Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Quick scan duurzame luchtvaart 2050

Reductieopties en beleidsopties voor vermindering van de CO2-uitstoot

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid | KiM

Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor

Inhoudsopgave

	Samenvatting	**5**
1	**Inleiding**	**10**
1.1	Achtergrond	10
1.2	Aanleiding en onderzoeksvragen	10
1.3	Afbakening en aanpak	11
2	**Reductieopties**	**13**
2.1	Definitie en afbakening	13
2.2	Potentieel effect van reductieopties op emissies van CO_2	13
2.2.1	Beschikbare reductieopties en fasering	13
2.2.2	Totaaleffect reductieopties	14
2.2.3	Effect op emissies bij verschillende volumegroeiscenario's	16
2.3	Onzekerheden in te behalen reducties	18
2.4	Reductiepotentieel in relatie tot ambities	19
2.5	Reductiepotentieel van alternatieven voor vliegen	20
3	**Beleidsopties**	**23**
3.1	Inleiding	23
3.2	Internationaal speelveld	23
3.3	Overheidsrollen	24
3.4	Voorbeelden van beleidsopties	26
3.4.1	Beleidsinstrumenten die aangrijpen op alle knoppen	27
3.4.2	Beleidsinstrumenten die aangrijpen op volume	28
3.4.3	Beleidsinstrumenten die aangrijpen op vliegtuigefficiëntie	29
3.4.4	Beleidsinstrumenten die aangrijpen op CO_2-intensiteit van de brandstof	30
3.5	Effectiviteit en efficiëntie van beleidsopties	32
Summary		**36**
Literatuur		**41**
Bijlage A		**44**
Bijlage B		**46**
Colofon		**51**

Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor

Samenvatting

De luchtvaart zal de komende decennia naar verwachting wereldwijd blijven groeien. Autonome efficiëntieverbetering, waarbij door continue vlootvernieuwing steeds betere conventionele technologie wordt ingezet, kan niet voorkomen dat de CO_2-uitstoot van de luchtvaart zal toenemen.

Om de CO_2-uitstoot van de luchtvaart te laten dalen en wereldwijde ambities voor CO_2-reductie door de luchtvaart in 2050 te halen, zijn aanvullende technische- en operationele reductieopties nodig, waaronder grootschalige inzet van duurzame biokerosine. Er zijn vanwege diverse belemmeringen echter grote onzekerheden rondom de haalbaarheid van het volledige reductiepotentieel van de aanvullende reductieopties. Mochten belemmeringen niet overwonnen kunnen worden dan zullen, om ambities te halen, mogelijk ook aanvullende maatregelen nodig zijn die aangrijpen op de groei van het vliegverkeer.

De overheid heeft verschillende beleidsopties tot haar beschikking om de inzet van reductieopties te stimuleren en belemmeringen hiervoor weg te nemen. Efficiënt reductiebeleid zal via twee sporen moeten worden opgezet. Het eerste spoor richt zich op het duurder maken van CO_2–uitstoot en heeft als bijkomstig effect dat innovatie in de richting van schone technologie gestuurd wordt. Het tweede spoor richt zich op de ontwikkeling van kennis en innovatie en heeft als bijkomstig effect dat de gemiddelde kosten per vermeden ton CO_2 omlaag gaan, waardoor grotere emissiereducties maatschappelijk optimaal worden.

Ambities voor een duurzame luchtvaart

Naar verwachting blijft de wereldwijde luchtvaart de komende decennia groeien. Ook het aandeel van de luchtvaart in de mondiale uitstoot van CO_2 door menselijke activiteiten neemt naar verwachting toe. De luchtvaartsector, overheden en wetenschap zoeken daarom naar manieren om de luchtvaart te 'verduurzamen'. De (internationale) ambities hierbij zijn hoog. De belangrijkste vertegenwoordigers van de luchtvaartindustrie hebben gezamenlijk als ambitie gesteld om de brandstofefficiëntie tot 2020 jaarlijks met 1,5% te verbeteren. Daarna zal de luchtvaart CO_2-neutraal moeten groeien en in 2050 zou de uitstoot 50% lager moeten zijn dan in 2005. De International Civil Aviation Organization (ICAO) en de EU hebben enigszins vergelijkbare ambities.

Focus op reductieopties en beleidsopties

In deze quick scan wordt duurzaamheid smal geïnterpreteerd (alleen CO_2) en ligt het accent op reductieopties en beleidsopties om de CO_2-uitstoot van de luchtvaart te verminderen. Reductieopties zijn alle technische en niet-technische oplossingen waarmee de uitstoot van CO_2 beperkt kan worden. Beleidsopties zijn mogelijke beleidsinstrumenten die de Nederlandse overheid kan inzetten of in internationaal verband kan nastreven om de luchtvaart te verduurzamen.

De CO_2-uitstoot van luchtvaart, kan gezien worden als het product van drie factoren: volume, vliegtuigefficiëntie en CO_2-intensiteit van de brandstof. Volume staat voor het aantal gevlogen passagiers- en vrachtkilometers. Efficiëntie gaat over het energiegebruik per gevlogen kilometer en CO_2-intensiteit gaat over de netto bijdrage van het gebruik van een bepaalde brandstof aan de hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer. Elke factor kent zijn eigen reductieopties. Ook beleidsopties grijpen op één of meerdere van deze factoren aan.

Twee soorten reductieopties

Twee soorten reductieopties zijn te onderscheiden: optimistische en futuristische. Optimistische reductieopties zijn opties waarvan de werking al min of meer is aangetoond, maar waarbij het vliegtuigconcept, het vliegtuiggebruik en/of de brandstof sterk afwijken van het huidige, conventionele luchtvaartsysteem. We noemen ze 'optimistisch' omdat de realisatie ervan - doordat ze zo sterk afwijken van het bestaande – zeker niet vanzelfsprekend is. Futuristische opties zijn opties waarvan de werking nog niet of onvoldoende is aangetoond.

De optimistische opties zijn:

1. *Open rotor*: een motortype dat qua uiterlijk lijkt op kruising tussen een een straalmotor en een turboprop.
2. *4D ATM*: optimalisatie van de luchtverkeersleiding (ATM) in de drie ruimtelijke dimensies en in de tijd (rechtstreekser vliegen, geleidelijke klim en daling). In Europa wordt dit onderzocht in het SESAR-programma (Single European Sky ATM Research).
3. *Tussenstops*: een concept waarbij vliegtuigen ongeveer halverwege de eindbestemming een tussenstop maken om bij te tanken.
4. *Bijtanken in de lucht*: een concept waarbij vliegtuigen ongeveer halverwege de eindbestemming in de lucht worden bijgetankt.
5. *Formatievliegen*: vliegtuigen met een vergelijkbare vliegrichting groeperen zich voor een (groot) deel van de vlucht in een V-formatie.
6. *Duurzame biobrandstof*: een drop-in brandstof op basis van niet-fossiele bronnen, waarvoor geen wijzigingen nodig zijn aan vliegtuig- en motorsystemen.

De futuristische opties zijn:

1. *Blended wing body*: een vliegtuigconcept waarbij de romp en de vleugels zijn samengevoegd tot één grote vleugel.
2. *Prandtl Concept*: een vliegtuigconcept met aan elke zijde twee vleugels. De voorste vleugels zijn min of meer zoals gebruikelijk en worden vanaf de vleugeluiteinden met andere vleugels verbonden met het uiteinde van het vliegtuig.

In een achtergrondstudie van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium is ook gekeken naar het 'cruiser-feeders' concept (daarbij vindt het overstappen van passagiers in de lucht plaats), het 'elektrisch vliegtuig' en het 'waterstofvliegtuig' (een vliegtuig met elektromotoren met propellors die respectevelijk worden aangedreven door stroom uit accu's of brandstofcellen die werken op waterstof). Deze futuristische opties zullen naar verwachting echter niet vóór 2050 beschikbaar zijn.

Reductiepotentieel is aanwezig ...

De CO2-uitstoot van de luchtvaart is een wereldwijde problematiek. Van belang is wat het totale reductiepotentieel is van combinaties of pakketten van reductieopties ten opzichte van een referentiesituatie waarin eveneens efficiëntieverbeteringen plaatsvinden door continue vlootvernieuwing waarbij steeds betere conventionele technologie in de vlootmix komt. Conventionele technologie betekent dat straalmotoren en de huidige vorm van het airframe het uitgangspunt blijven. Het gaat met name om de inzet van efficiëntere straalmotoren, betere aerodynamica en gewichtsbesparing.

Het NLR heeft modelberekeningen gemaakt voor de ontwikkeling van de CO_2-uitstoot bij toepassing van alle optimistische opties met en zonder biobrandstoffen en bij toepassing van alle optimistische en futuristische opties. Daarbij is de emissiereductie die haalbaar is door in de lucht bij te tanken en de emissiereductie die haalbaar is door het maken van tussenstops slechts éénmaal meegeteld. Er is namelijk aangenomen dat deze opties op dezelfde groep vluchten effect hebben. Omwille van het hogere reductiepotentieel van bijtanken in de lucht is met dit potentieel gerekend.

Ten opzichte van de referentiesituatie met steeds betere conventionele technologie is met de optimistische opties zonder biobrandstof een reductie mogelijk van 25%. Met biobrandstoffen bedraagt de reductie ten opzichte van de referentie 85%. En bij een combinatie van optimistische en futuristische reductieopties is in 2050 drie procentpunt extra reductie mogelijk ten opzichte van de referentie (88%).

Om inzicht te verkrijgen in de haalbaarheid van de ambities voor de CO_2-uitstoot van de luchtvaart in 2050 is voor de referentiesituatie uitgegaan van drie verschillende volumegroeiscenario's: een groei van 2%, 3,5% en 5% per jaar. Uit de analyse blijkt dat de verschillende ambities voor 2050, gegeven de aannames over het reductiepotentieel van elke afzonderlijke optie, alleen haalbaar zijn bij een volumegroei van 3,5% per jaar of minder, dit in combinatie met een grootschalige inzet van duurzame biobrandstof.

... maar wordt bedreigd door belemmerende factoren

Bij de inschatting van de reductiepotentiëlen is aangenomen dat verschillende belemmeringen voor het kunnen inzetten van de reductieopties overwonnen zijn. Belemmeringen kunnen voortkomen uit hogere gebruikskosten dan conventionele technologie, maar nieuwe technologieën kunnen momenteel ook nog onvoldoende veilig, stil of schoon[1] zijn ten opzichte van conventionele technologie. Daarnaast moet het gebruik ervan aansluiten bij de voorkeuren van passagiers: aantrekkelijk product, comfortabel enzovoort.

Door de belemmeringen die er zijn, zal het reductiepotentieel van de diverse opties niet automatisch en – als belemmeringen niet worden opgelost – ook niet volledig kunnen worden benut. De haalbaarheid van het reductiepotentieel van het optimistische en futuristische pakket is in de praktijk erg onzeker.

