretages. Samtidigt vurderer EU-Kommissionen ifølge energiplanen, at denne vækst kan halveres, hvis luftfarten underlægges handelssystemet med CO₂-kvoter (EU ETS). Kilden til disse værdier er rapporten *Giving wings to emission trading*⁸. Denne rapport, der blev lavet før EU's beslutning om at inddrage luftfart i EU ETS fra 2012, opstiller en række scenarier for udviklingen ud fra forskellige antagelser. I rapporten findes der således forskellige bud på, hvordan væksten i CO₂-udledningen fra luftfart udvikler sig.

IDAs Energiplan nævner, at væksten i udenrigsluftfarten fra Danmark har været over 2 procent pr. år fra 1990, og at væksten frem til 2030 er ca. 1,5 procent p.a. i Energistyrelsens basisscenario for luftfart. Alligevel forudsætter energiplanen, at væksten i energiforbrug nedsættes til 1 procent p.a. mellem 2004 og 2030, da det vurderes, at dette kan opnås, såfremt der laves en separat ordning for handel med CO₂ og andre stoffer, der påvirker klimaet inden for luftfarten. Det vil sige en stigning i energiforbruget på 30 procent mellem 2004 og 2030.

⁸ Giving wings to emission trading, http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/aviation_et_study.pdf

Nu er rammerne for at inddrage luftfart i EU ETS mellem 2012 og 2020 blevet vedtaget i EU. Ifølge Kommissionens impact assesment vil EU ETS ikke have den store betydning for udledningen af CO₂ fra europæisk luftfart. Med business-as-usual vil CO₂-udledningen fra EU25 stige til 142 procent over 2005-niveauet. Med EU ETS vil udledningen stige til minimum 135 procent over 2005-niveau⁹. Det skyldes, at væksten i luftfartens udledning efter 2005 først og fremmest vil blive kompenseret ved opkøb af kvoter i andre sektorer.

Forudsætningen i IDA's Energiplan 2030 vedrørende luftfart synes således ikke at holde stik, medmindre Danmark vælger at indføre nationale særregler, fx afgifter på flybrændstof, eller der sættes kraftigt ind efter 2020.

Et mere realistisk bud på væksten i energiforbruget synes således at være Energistyrelsens på 1,5 procent p.a. Denne vækstrate ligger på linie med DfT's prognose, der blev udgivet i november 2007.

CO₂-udledningen fra den samlede luftfart i EU forventes i øvrigt at vokse langt hurtigere end 1,5 procent p.a. Det kan forklares med, at væksten vil være større i lande med en lavere BNP end Danmark. Væksten i dansk luftfart har da også været mindre end den gennemsnitlige i EU siden 1990.

Vi bruger således 1,5 procent p.a. som udgangspunkt for udenrigsfarten, hvilket også svarer til den gennemsnitlige vækst de sidste 35 år. Da den nationale infrastruktur for IC-tog forventes at blive forbedret, har vi valgt at antage, at indenrigsluftfarten fortsat vil falde og blive halveret i 2030.

Klimaeffekt fra luftfarten fra 2030 til 2050

I 2030 kan man forvente tydelige, ubehagelige tegn på klimaforandringer. Der vil derfor være øget international politisk interesse for at standse væksten i luftfarten. Og muligvis især i luftfarten, da klimaeffekten fra luftfart er kraftig på kort sigt jf. forklaringen tidligere. Det antages derfor, at væksten reduceres til et niveau, der svarer til energieffektiviseringen, således at udledningen af CO₂ holdes konstant. Den antagelse svarer til DfT's prognose.

For indenrigsbeflyvningens vedkommende antages, at den forbydes inden år 2050. Det samme gælder for ruterne til Hamborg og Stockholm (se forklaring nedenfor).

Tabel 3. Klimaeffekt fra Dansk luftfart (Tons CO₂-ækv.)

	Indenrigs	Udenrigs	I alt
2005	350 000	5 403 000	5 753 000
2030	175 000	7 609 000	7 784 000
2050	-	7 259 000	7 259 000

⁹ Med en kvotepris på 30 euro, http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/aviation_ets_com_2006_818-21273_en.pdf

Overflytning til tog

Arbejdsgruppen har diskuteret muligheden for at overflytte alle passagerer til tog, hvor transporten med tog tager under tre timer. Hvis planen om at det ikke skal tage mere end én time mellem byerne på strækningen København-Odense-Århus-Ålborg gennemføres, vil strækningen København-Ålborg tage tre timer med tog. Man kan også forestille sig, at ruten mellem Hamborg og København samt Århus og Hamborg ville kunne forbedres, så de kan klares på under tre timer i tog. Dertil kommer, at svenskerne ønsker at reducere rejsetiden mellem Stockholm og København til tre timer.