Beleidsopties kunnen belemmeringen weg nemen

In het Kyoto-protocol over de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen is vastgelegd dat de International Civil Aviation Organization (ICAO) het gremium is waarin ontwikkelde landen de aanpak van emissiereducties van de internationale luchtvaart zullen uitwerken. De totstandkoming van wereldwijde, effectieve maatregelen voor de reductie van CO_2-emissies van de internationale luchtvaart is in de praktijk een langdurig proces. Onder meer doordat landen het moeilijk eens kunnen worden over het verdelen van de lasten. Tot nu toe is er dan ook weinig vooruitgang geboekt in het afspreken van concrete maatregelen.

Hoewel ICAO voor overheden het belangrijkste wereldwijde gremium is om stappen te zetten op het gebied van duurzame luchtvaart, zijn er ook mogelijkheden op Europees of nationaal niveau. De potentiële effectiviteit van maatregelen neemt echter af naarmate het geografische schaalniveau kleiner wordt, terwijl de kans op *carbon leakage* en te grote concurrentie-nadelen toeneemt. Daarnaast is het belangrijk dat nationale of Europese maatregelen niet in strijd zijn met internationale afspraken en verdragen.

Om de belemmeringen weg te nemen die de toepassing van reductieopties in de weg staan, heeft de Nederlandse overheid beleidsinstrumenten tot haar beschikking die zij op nationaal niveau kan inzetten of in internationaal verband – ICAO of EU – kan nastreven om de luchtvaart te verduurzamen. Sommige belemmeringen kunnen alleen met innovatie worden geslecht. Bijvoorbeeld wanneer een reductieoptie technisch nu nog niet voldoende uitontwikkeld is, nog te duur is en/of bij het gebruik nog teveel ongewenste neveneffecten heeft. Aan dit type belemmeringen kan de markt zelf werken.

Hiernaast zijn bepaalde vormen van marktfalen (externaliteiten) een belemmering om innovaties (in voldoende mate) te laten plaatsvinden. Zolang de externe kosten van CO_2-uitstoot niet beprijsd zijn, blijven reductieopties relatief te duur en komt een maatschappelijk optimale vraag naar reductieopties niet tot stand. Ook bij innovatieprocessen kunnen externaliteiten (kennisspillovers) een rol spelen, waardoor minder innovatie plaatsvindt dan maatschappelijk gezien optimaal is.

Rollen en beleidsinstrumenten voor de overheid

Overheden kunnen handelen vanuit verschillende rolopvattingen. Er zijn vier basisrollen voor de overheid te onderscheiden: regulator (dwang), facilitator (scheppen van voorwaarden), realisator (zelf realiseren) en communicator (informeren). Bij elke rol passen bepaalde beleidsinstrumenten.

[1] Hier worden alle andere emissies dan CO2 bedoeld, bijvoorbeeld NOx dat invloed heeft op de lokale luchtkwaliteit.

Er zijn beleidsinstrumenten denkbaar die aangrijpen op alle factoren (volume, voertuigefficiëntie en CO_2-intensiteit van de brandstof). Bijvoorbeeld emissiehandel, emissieheffing, brandstofheffing en CO_2-compensatie. Ook zijn tal van beleidsinstrumenten denkbaar die specifiek aangrijpen op één van de factoren, waaronder de integratie van het (Europese) luchtruim (volume), een efficiëntienorm voor vliegtuigen (voertuigefficiëntie) en een financiële prikkel (bijvoorbeeld subsidie) voor de ontwikkeling van kennis en technologie op het gebied van biokerosine (CO_2-intensiteit van de brandstof).

Het is niet mogelijk op voorhand en in het algemeen te bepalen welke specifieke beleidsoptie het meest effectief en/of efficiënt is. Dit is sterk afhankelijk van de te bereiken doelen en allerlei ontwerpkeuzes. In het algemeen kan daarentegen wel worden gesteld dat financiële prikkels vaak efficiënter zijn dan normen of voorschriften. Beleidsopties die aangrijpen op meerdere factoren zijn in het algemeen ook efficiënter dan beleidsopties die op één factor aangrijpen. Een goede aanpak vergt meestal een gecoördineerde en in de tijd variërende inzet van diverse beleidsmaatregelen en is maatwerk.

Efficiënt reductiebeleid kent twee sporen

Doordat bij innovatieprocessen kennisspillovers ontstaan, is CO_2-beleid, bijvoorbeeld een CO_2-norm of CO_2-beprijzing, op zichzelf onvoldoende om op een kostenefficiënte manier de CO_2-reductie in de luchtvaart te bevorderen. Efficiënt reductiebeleid kan beter via twee sporen worden opgezet. Het eerste spoor richt zich op het duurder maken van CO_2 en heeft als bijkomstig effect dat innovatie in de richting van schone technologie wordt gestuurd. Het tweede spoor richt zich op het stimuleren van kennis en innovatie. Dit spoor heeft als bijkomstig effect dat de gemiddelde kosten per vermeden ton CO_2 omlaag gaan, waardoor grotere emissiereducties maatschappelijk optimaal worden. Dat wil zeggen dat van een groter aantal reductieopties de kosten per vermeden ton CO_2 lager of gelijk aan de schadekosten per uitgestoten ton CO_2 worden.

Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor
Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid
Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid
Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid
Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor
Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid
Kennisinstituut
Kennisinstituut Mobiliteitsbeleid voor Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid voor Kennisinstituut Kennisinstituut voor
Kennisinstituut Mobiliteitsbeleid
Mobiliteitsbeleid
Kennisinstituut Mobiliteitsbeleid voor Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid
voor
Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid
voor Kennisinstituut
Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid
voor
voor
voor
Kennisinstituut
Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid
voor
Mobiliteitsbeleid
voor Mobiliteitsbeleid
Kennisinstituut
Kennisinstituut
voor
Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid
Kennisinstituut Mobiliteitsbeleid voor Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid
Kennisinstituut
voor
Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid
voor
Kennisinstituut
Mobiliteitsbeleid

1 Inleiding

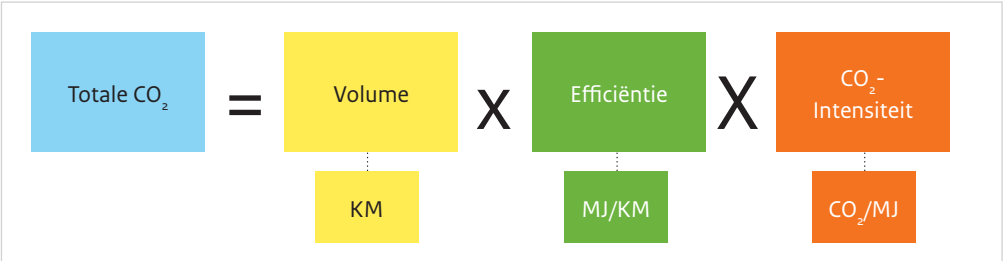
1.1 Achtergrond

Naar verwachting blijft de wereldwijde luchtvaart de komende decennia groeien. Deze groei levert een belangrijke bijdrage aan de economie, maar gaat tegelijkertijd gepaard met een toename van negatieve effecten zoals geluidhinder, lokale luchtvervuiling en de uitstoot van broeikasgassen (ICAO, 2010).

De luchtvaart heeft een aandeel van minimaal 2% à 2,5% in de mondiale uitstoot van CO_2 door menselijke activiteiten (Lee, 2010). Door de groei van de luchtvaart neemt dit aandeel naar verwachting toe. Door vlootvernieuwing wordt de totale vliegtuigvloot elk jaar zuiniger. De verwachting is echter dat de CO_2-uitstoot per saldo toch blijft stijgen (UKCCC, 2009), doordat deze efficiëntieverbetering minder groot is dan de groei van de luchtvaart.

De CO_2-uitstoot van de verschillende vervoerwijzen, dus ook luchtvaart, kan worden gezien als het product van drie factoren: volume, voertuigefficiëntie en CO_2-intensiteit van de brandstof. Volume staat voor het aantal gevlogen passagiers- en vrachtkilometers. Efficiëntie gaat over het energiegebruik per gevlogen kilometer en CO_2-intensiteit gaat over de netto bijdrage van het gebruik van een bepaalde brandstof aan de hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer. Figuur 1.1 geeft deze indeling schematisch weer.

Figuur 1.1 Drie factoren die samen de CO2-uitstoot van een vervoerwijze bepalen.



1.2 Aanleiding en onderzoeksvragen

De luchtvaartsector, overheden, wetenschap en toeleverende bedrijven zoeken naar manieren om de luchtvaart te 'verduurzamen'. De (internationale) ambities daarbij zijn hoog. Tegelijkertijd is Nederland zowel politiek als in de luchtvaartindustrie een relatief kleine speler. Tegen deze achtergrond wil de directie Luchtvaart van DG Bereikbaarheid de strategie van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) op het gebied van duurzame luchtvaart bepalen.

In deze *quick scan* levert het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) bouwstenen die de directie Luchtvaart kunnen helpen bij het bepalen van strategische beleidsprioriteiten. Hiertoe beantwoorden we de volgende onderzoeksvraag:

Wat zijn de reductieopties en en beleidsopties om de CO2-emissies van de luchtvaart te verminderen?

Reductieopties zijn technische en niet-technische oplossingen waarmee de uitstoot van CO_2 kan worden beperkt. Beleidsopties hebben betrekking op de beleidsinstrumenten die de Nederlandse overheid kan inzetten, of in internationaal verband kan nastreven om de luchtvaart te verduurzamen. Elke factor uit figuur 1.1 kent zijn eigen reductieopties. Ook beleidsopties grijpen op één of meerdere van deze factoren aan. We noemen de factoren daarom ook wel de 'knoppen' waaraan het beleid met instrumenten kan draaien.

1.3 Afbakening en aanpak

Binnen dit onderzoek naar een duurzame luchtvaart ligt het accent op de emissie van broeikasgassen, en daarbinnen op CO_2[2]. Overige duurzaamheidsaspecten van de luchtvaart, zoals geluidhinder en lokale luchtkwaliteit, zijn niet meegenomen. De reden hiervoor is dat geluid de laatste decennia al veel aandacht heeft gekregen. Voor het aspect lokale luchtkwaliteit geldt dat luchtvaartactiviteiten significant bijdragen aan een verslechtering daarvan, maar dat deze bijdrage beperkt is in verhouding tot andere activiteiten rondom Schiphol, waaronder wegtransport (Dassen, 2006). Beide aspecten hebben we in het kader van deze *quick scan* daarom buiten beschouwing gelaten.

De luchtvaart is in deze studie gedefinieerd als het 'luchtvaartproduct', dat wil zeggen de verplaatsing door de lucht van personen of goederen vanaf en tot aan de *gate* (klimmen, kruisvluchtfase en landen). Processen op de luchthaven – zoals de bagageafhandeling, het taxiën, de catering enzovoort – vallen buiten de scope van het onderzoek. De reden hiervoor is dat de relatieve bijdrage van deze aspecten aan de CO_2-impact van luchtvervoer zeer beperkt is.

Bij de reductieopties hebben we alleen de oplossingen bekeken die naar verwachting een reductiepotentieel hebben van minimaal 2% ten opzichte van de referentiesituatie. Dit om te voorkomen dat de bijdrage van vele, kleine oplossingen apart beschreven moet worden. *Life-cycle*-aspecten – bijvoorbeeld de emissies tijdens de productie- en sloopfase van vliegtuigen – vallen eveneens buiten de scope van dit onderzoek. We nemen deze aspecten wel mee voor biobrandstoffen, omdat de CO_2-reductie van biobrandstoffen over de gehele levenscyclus essentieel is in de discussie over de duurzaamheid daarvan.

Het onderzoek naar de reductieopties is op verzoek van het KiM uitgevoerd door het Nederlands Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium (NLR). Dit heeft geresulteerd in een achtergronddocument dat separaat van deze studie beschikbaar is[3]. Hoofdstuk 2 en bijlage A bevatten een verkorte weergave van de belangrijkste bevindingen van het NLR.

[2] De luchtvaart stoot ook andere stoffen uit die bijdragen aan het broeikaseffect. CO2 is echter de belangrijkste exponent. Voor nadere informatie hierover zie Kolkman (2010).

[3] Het NLR-rapport 'Duurzame luchtvaart 2050; Een quick scan' is op aanvraag beschikbaar.

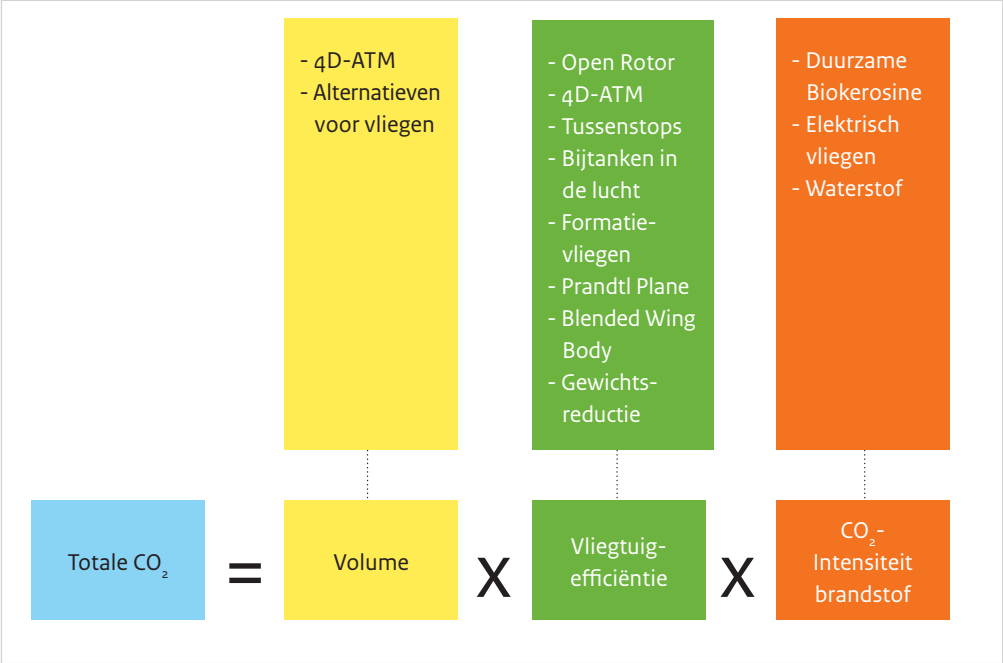
Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor

2 Reductieopties

2.1 Definitie en afbakening

Reductieopties zijn de technische en niet-technische oplossingen waarmee de uitstoot van CO_2 kan worden beperkt. Denk bijvoorbeeld aan efficiëntere vliegtuigen, andere brandstoffen en dergelijke. Figuur 2.1 geeft een aantal voorbeelden van reductieopties, voor elk van de drie factoren die de CO_2-uitstoot van de luchtvaart bepalen. Van al deze voorbeelden heeft het NLR in zijn achtergrondstudie het reductiepotentieel geanalyseerd. Een uitzondering hierop is de optie 'alternatieven voor vliegen', waarop we in paragraaf 2.5 dieper ingaan.

Figuur 2.1 Voorbeelden van reductieopties



2.2 Potentieel effect van reductieopties op emissies van CO_2

2.2.1 Beschikbare reductieopties en fasering

We maken onderscheid tussen twee soorten reductieopties: optimistische en futuristische. Optimistische reductieopties zijn opties waarvan de werking al min of meer is aangetoond, maar waarbij het vliegtuig-concept, het vliegtuiggebruik en of de brandstof sterk afwijken van die in het huidige, conventionele luchtvaartsysteem. We noemen deze opties 'optimistisch' omdat de realisatie ervan – doordat ze zo sterk afwijken van het bestaande – zeker niet vanzelfsprekend is. Futuristische opties zijn opties waarvan de werking nog niet of onvoldoende is aangetoond.

Tabel 2.2 en 2.3 geven een inschatting van de reductiepotentiëlen van elk van de optimistische en futuristische opties, inclusief een inschatting van de periode waarin ze in de vloot kunnen infaseren en voor welke categorie van vluchtlengten (en daarmee voor welk type vliegtuigen: voor langere of kortere vluchtafstand) ze geschikt zijn. In bijlage A staat een korte omschrijving van elke optie.

Tabel 2.2 Reductiepotentieel van elke optimistische reductieoptie. Bron: NLR (2012).

Reductieoptie	Infasering	CO_2-reductiepotentieel van vluchten	
		<5.000 km	**>5.000 km**
1. Open rotor	2030 - 2050	15% per vlucht	-
2. 4D ATM	2020 - 2025	10% per (Europese) vlucht	-
3. Tussenstops	2020 - 2030	-	10% per vlucht
4. Bijtanken in de lucht	2025 - 2035	-	20% per vlucht
5. Formatievliegen	2025 - 2035	-	15% bij de helft van de vluchten
6. Biobrandstof	2011 - 2050	80% reductie ten opzichte van standaard kerosine (alle vluchten, ongeacht vluchtlengte)*	

** Dit is de emissiereductie in de hele 'levenscyclus', dus inclusief de CO_2-emissies die het gevolg zijn van de productie van grondstoffen en van de omzetting daarvan tot brandstof.*[4]

Tabel 2.3 Reductiepotentieel van elke futuristische reductieoptie. Bron: NLR (2012)

Reductieoptie	Infasering	CO_2-reductiepotentieel van vluchten	
		<3.000 km	**>5.000 km**
7. Blended wing body	2035 - 2055	-	30% per vlucht
8. Prandtl concept	2035 - 2055	10% per vlucht	-
9. Cruise feeders	na 2050	-	-
10. Elektrisch vliegtuig	na 2050	-	-
11. Waterstofvliegtuig	na 2050	-	-

Zoals blijkt uit tabel 2.3 kunnen de futuristische opties (7 t/m 11) naar verwachting pas op hun vroegst vanaf het jaar 2035 een bijdrage leveren. Sommige futuristische opties (9 t/m 11) spelen in de periode tot 2050 naar verwachting zelfs helemaal geen rol.

2.2.2 Totaaleffect reductieopties

De CO_2-uitstoot van de luchtvaart is een wereldwijde problematiek. Van belang is wat het totale reductiepotentieel is van combinaties of pakketten van reductieopties ten opzichte van een referentiesituatie. In de referentiesituatie vinden eveneens efficiëntieverbeteringen plaats door continue vlootvernieuwing, waarbij steeds betere conventionele technologie in de vlootmix komt. In deze conventionele technologie blijven straalmotoren en de huidige vorm van het *airframe* het uitgangspunt. Het gaat met name om de inzet van efficiëntere straalmotoren, betere aerodynamica en gewichtsbesparing.

[4] Waarbij overigens nog geen rekening is gehouden met de effecten van Indirect Land Use Change (ILUC). Daarover ontbreekt voldoende kennis.

Het NLR heeft modelberekeningen gemaakt voor de ontwikkeling van de CO_2-uitstoot bij toepassing van alle optimistische opties met en zonder biobrandstoffen en bij toepassing van alle optimistische en futuristische opties (alleen Blended Wing en Prandtl concept). Hierbij is de emissiereductie die haalbaar is door in de lucht bij te tanken en de emissiereductie die haalbaar is door tussenstops te maken, slechts één maal meegeteld. Dit onder de aanname dat deze opties effect hebben op dezelfde groep vluchten. Omwille van het hogere reductiepotentieel van bijtanken in de lucht is met dit potentieel gerekend.

In de modelberekeningen is het vliegverkeer van en naar Schiphol gebruikt als voorbeeldvloot, omdat hiervan gedetailleerde informatie beschikbaar is over de verdeling naar vluchtlengtes en vlootsamenstelling. Hoewel de vloot en de gebruikskarakteristieken niet representatief zijn voor de gehele wereld[5], geven de analyses bij benadering een bruikbare weergave van het wereldwijde reductiepotentieel.

Tabel 2.4 illustreert dit. Deze tabel geeft per vluchtlengtecategorie een grofmazige optelling ('vermenigvuldiging' is eigenlijk een beter woord) van de potentiëlen van de optimistische reductieopties. Daarmee ontstaat inzicht in het totale potentieel van alle optimistische opties samen. Hieruit blijkt dat de vluchtlengteverdeling slechts een kleine rol speelt in het totale reductiepotentieel van de optimistische opties.

Tabel 2.4 Totale reductiepotentieel van de optimistische reductieopties, met en zonder biobrandstof voor de voorbeeldvloot. Bron: NLR (2012), bewerking KiM.

Reductieoptiepakket	CO_2-reductiepotentieel van pakket	
	Vluchten <5.000 km	Vluchten >5.000 km
Optimistisch zonder biobrandstof (opties 1 t/m 5)	24%	17 à 26%*
Optimistisch met biobrandstof (opties 1 t/m 6)	85%	83 à 85%*

** afhankelijk van een keuze voor bijtanken (lage percentage) of tussenstops (hoge percentage).*

Bij de futuristische opties is er tot 2050 maar één reductieoptie per afstandscategorie. Onderling verschillen deze opties een factor drie in effect (10% voor de korteafstandsvluchten versus 30% voor de langeafstandsvluchten). Hier is dus wel sprake van een verschil in potentieel tussen de verschillende vluchtlengtecategorieën. Doordat deze futuristische opties op een later moment infaseren dan de optimistische opties en doordat de optimistische opties al zo'n groot effect hebben, zal dit verschil echter niet erg onderscheidend zijn tussen de voorbeeldvloot en de wereldvloot.

Voor de ontwikkeling van de emissies in de referentiesituatie is de vlootsamenstelling naar leeftijd van belang. De vliegtuigen die worden gebruikt voor vluchten van en naar Schiphol zijn naar verwachting gemiddeld jonger en dus zuiniger dan het wereldwijde gemiddelde. Dit betekent dat vlootvernieuwing, waarbij steeds betere conventionele technologie in de vlootmix komt, voor de voorbeeldvloot relatief minder effect heeft dan voor de wereldwijde vloot. De groei van de uitstoot in de referentiesituatie is daardoor relatief iets hoger. Dit heeft geen effect op het relatieve reductiepotentieel van de reductieopties, maar wel op de absolute reducties die behaald kunnen worden. Dit is echter één van de vele onzekerheden waarmee rekening moet worden gehouden bij de interpretatie van de analyses (zie ook paragraaf 2.3).