I dag tager toget mellem Århus og København omkring tre timer, alligevel er der mange, der vælger at tage flyet. Det vil derfor realistisk set være nødvendigt med et forbud, før alle passagerer vælger tog på strækninger, der varer op til tre timer. Det vil naturligvis også være nødvendigt med en regulering, så man undgår, at der dukker nye lufthavn op få meter fra tre-timers-cirklen fra København.

Alt i alt kan en sådan tre-timers-regel antages at betyde, at al indenrigsfart stoppes. I dag flyver der næsten ligeså mange passagerer mellem København og Sverige, som der er indenrigspassagerer i Danmark. Vi har ikke statistik om ruterne mellem danske lufthavne og Hamborg, men de er sandsynligvis forholdsvis tyndt besatte, da de ikke er føderuter.

For udenrigsfarten antages, at besparelsen ved at forbyde flyruter, når togturen ikke tager mere end tre timer, vil give en CO₂-reduktion på, hvad der svarer til den nuværende nationale udledning.

Teknikken bag effektivitetsforbedringer

Der findes en lang række mulige forbedringer af brændstofeffektiviteten ifm. luftfart. Læs fx. i IPCC assessment-rapport, Working Group III Report "Mitigation of Climate Change", kapitel 5.3.3. Her skal blot nævnes, at trafik-arbejdsgruppen har diskuteret propel-fly (turbofan). Disse fly bruger væsentligt mindre brændstof end jetfly. Dog er de langsommere pga. begrænsning i hastigheden af propelspidserne. Desuden er propel-fly meget støjende. Denne teknologi vil derfor i højere grad være et alternativ til korte ruter end de lange.

Alternative brændstoffer

Den tekniske udfordring med at udvikle og fremstille alternative brændstoffer, der er egnet til fly, er stor. Det kan være svært at afgøre, om konventionelt jetbenzin er mere miljøvenligt end et alternativt. Noget af det der skal undersøges, er livscyklusen for emissioner af CO₂, NO_x, CH₄, CO, SO_x, UHC, sod osv. Desuden skal disse stoffers klimaeffekt ifm. luftfart inddrages. Vil kondensskyerne inkl. cirruskyer blive kraftigere på grund af flere partikler og vanddamp? Fx vil fly drevet af hydrogen medføre 2,6 gange mere vanddamp¹⁰. Vil det lykkes at reducere N-indholdet i biobrændstof?

Specielt for luftfart gælder, at det især er vigtigt med en global forsyningsinfrastruktur, fx produktion, transport og forsyningslagre. Danmark kan således ikke gå enegang.

¹⁰ IPCC assessment-rapport, Working Group III Report "Mitigation of Climate Change", kapitel 5.3.3

I en prognose vil det være rimeligt at antage, at alternativt biobrændstof til fly i fremtiden ikke vil være væsentligt forskelligt fra konventionelt brændstof. Klimaeffekten kan derfor antages at være dobbelt så stor som effekten fra det CO₂, der udledes ifm. med afbrændingen af det alternative biobrændstof.

Hvis klimaeffekten i ifm. produktion af et alternativt brændstof fx er 50 procent af CO₂-udledningen ved selve forbrændingen, da vil den resulterende klimaeffekt være ca. 1,5 gange højere end selve CO₂-udledningen, hvis det alternative brændstof forbrændes i en flyver.

Klimaeffekten fra fly, der benytter alternative brændstoffer som drivmiddel, vil således bl.a. afhænge af, hvor dygtig man bliver til at designe de alternative brændstoffer. Lykkes det ikke at designe et alternativt flybrændstof, der er bedre end fossilt flybrændstof, vil det muligvis være bedre at bruge biobrændstoffet andre steder end i fly. Dette forudsætter naturligvis at begge brændstoffer er marginale, dvs., at besparelser i en sektor vil føre til øget brug i en anden.

Jacob Sørensen er medlem af IDA