[5] Omdat Schiphol een hub is, is het aandeel langeafstandsvluchten veel groter dan op het totaal aantal vliegbewegingen wereldwijd.

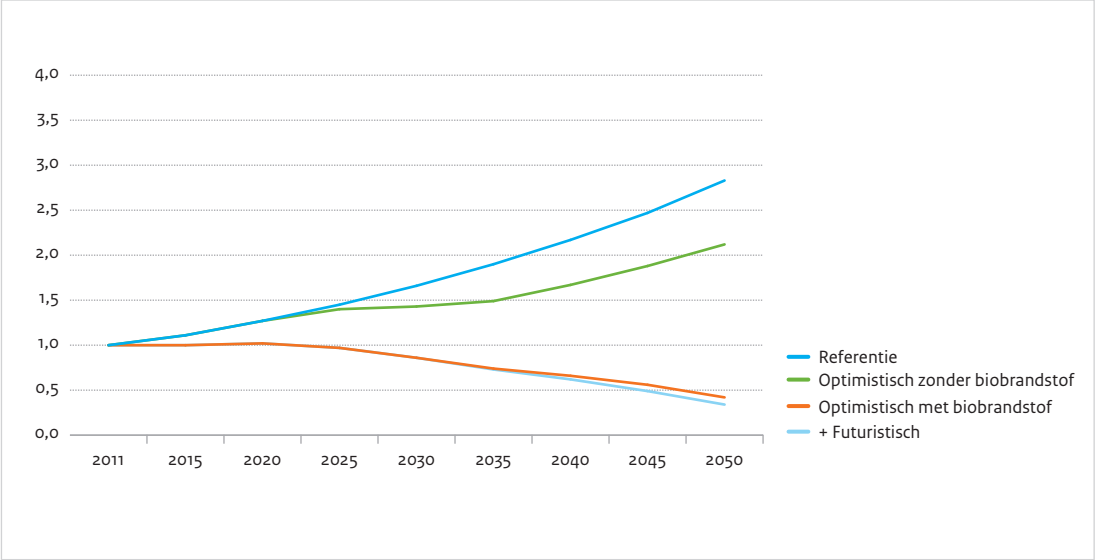
2.2.3 Effect op emissies bij verschillende volumegroeiscenario's

In deze paragraaf gaan we na hoe de CO_2-uitstoot van de luchtvaart zich tussen nu en 2050 ontwikkelt bij de inzet van de optimistische en futuristische reductieopties (rekening houdend met verschillende momenten van infasering). We bekijken het effect bij drie verschillende volumegroeiscenario's: een groei van 2%, 3,5% en 5% per jaar. Het hoogste groeiscenario is afgeleid van de verwachtingen die Boeing (2012) en Airbus (2012) hebben over de ontwikkeling van de wereldwijde vraag naar vliegen in de komende twee decennia. Het is echter onzeker of deze vraagontwikkeling zich de komende 40 jaar daadwerkelijk kan doorzetten. Daarom zijn naast het groeiscenario volgens Boeing en Airbus als gevoeligheidsanalyse ook twee lagere groeiscenario's gekozen.

De ontwikkeling van de CO_2-uitstoot met een optimistisch en futuristisch pakket is bepaald ten opzichte van de CO_2-uitstoot in de referentiesituatie. In de referentiesituatie neemt de CO_2-uitstoot minder toe dan de groei van het volume, omdat vlootvernieuwing steeds betere conventionele technologie in de vlootmix brengt. Het NLR komt hierbij uit op een gemiddelde jaarlijkse efficiëntieverbetering van 0,8% in de periode 2011-2050. Dit betekent dat de CO_2-uitstoot in de referentiesituatie in de verschillende volumegroeiscenario's jaarlijks toeneemt met respectievelijk 1,2%, 2,7% en 4,2%.

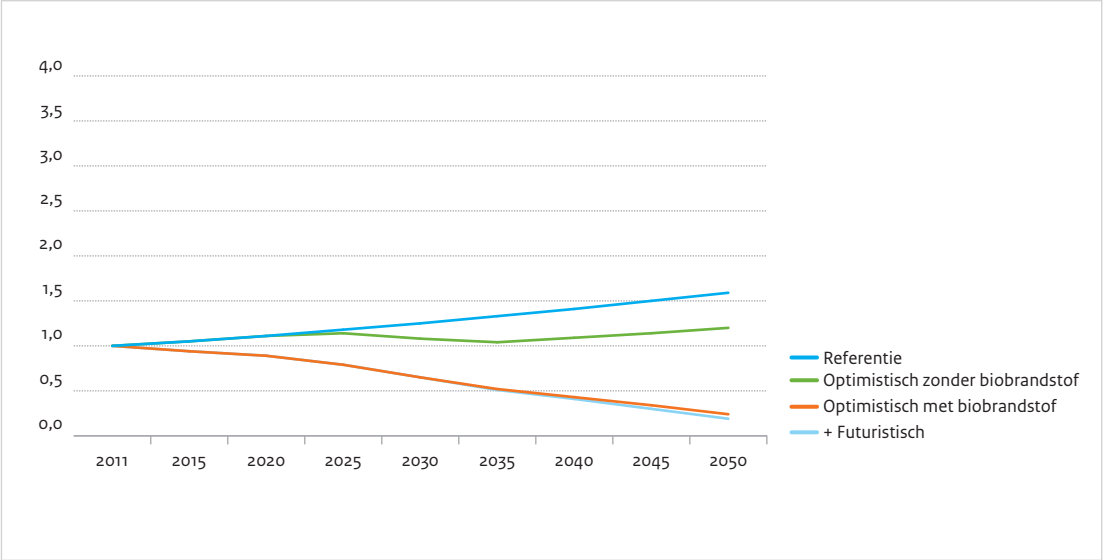
Figuur 2.2 geeft ter illustratie de ontwikkeling van de CO_2-uitstoot voor het middelste groeiscenario. In dit geval is met de optimistische opties zonder biobrandstof een reductie mogelijk van 25% ten opzichte van de referentiesituatie. Met biobrandstoffen bedraagt de reductie ten opzichte van de referentie 85%, terwijl met de futuristische reductieopties erbij gevoegd in 2050 3 procentpunt extra reductie mogelijk is ten opzichte van de referentie (88%). Ten opzichte van het uitstootniveau in 2011 bedraagt de reductie dan 66%.

Figuur 2.2 Ontwikkeling van de CO2-uitstoot bij 3,5% volumegroei per jaar en toepassing van de optimistische en de futuristische opties, ten opzichte van een referentiesituatie en geïndexeerd ten opzichte van 2011. Bron: NLR (2012), bewerking KiM.

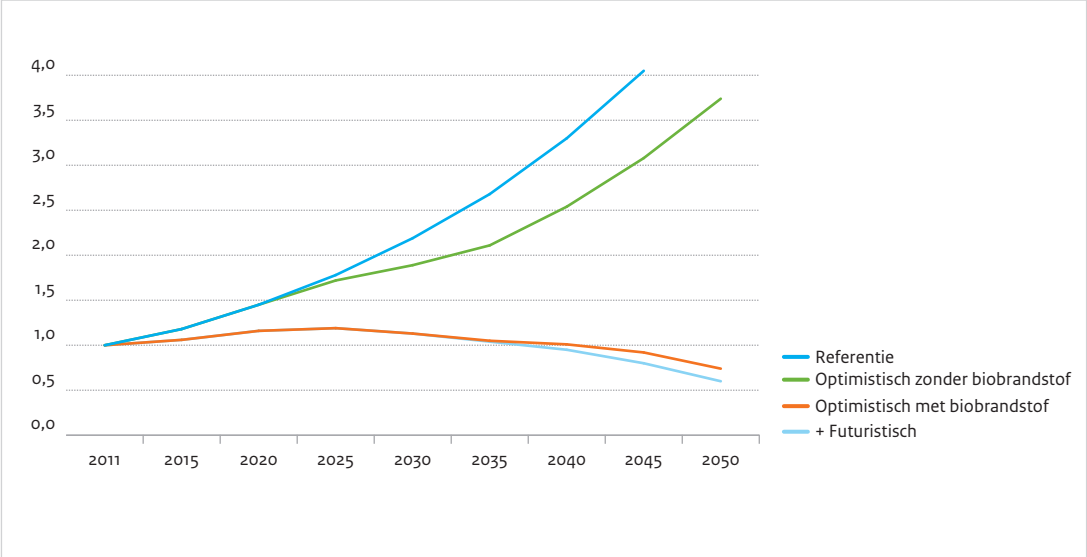


De figuren 2.3 en 2.4 laten zien hoe de CO_2-uitstoot zich ontwikkelt voor respectievelijk het volumegroei-scenario van 2% en 5%.

Figuur 2.3 Ontwikkeling van de CO_2-uitstoot bij 2% volumegroei per jaar en toepassing van de optimistische en de futuristische opties, ten opzichte van een referentiesituatie en geïndexeerd ten opzichte van 2011. Bron: NLR (2012), bewerking KiM.



Figuur 2.4 Ontwikkeling van de CO_2-uitstoot bij 5% volumegroei per jaar en toepassing van de optimistische en de futuristische opties, ten opzichte van een referentiesituatie en geïndexeerd ten opzichte van 2011. Bron: NLR (2012), bewerking KiM.



In deze volumegroeiscenario's zijn de relatieve reductie-effecten ten opzichte van de referentie hetzelfde. Het enige verschil is de indexwaarde in 2050 waarop wordt uitgekomen. Bij een volumegroei van 2% per jaar is met de optimistische reductieopties (inclusief biobrandstof) in 2050 een CO_2-reductie mogelijk van 76% ten opzichte van het niveau in 2011. Inclusief de futuristische opties neemt dit toe tot 81%. Bij een volumegroei van 5% per jaar is de afname ten opzichte van 2011 kleiner: respectievelijk 26% met de optimistische reductieopties (inclusief biobrandstof) en 40% als ook de futuristische opties worden ingezet.

2.3 Onzekerheden in te behalen reducties

De absolute emissiereductie die bereikt kan worden ten opzichte van 2011, hangt sterk samen met de aannamen die gedaan zijn voor de autonome groei van de luchtvaart tussen 2011 en 2050. Dit is een onzekere factor. Daarnaast zijn ook het reductiepotentieel en het tempo waarin de opties in de vloot worden ingefaseerd, een onzekere factor voor de emissiereductie die in 2050 kan worden bereikt. Hierop hebben we geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Het is echter logisch dat naarmate opties later beschikbaar komen, ook de uiteindelijke emissiereductie in 2050 minder is dan in de rekenvoorbeelden in de vorige paragraaf. De onzekerheden over de emissiereductie en het moment van infasering hangen samen met de vraag of belemmeringen kunnen worden overwonnen die de inzet van reductieopties in de praktijk bemoeilijken. Belemmeringen kunnen voortkomen uit hogere gebruikskosten dan bij conventionele technologie, maar nieuwe technologieën moeten in vergelijking met conventionele technologie ook voldoende veilig, stil en schoon[6] zijn. Daarnaast moet het gebruik ervan aansluiten bij de voorkeuren van passagiers: aantrekkelijk product, comfortabel enzovoort.

In bijlage B gaan we dieper in op de belemmeringen die voor de verschillende reductieopties overwonnen moeten worden. Vanwege de grote rol die biobrandstoffen zullen moeten spelen om de CO_2-uitstoot van de luchtvaart fors te verlagen, lichten we hier alleen de belangrijkste belemmeringen en onzekerheden rondom biobrandstoffen toe. Deze zijn samen te vatten als prijs, beschikbaarheid, CO_2-reductie ten opzichte van standaardkerosine en veiligheid. In de tekstbox worden deze factoren verder toegelicht.

Onzekerheden reductiepotentieel biobrandstof

Momenteel is de prijs van biokerosine minimaal twee keer zo hoog als de prijs van conventionele kerosine (Ecofys, 2013). In de toekomst zal die prijs door innovaties en leereffecten naar verwachting wel dalen, maar het is onduidelijk wanneer hij in de buurt van de prijs van conventionele kerosine komt. Dit is mede afhankelijk van de mate waarin de olieprijs in de toekomst stijgt.

De hoeveelheid beschikbare biokerosine is nu nog beperkt. Er zijn flinke investeringen in raffinagecapaciteit nodig om grotere volumes te kunnen produceren. Echter, zo lang er een groot prijsverschil bestaat tussen biokerosine en conventionele kerosine, is er weinig tot geen prikkel om die investeringen te doen (Ecofys, 2013). Een andere onzekerheid over de beschikbaarheid is de aanwezigheid van voldoende landbouwgrond om de grondstoffen voor biokerosine te verbouwen. Gelet op de toenemende wereldbevolking, met een daarbij behorende toenemende voedselbehoefte, is onduidelijk of die grond er is zonder dat dit tot (sterk) toenemend indirect landgebruik leidt. Voor grondstoffen die weinig vruchtbare landbouwgrond vereisen, bijvoorbeeld algen, zijn nog technologiedoorbraken nodig. Daarnaast zullen ook andere economische sectoren de grondstoffen goed kunnen gebruiken voor de verduurzaming van hun processen. De vraag is dus welk deel van de grondstoffen beschikbaar kan zijn voor biobrandstoffen voor de luchtvaart. Deze beschikbaarheid zal sterk samenhangen met de kosten van grondstoffen en de bereidheid van actoren uit de verschillende sectoren om hiervoor te betalen.

De CO_2-reductie van biobrandstoffen ten opzichte van conventionele kerosine (bij dezelfde energie-inhoud) is sterk afhankelijk van het type grondstof dat voor de biobrandstoffen wordt gebruikt. Conventionele, oliehoudende gewassen, zoals koolzaad, palmolie en sojaolie, scoren relatief laag (reductie van 20% tot 50%). Energierijke, houtachtige gewassen en algen scoren relatief hoog (meer dan 90%). In deze percentages is echter nog geen rekening gehouden met de effecten van veranderend landgebruik (direct en indirect) (UKCCC, 2009).

Tot slot is ook veiligheid een aandachtspunt. Momenteel is het toegestaan dat luchtvaartmaatschappijen tot 50% biokerosine bijmengen (Van der Hagen, 2012). Het moet nog worden aangetoond dat vliegen op hogere percentages (tot uiteindelijk 100%) voldoende veilig is.

[6] Dit zijn alle andere emissies dan CO2, bijvoorbeeld NOx, dat invloed heeft op de lokale luchtkwaliteit.

De aanname in deze studie dat met biobrandstof in 2050 een emissiereductie van 80% bij alle vluchten wordt bereikt, kan worden gezien als een zeer optimistische inschatting. De UK Committee on Climate Change (2009) vindt het bijvoorbeeld verstandig om ervan uit te gaan dat biobrandstoffen in 2050 niet meer dan 10% van de totale brandstofvraag van de luchtvaart vervullen[7]. De commissie gaat bovendien uit van een CO_2-reductie van 50% ten opzichte van conventionele kerosine. Wat in 2050 in de praktijk mogelijk blijkt, wordt bepaald door de ontwikkelingen op tal van facetten (zie tekstbox). Om deze reden is in figuur 2.2 een optimistisch scenario met en zonder biobrandstoffen weergegeven. Hiermee wordt een bandbreedte zichtbaar van de reductie die met biobrandstoffen mogelijk is.

Vanwege de belemmeringen rondom de inzet van diverse reductieopties zal het reductiepotentieel niet automatisch benut kunnen worden en mogelijk ook niet volledig. Wereldwijd werken echter tal van actoren uit de aerospace-industrie en kennisinstellingen aan onderzoek en ontwikkeling om (met name technische) belemmeringen op te lossen. Bijvoorbeeld in Europese onderzoeksprogramma's zoals Clean Sky. Ook beleidsmaatregelen, zoals het huidige EU-ETS[8], kunnen een prikkel geven voor de verdere ontwikkeling van reductieopties en het oplossen van belemmeringen, omdat zij de vraag naar CO_2-reducerende technologieën vergroten (zie hoofdstuk 3). Dit neemt niet weg dat er grote onzekerheden zijn over de haalbaarheid van het totale pakket van optimistische en futuristische reductieopties. Hiermee dient rekening te worden gehouden bij de interpretatie en het gebruik van deze analyses.

2.4 Reductiepotentieel in relatie tot ambities

Zowel partijen uit de luchtvaartsector als overheden hebben ambities geformuleerd voor een lagere CO_2-uitstoot. De Europese Commissie formuleert in onder andere het Witboek Transport (EC, 2011) de ambitie voor een algemene CO_2-reductie voor de verkeer- en vervoerssector van 60% in 2050 ten opzichte van 1990, met daarbinnen voor de luchtvaart een minder vergaande CO_2-reductie van 34% in 2050 ten opzichte van 2005 (EurActiv, 2011). Daarnaast noemt het Witboek een specifieke subdoelstelling voor de luchtvaart: de inzet van 40% biobrandstof in 2050.

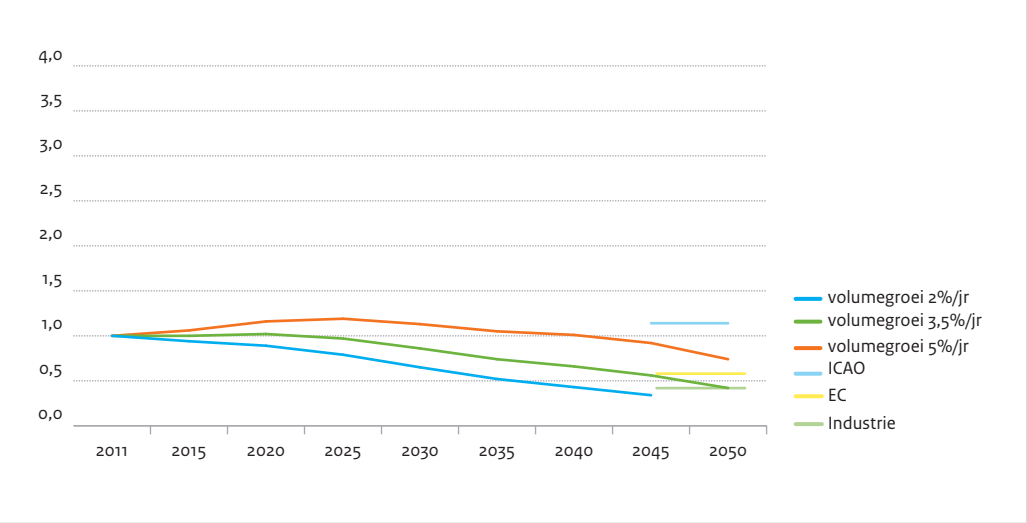
De International Civil Aviation Organization (ICAO) stelt als streefcijfer voor om wereldwijd tot 2050 jaarlijks de brandstofefficiëntie van de luchtvaart met 2% te verbeteren. Dit streefcijfer is niet-bindend voor de lidstaten van de ICAO. Daarnaast is het de ambitie om na 2020 de wereldwijde CO_2-uitstoot van vliegtuigen te stabiliseren op het niveau van 2020 (ICAO, 2010).

De belangrijkste vertegenwoordigers van de luchtvaartindustrie[9] hebben gezamenlijk als ambitie gesteld de brandstofefficiëntie tot 2020 jaarlijks met 1,5% te verbeteren. Daarna zal de luchtvaart CO_2-neutraal moeten groeien. In 2050 zou de uitstoot tenslotte 50% lager moeten zijn dan in 2005 (IATA, 2009).

In figuur 2.5 zijn de verschillende ambities voor 2050 (stippellijnen) gecombineerd met de ontwikkeling van de CO_2-uitstoot bij de inzet van de optimistische reductieopties, bij de drie volumegroeipercentages (2%, 3,5% en 5% per jaar). Figuur 2.5 laat duidelijk zien dat de diverse ambities voor 2050, gegeven de aannames over reductiepotentieel, alleen haalbaar zijn bij een volumegroei van 3,5% per jaar of minder in combinatie met een grootschalige inzet van duurzame biobrandstof.

[7] De commissie geeft echter ook aan dat niet moet worden uitgesloten dat een aandeel van 20% of 30% biobrandstof mogelijk is.
[8] Het Europese emissiehandelssysteem.
[9] International Air Transport Association (IATA), Airports Council International (ACI), Civil Air Navigation Services Organization (CANSO) en International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations (ICCAIA).

Figuur 2.5 Ontwikkeling van de CO_2-uitstoot bij toepassing van de optimistische reductieopties (inclusief biobrandstoffen) bij drie verschillende volumegroei-percentages, ten opzichte van diverse ambities. De uitstoot is geïndexeerd naar 2011.



Bij de ambities van de EU, en mogelijk ook de luchtvaartindustrie en de ICAO, is de IPCC-rekenregel toegepast dat biobrandstoffen 'CO_2-neutraal' zijn voor de sector die ze toepast. CO_2-emissies van bijvoorbeeld de grondstofwinning en de biobrandstofproductie zouden moeten terugkomen in de emissiereductiedoelen voor de landbouw- en energiesector/industrie. De ambities voor de luchtvaartsector zijn bij deze regel makkelijker te halen dan bij de rekenregel die wij in onze analyse hebben toegepast, namelijk dat biobrandstof maar voor 80% CO_2-neutraal is (dat wil zeggen 80% CO_2-reductie levert ten opzichte van kerosine, op energiebasis). Zouden we in de rekenvoorbeelden de IPCC-regel volgen, dan komen de emissies van de optimistische (en daarmee ook de futuristische) reductieopties in 2050 op nul uit.

Omdat biobrandstoffen in werkelijkheid niet CO_2-neutraal zijn en er geen dekkend mondiaal systeem is voor de CO_2-emissies van de grondstofwinning en productie van biobrandstof, die vaak buiten Europa plaatsvindt en dus niet onder EU-doelen en/of het ETS valt, hebben we in deze *quick scan* gekozen voor de presentatie van de levenscyclusemissies[10]. Dit geeft een representatiever beeld van de werkelijk behaalde emissiereductie.

2.5 Reductiepotentieel van alternatieven voor vliegen

Het wordt eenvoudiger de ambities voor de CO_2-uitstoot van de luchtvaart te bereiken naarmate het groeitempo van de vraag naar luchtvaart lager ligt. Het groeitempo wordt mede beïnvloed door de mate waarin er aantrekkelijke alternatieven zijn voor vliegen. We kijken in deze paragraaf specifiek naar de potentie van hogesnelheidstreinen en elektronisch vergaderen, die vaak worden genoemd als mogelijke alternatieven voor vliegen.

[10] Om toch een vergelijking te kunnen maken op basis van het principe ' biobrandstoffen zijn CO2-neutraal', zouden de volumegroeilijnen in de grafiek ook geïnterpreteerd kunnen worden als 80% gebruik van biobrandstoffen (in plaats van 100%). In dat geval is de conclusie dat ook met 80% inzet van biobrandstof de genoemde ambities haalbaar lijken, mits de volumegroei kleiner of gelijk is aan 3,5% per jaar.

Tot een afstand van ongeveer 800 kilometer kan de (hogesnelheids)trein in reistijd en kosten concurreren met het vliegtuig. Een eerdere KiM-studie gaat ervan uit dat in 2020 maximaal 1,6 miljoen vliegreizen van en naar Schiphol te vervangen zijn door reizen met de hogesnelheidstrein (Jorritsma, 2008)[11]. Dit komt neer op circa 2,5% van het aantal vluchten op Schiphol. In de Medium Term Forecast 2012 – 2018 verwacht Eurocontrol (2012) dat de ontwikkeling van hogesnelheidslijnen in heel Europa tot 2018 leidt tot een afname van 0,4% van het aantal vliegbewegingen ten opzichte van het groeipad. Indien deze ontwikkeling lineair wordt geprojecteerd op 2050, dan zou dit, als al het overige gelijk blijft, kunnen leiden tot een CO_2-reductie van ten minste 2,2%. In de praktijk kan dit meer zijn, omdat bij vluchten over korte afstand relatief meer CO_2 per kilometer wordt uitgestoten dan bij lange vluchten.

Elektronisch vergaderen (*video conferencing*) en beeldbellen met software zoals Skype kan, zowel zakelijk als privé, een interessant alternatief zijn voor echte ontmoetingen waarvoor een vliegreis noodzakelijk is. Wat het effect hiervan is op het aantal vliegtuigkilometers, is moeilijk in te schatten. Er zijn bijeenkomsten die alleen maar de moeite waard zijn als mensen elkaar in levende lijve ontmoeten. Er zijn ook bijeenkomsten die alleen maar online plaatsvinden en waarvoor nooit gereisd zou hoeven worden. En er is een overlappend gebied waar beide opties mogelijk zijn (Julsrud, 2010; Mensink, 2010). Het is afhankelijk van de mate waarin de behoefte aan de diverse type bijeenkomsten groeit, of dit het volume aan vliegverkeer verandert.

In de studie van de UK Committee on Climate Change (2009) varieert het ingeschatte effect van *video conferencing* in 2050 van 0% (meest waarschijnlijke scenario) tot 30% van de zakenreizen (speculatieve scenario). In de praktijk blijken dit soort hoge percentages echter alleen gehaald te worden in die gevallen waarin mensen uit hetzelfde bedrijf bijeenkomen. De UKCCC geeft daarnaast aan dat *video conferencing* ook kan leiden tot een groter aantal bijeenkomsten, met per saldo geen effect op het aantal zakelijke vliegreizen.

Het is al met al onzeker of deze alternatieven voor vliegen – HSL en elektronisch vergaderen – een substantieel effect hebben op de CO_2-uitstoot door de luchtvaart. Om de eerder genoemde ambities te halen blijven alle andere reductieopties nodig, tenzij beleidsmaatregelen worden ingezet die de groei van de vraag naar luchtvaart op andere wijze fors beperken.

[11] Op de relaties Amsterdam-Brussel, Amsterdam-Parijs en Amsterdam-Londen.

Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor

3 Beleidsopties

3.1 Inleiding

Beleidsopties hebben betrekking op de beleidsinstrumenten die de Nederlandse overheid kan inzetten, of in internationaal verband kan nastreven om de luchtvaart te verduurzamen. De beleidsopties kunnen worden ingezet om de belemmeringen voor de toepassing van reductieopties weg te nemen die de markt niet vanzelf kan wegnemen. In theorie zijn tal van beleidsinstrumenten mogelijk, en ieder instrument kan op diverse wijzen nader worden ingevuld. Het is niet de rol van het KiM om aan te geven welke instrumenten de overheid moet inzetten en hoe deze er precies uit moeten zien. Dit hoofdstuk biedt wel een conceptueel kader om systematisch na te denken over mogelijke beleidsopties. Dit kan het ministerie van IenM helpen bij het bepalen van een beleidsstrategie.

3.2 Internationaal speelveld

Luchtvaart is in veel gevallen een internationale activiteit, waarbij personen en goederen vervoerd worden tussen verschillende landen en vaak ook tussen verschillende continenten. Al vroeg in de ontwikkeling van de luchtvaart werd daarom erkend dat het voor een veilige en ordelijke ontwikkeling van de internationale luchtvaart van belang is om wereldwijd afspraken te maken over regulering. In 1944 werd daartoe binnen de VN de International Civil Aviation Organization (ICAO) opgericht. Via de ICAO werken 191 lidstaten samen aan de regulering van de burgerluchtvaart, onder andere door normen en regels te stellen voor luchtvaartveiligheid, beveiliging, efficiëntie en milieubescherming (ICAO, 2012). In het Kyoto-protocol over de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen is vastgelegd dat de ICAO het gremium is waarin ontwikkelde landen de aanpak van emissiereducties van de internationale luchtvaart uitwerken.

Hoewel de ICAO voor overheden het belangrijkste wereldwijde gremium is om stappen te zetten op het gebied van duurzame luchtvaart, zijn er ook mogelijkheden op Europees of nationaal niveau. De potentiële effectiviteit van maatregelen neemt echter af naarmate het geografische schaalniveau kleiner wordt, terwijl de kans op *carbon leakage* en te grote concurrentienadelen toeneemt. Daarnaast is het van belang dat nationale of Europese maatregelen niet in strijd zijn met internationale afspraken en verdragen. In concrete gevallen wordt dit vaak betwist, zoals bij het Europese emissiehandelssysteem voor de luchtvaart, waardoor internationale weerstand ontstaat om de verplichtingen na te leven die uit de betreffende maatregel voortkomen.

De totstandkoming van wereldwijde, effectieve maatregelen voor de reductie van CO_2-emissies door de internationale luchtvaart is in de praktijk een langdurig proces. Onder meer doordat landen het moeilijk eens kunnen worden over het verdelen van de lasten. In het Klimaatverdrag van de Verenigde Naties (United Nations Framework Convention on Climate Change, afgekort UNFCCC) is vastgelegd dat gezamenlijke actie van landen noodzakelijk is, maar wel in overeenstemming met hun gemeenschappelijke maar gedifferentieerde verantwoordelijkheden en respectieve capaciteiten en hun sociale en economische omstandigheden[12]. Dit principe speelt ook mee bij de onderhandelingen binnen de ICAO, maar botst met het daar over het algemeen gehanteerde uitgangspunt dat alle luchtvaartmaatschappijen uit alle landen op dezelfde wijze moeten worden behandeld.

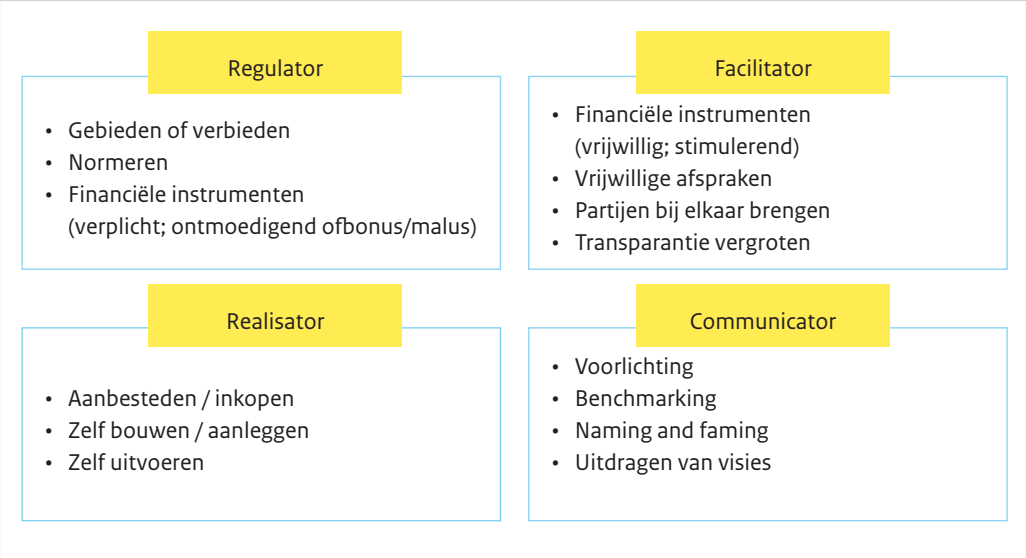
[12] "Common but differentiated responsibilities (CBDR) and respective capabilities."

Tot nu toe is er dan ook weinig vooruitgang geboekt bij het afspreken van concrete maatregelen. De ICAO heeft, op aandringen van verdragspartijen, lange tijd vooral ingezet op vrijwillige en bilaterale afspraken (T&E, 2010). Vanwege het gebrek aan voortgang in het ICAO-proces heeft de EU ervoor gekozen om de luchtvaart op te nemen in het bestaande emissiehandelssysteem. Deze keuze en de concrete invulling van de maatregel ontmoeten grote weerstand van landen die menen dat een eenzijdig opgelegde maatregel niet in lijn is met afspraken binnen de ICAO. Er zijn echter ook beleidsopties denkbaar die zonder internationale weerstand op het Europese of Nederlandse niveau kunnen worden ingezet (zie later in dit hoofdstuk).

3.3 Overheidsrollen

Overheden kunnen handelen vanuit diverse rolopvattingen. We onderscheiden vier basisrollen: *regulator*, *facilitator*, *realisator* en *communicator*. Bij deze rollen passen op een wat minder abstract niveau verschillende activiteiten. Figuur 3.1 geeft een overzicht van de basisrollen en voorbeelden van daarbij behorende activiteiten. De voorbeelden zijn niet uitputtend. Deze indeling is in principe toepasbaar voor alle beleidsterreinen. Bij elke rol passen ook diverse beleidsinstrumenten. In paragraaf 3.4 vullen we deze overheidsrollen voorbeeldsgewijs in met het oog op een duurzame luchtvaart.

Figuur 3.1 Overheidsrollen en voorbeelden van bijbehorende activiteiten.



Voor een juist gebruik ervan plaatsen we twee kanttekeningen bij bovenstaande indeling van de basisrollen en de daarbij behorende activiteiten. De eerste kanttekening is dat de overheid in de praktijk bij een bepaald beleidsdossier vrijwel altijd vanuit meerdere rollen opereert. Het gewicht van de diverse rollen is bovendien dynamisch in de tijd. Daarnaast zijn vaak meerdere overheidslagen met hetzelfde vraagstuk bezig, waardoor ook tussen overheidslagen de zwaartepunten in rolverdeling anders liggen. De tweede kanttekening is dat getwist zou kunnen worden over de definitie van de rollen en over de vraag of sommige activiteiten nu bij de ene of de andere rol horen. Is het zijn van *launching customer* faciliterend of valt het onder de rol van realisator (de overheid koopt immers iets in)? En hoe zit het met het wegnemen van belemmerende regelgeving? Is dat de rol van de regulator of juist van de facilitator? Een precieze en kloppende indeling wordt met de voorbeelden echter niet beoogd. De werkelijkheid is divers en multidimensioneel en met deze indeling wordt die diversiteit teruggebracht tot een handzaam aantal categorieën. Dit biedt handvatten om op een systematische manier na te denken over beleidsopties.

Regulator

In de rol van regulator gaat het om het toepassen van een hoge mate van dwang. Dit kan door bepaalde activiteiten of gedragingen te gebieden of te verbieden, door normen te stellen of door financiële prikkels in te bouwen die een bepaald gewenst gedrag figuurlijk afdwingen, omdat het alternatieve gedrag voor een deel van de doelgroep te duur is.

In de literatuur over emissiereductie hebben overheden meestal de rol van regulator. Een zekere mate van dwang is namelijk nodig omdat de private baten van emissiereductie vaak kleiner zijn dan de private kosten, terwijl de maatschappelijke baten wel groter kunnen zijn dan de maatschappelijke kosten. Economische actoren zijn daarom niet geneigd om uit zichzelf emissies te reduceren.

Vanwege het mondiale karakter van de luchtvaart is regulering het meest effectief op mondiaal niveau. ICAO is hiervoor het meest geëigende gremium. Voor zover mondiale maatregelen voor alle maatschappijen in gelijke mate gelden, spelen *carbon leakage* en concurrentie-effecten niet of nauwelijks een rol. Deze effecten worden sterker naarmate mondiale maatregelen niet voor alle maatschappijen in gelijke mate gelden of wanneer maatregelen op kleinere geografische schaal worden ingevoerd.

Facilitator

In de rol van facilitator gaat het juist niet om het toepassen van dwang, maar om het scheppen van voorwaarden die derden tot het gewenste gedrag stimuleren. Dit kan door financiële prikkels in te bouwen die bepaald gedrag belonen, zonder daarmee het ongewenste gedrag te ontmoedigen. Het kan ook door partijen onderling (of met een overheid) vrijwillige afspraken te laten maken, of door partijen bij elkaar te brengen om kennis te delen. Daarnaast valt te denken aan het vergroten van de transparantie (bijvoorbeeld via certificering of een keurmerk), zodat relevante betrokkenen op basis van betere informatie hun keuzes kunnen maken.

Omdat het vanuit deze rol niet gaat om maatregelen die leiden tot een kostenverhoging en daarmee tot concurrentie-effecten, kunnen overheden deze rol op elk niveau (wereldwijd, Europees of nationaal) nastreven. Dat geldt ook voor de nog te bespreken rollen ‘realisator’ en ‘communicator’.

Realisator

Als realisator zorgt de overheid zelf actief voor de totstandkoming van een bepaald goed of dienst. Dit kan door zelf de productie hiervan ter hand te nemen, of door hiervoor opdracht te geven aan een marktpartij door middel van aanbesteden of inkopen. Op het gebied van emissiereducties is de rol van realisator over het algemeen beperkt. De overheid bouwt zelf geen vliegtuigen noch investeert in productie-installaties van CO_2-arme brandstoffen. Wel is het mogelijk dat de overheid via haar rol als realisator indirect invloed heeft op emissies, bijvoorbeeld door infrastructuur aan te leggen waarmee zuiniger vervoerwijzen worden gestimuleerd. Daarnaast is de overheid zelf soms ook ‘consument’ en kan zij via inkoopbeslissingen bijdragen aan het reduceren van emissies.

Communicator

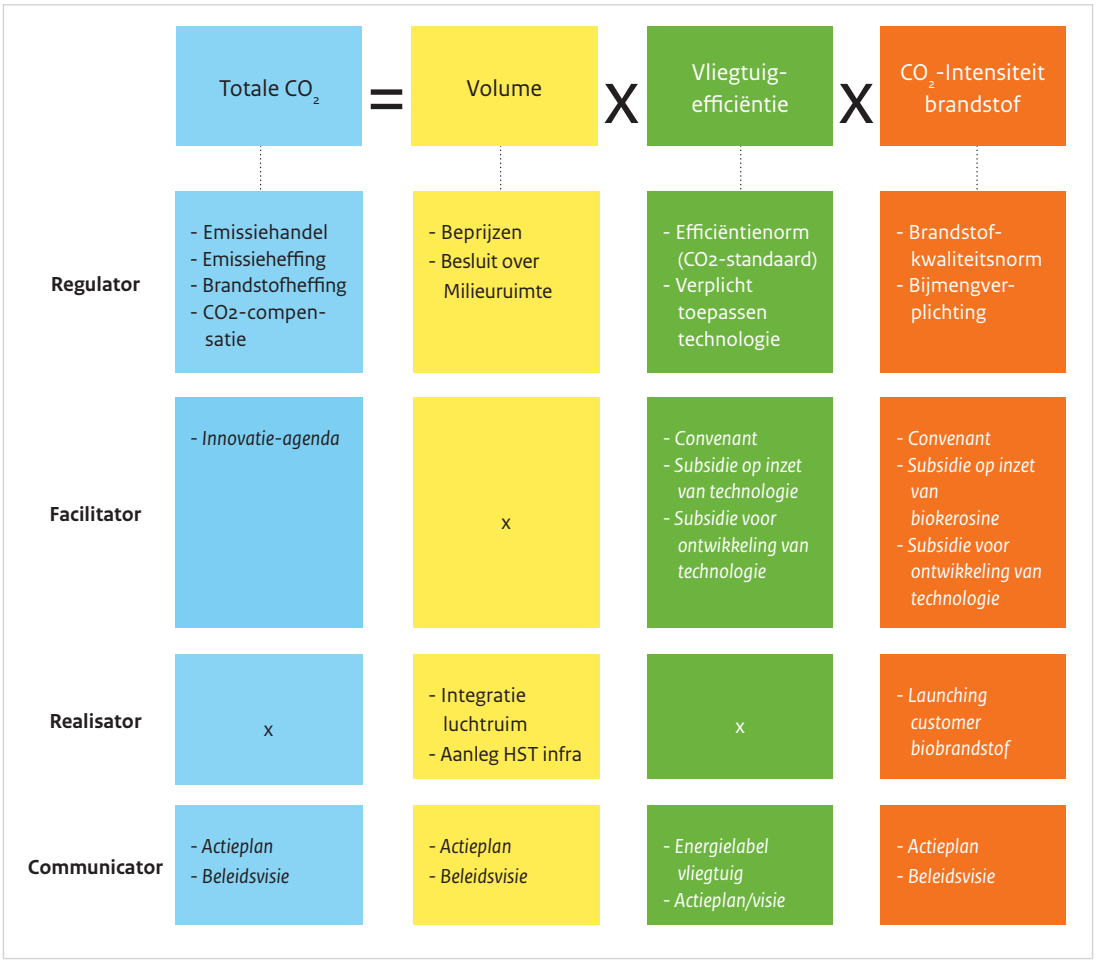
Als communicator heeft de overheid vooral een informerende rol. Dit kan bijvoorbeeld door voorlichting te geven, door informatie te verstrekken over (milieu)prestaties van bedrijven, producten of diensten, en eventueel goede prestaties te loven. De overheid geeft daarnaast richting aan de samenleving door duidelijk te communiceren over haar beleidsvisies.

3.4 Voorbeelden van beleidsopties

In hoofdstuk 1 is het denkraam geschetst dat de CO_2-uitstoot van de luchtvaart kan worden gezien als het product van drie factoren: volume, voertuigefficiëntie en CO_2-intensiteit van de brandstof. Elke factor kent zijn eigen reductieopties, en ook beleidsopties grijpen op één of meerdere van deze factoren aan.

Figuur 3.2 biedt een aantal voorbeelden van beleidsopties per factor en per overheidsrol. De beleidsopties zijn toegevoegd om een breed, maar niet noodzakelijkerwijs uitputtend overzicht te bieden van de mogelijkheden om op nationaal, Europees of wereldwijd niveau de inzet van reductieopties te bevorderen.

Figuur 3.2 Voorbeelden van beleidsopties per overheidsrol die samenhangen met de aangrijpings-punten (knoppen) voor CO2.



In de volgende subparagrafen bespreken we per factor deze voorbeelden voor mogelijke beleidsopties, inclusief concrete invullingen hiervan die inmiddels in de praktijk bestaan, of waarover serieus wordt nagedacht. Het gaat hier nadrukkelijk om een greep uit wat mogelijk is, niet om wat zou moeten of wat zinvol is, hetzij als beleidsmaatregel door de Nederlandse overheid, hetzij als maatregel die de Nederlandse overheid op Europees of mondiaal niveau zou kunnen nastreven.

Bij de afweging wat de Nederlandse overheid in Nederland kan doen en wat de Nederlandse overheid met internationale partners wil nastreven, speelt mee welke doelen zij heeft met betrekking tot emissiereductie en welke effecten en neveneffecten gewenst en ongewenst zijn. Dit is een politiek vraagstuk, waarop geen objectief antwoord mogelijk is. In theorie kunnen alle beleidsopties op het nationale schaalniveau worden toegepast. In de praktijk zal dit niet voor alle opties als even effectief of efficiënt worden beoordeeld. Bijvoorbeeld omdat de concurrentiepositie van de Nederlandse luchtvaart te veel benadeeld wordt, zoals geconcludeerd werd rondom de vliegbelasting (beprijzen gericht op het volume) die alleen in Nederland van kracht was en niet in de ons omringende landen. Als het enige criterium zou zijn dat de concurrentiepositie van de Nederlandse luchtvaartsector niet of nauwelijks door maatregelen wordt aangetast, dan zijn vrijwel alle faciliterende, realiserende en communicerende beleidsopties geschikt om in de Nederlandse context te worden toegepast, los van wat andere landen doen. In figuur 3.2 is dit aangegeven door de betreffende beleidsopties schuingedrukt weer te geven. De opties 'integratie luchtruim' en 'aanleg HST-infra' zijn niet schuingedrukt, omdat de effectiviteit van dergelijke opties binnen alleen een Nederlandse context beperkt is[13].

3.4.1 Beleidsinstrumenten die aangrijpen op alle knoppen

Er zijn verschillende beleidsinstrumenten die leiden tot een afname van de totale CO_2-uitstoot van de luchtvaart, waarbij alle drie de factoren in meer of mindere mate worden beïnvloed. In figuur 3.2 zijn verscheidene voorbeelden hiervan in de blauwe kolom geplaatst.

Regulator

Vanuit een regulerende rol valt te denken aan emissiehandel, emissieheffing, brandstofheffing of CO_2-compensatie. Dergelijke instrumenten bieden een prijsprikkel die leidt tot een algemene kostenverhoging van de uitstoot van CO_2. Indien de kostenverhoging aan klanten wordt doorberekend, daalt het volume. Dit biedt een prikkel voor luchtvaartmaatschappijen om de efficiëntie van hun operaties te verhogen, hetzij via de efficiëntie van hun vloot, hetzij via een alternatieve brandstof die netto minder bijdraagt aan het CO_2-gehalte in de atmosfeer.

Het EU-ETS is een concrete uitvoering van een emissiehandelssysteem. Binnen het EU-ETS zijn diverse economische sectoren, waaronder de luchtvaart van, naar en binnen Europa[14], er gezamenlijk verantwoordelijk voor dat hun gezamenlijke uitstoot past binnen een vooraf bepaald plafond, zonder dat de daarvoor benodigde emissiereducties naar evenredigheid bij alle partijen en sectoren moeten plaatsvinden. Reductieopties in de luchtvaartsector komen binnen dit systeem pas aan de beurt als goedkopere reductieopties in andere sectoren zijn uitgeput.

Binnen de ICAO vindt op dit moment een proces plaats dat uiteindelijk moet leiden tot een wereldwijde aanpak met een zogeheten marktconforme maatregel (ook wel *market based measure* genoemd). Tevens wordt een raamwerk ontwikkeld waarin nationale of regionale marktconforme maatregelen kunnen bestaan, tot aan de implementatie van een wereldwijd systeem. Voor de wereldwijde maatregel zijn momenteel nog drie opties in beeld: een wereldwijd emissiehandelssysteem (*cap-and-trade*) en een wereldwijd CO_2-compensatiesysteem met en zonder opbrengstgenererend mechanisme (Euractiv, 2012). Een emissieheffing is een *market based measure* die in theorie ook geschikt kan zijn. Een brandstofheffing is eveneens mogelijk, maar is vanwege allerlei bilaterale luchtvaartverdragen erg moeilijk in de praktijk te brengen (Kolkman, 2010)[15]. Beide opties zijn bovendien niet in beeld omdat ze lastige discussies oproepen over de vraag of belastingen en heffingen nu wel of niet in strijd zijn met bepalingen uit het Verdrag van Chicago.

[13] Bij integratie luchtruim gaat het per definitie om meerdere landen. De infrastructuur voor de hogesnelheidstrein kan alleen effect hebben op het vliegverkeer als dit aansluit op de (hogesnelheids)netwerken van andere landen, omdat er in Nederland vrijwel geen commerciële binnenlandse vluchten zijn.

[14] Voor het handelsjaar 2012 is een uitzondering gemaakt en vallen alleen de emissies van intra-Europese vluchten onder het EU-ETS. De EU wil hiermee ruimte bieden aan het proces om in de ICAO tot wereldwijde afspraken te komen.

[15] Voor meer informatie over prijsprikkels in de luchtvaart of het ETS-systeem in het bijzonder verwijzen we naar de KiM-rapporten 'Belastingen en heffingen in de luchtvaart' (Kolkman, 2010) en 'De luchtvaart in het EU-emissiehandelssysteem; gevolgen voor de luchtvaartsector, consumenten en het milieu' (Kolkman et al., 2012).

Facilitator

Vanuit een faciliterende rol valt te denken aan het opstellen van een innovatieagenda, waarbij de overheid (nationaal of Europees) het initiatief neemt om samen met alle belanghebbenden (luchtvaartmaatschappijen, luchthavens, maak- en onderhoudsindustrie en kennisinstellingen) vast te stellen welke kennis en innovatie de komende decennia ontwikkeld moet worden, om hiermee richting te geven aan het innovatieproces. De Kennis- en Innovatie Agenda Luchtvaart is een voorbeeld van een concrete invulling hiervan.

Realisator en communicator

Vanuit de rol van realisator zijn er geen voorbeelden denkbaar van beleidsopties die op alle drie de factoren tegelijk kunnen aangrijpen. Op het gebied van communicatie kan het nuttig zijn een beleidsvisie op het gebied van duurzame luchtvaart op te stellen, waarin wordt aangegeven langs welke weg(en) de Rijksoverheid een duurzame luchtvaart wil bevorderen. Een concreet voorbeeld van een communicatief instrument op wereldwijd niveau zijn de '*State action plans*'. In de laatste Algemene Vergadering van de ICAO is besloten om lidstaten uit te nodigen vrijwillig actieplannen in te dienen die aangeven welk beleid zij willen voeren en welke acties zij gaan ondernemen op het gebied van duurzame luchtvaart. Daarnaast wordt de lidstaten gevraagd jaarlijks te rapporteren over de emissies van de internationale luchtvaart. Het delen van de plannen en cijfers moet bijdragen aan het behalen van de wereldwijde ICAO-streefdoelen voor de CO_2-uitstoot door de luchtvaart.

3.4.2 Beleidsinstrumenten die aangrijpen op volume

Over het algemeen zijn maatregelen die slechts het volume van de luchtvaart beperken, niet populair. Desalniettemin zijn er diverse beleidsopties die hierop kunnen aangrijpen (gele kolom in figuur 3.2).

Regulator

Met nationaal ruimtelijkeordenings- en milieubeleid kan de overheid meer of minder ruimte geven aan de groei van luchthavens en aan de ontwikkeling van de landzijdige bereikbaarheid. Als luchthavens gebonden zijn aan bepaalde fysieke ruimte of milieuruimte, of als niet geïnvesteerd wordt in het op peil houden of verbeteren van de landzijdige bereikbaarheid, dan zal dit effect hebben op de groei van het volume.

Vanuit een regulerende rol valt ook te denken aan beprijzing, bijvoorbeeld in de vorm van een vliegbelasting[16]. In Nederland was van juli 2008 tot en met juni 2009 een vliegbelasting van kracht. De maatregel was van kortere duur dan aanvankelijk voorzien, vanwege te grote, ongewenste neveneffecten op de vraag naar vliegen[17]. In Europa heffen op dit moment Duitsland, Oostenrijk en Groot-Brittannië een vliegbelasting met een substantiële omvang per ticket.

Realisator

Een concreet voorbeeld van zaken die de overheid zelf kan uitvoeren, is al het beleid dat moet leiden tot de integratie van het Europese luchtruim, ofwel de vorming van een *Single European Sky* (SES). Door SES kunnen vliegtuigen makkelijker de hemelsbreed kortste afstand vliegen, waardoor het aantal tonkilometers afneemt zonder dat dit de vraag naar vliegen beperkt. Als het kostenvoordeel dat hierdoor ontstaat wordt doorgegeven aan passagiers, zou de vraag naar vliegen zelfs toe kunnen nemen. Indien een dergelijk *rebound effect* optreedt, zal het toegenomen vliegverkeer de volumereductie deels ongedaan maken.

Er liggen ook aangrijpingspunten op het gebied van *modal shift*. In essentie gaat het dan om beleid dat erop gericht is de aantrekkelijkheid van relatief schonere alternatieven voor vliegen te verhogen. Dit kan zorgen voor een afname van het volume van het vliegverkeer en een toename van het volume van ander verkeer met per saldo minder CO_2-emissies. Hiervoor zijn meerdere opties denkbaar. Bijvoorbeeld de aanleg van hogesnelheidslijnen, waarmee het netwerk groeit van plaatsen die goed per hogesnelheidstrein bereikbaar zijn.

[16] Een vliegbelasting grijpt slechts aan op de factor volume als deze niet differentieert naar milieuprestatie. Is dit wel het geval, dan kan een dergelijk instrument ook op de twee overige factoren aangrijpen.

[17] Voor een analyse van de effecten van vliegbelasting zie Gordijn en Kolkman (2011).

Facilitator en communicator

Vanuit een faciliterende rol is het lastig om concrete voorbeelden te vinden die specifiek aangrijpen op volume. In de rol van communicator is het mogelijk dat de overheid in een actieplan of beleidsvisie aangeeft ook specifiek op het volume van het vliegverkeer te willen sturen door te communiceren over maatregelen die in de regulerende of realiserende sfeer liggen.

3.4.3 Beleidsinstrumenten die aangrijpen op vliegtuigefficiëntie

Het vergroten van de vliegtuigefficiëntie is een belangrijke pijler in de strategie van de luchtvaartindustrie. Enerzijds om de operationele kosten voor luchtvaartmaatschappijen te verlagen en anderzijds om de duurzaamheid van de sector te vergroten. In deze paragraaf komen de beleidsopties aan bod die zich specifiek richten op een verhoging van de vliegtuigefficiëntie. In figuur 3.2 worden deze opties weergegeven in de groene kolom.

Regulator

Vanuit de regulerende rol zijn twee typen instrumenten denkbaar: wettelijke voorschriften en normen. In het eerste geval wordt voorgeschreven met welke techniek of via welk proces de efficiëntie van vliegtuigen moet worden verbeterd. In het tweede geval gaat het erom dat uitkomsten aan een bepaalde norm voldoen, bijvoorbeeld dat een vliegtuig per gevlogen kilometer niet meer dan een bepaalde hoeveelheid CO_2 mag uitstoten.

Een concreet voorbeeld van een norm is de CO_2-standaard die nu binnen de ICAO ontwikkeld wordt. Het effect op de technologische ontwikkeling hangt echter af van het niveau van de norm: volgt dat niveau de stand van de techniek of daagt het niveau de technologie uit om daar in de toekomst aan te kunnen voldoen? Alleen in het laatste geval is er feitelijk een prikkel voor innovatie en efficiëntieverbetering.

Het niveau van een norm is vaak lastig vast te stellen. Meestal willen overheden dat de norm tegen redelijke kosten haalbaar is. Ook willen zij voorkomen dat de norm alleen tegen hoge kosten kan worden gerealiseerd. Dit vereist dat de overheid beschikt over betrouwbare kosteninformatie, wat lang niet altijd het geval is. Bijvoorbeeld omdat bedrijven kennis hierover uit concurrentieoverwegingen niet willen prijsgeven of kosten hoog voorstellen om strenge normen te voorkomen.

In het algemeen maken overheden voor efficiëntieverbetering vaak gebruik van voortschrijdende normstelling. Bijvoorbeeld bij het wegverkeer zijn sinds 1992 normen van kracht voor de uitstoot van luchtvervuilende stoffen van nieuwe wegvoertuigen, (Euronormen) die sindsdien diverse keren zijn aangescherpt: van Euro1 in 1992 naar binnenkort Euro6. Hierdoor worden verbeteringen uitgesmeerd in de tijd en blijven kosten beperkt. Dezelfde praktijk wordt toegepast bij de Europese CO_2-normering voor personenauto's.

Er zijn verschillende aangrijpingspunten voor een vliegtuigefficiëntienorm denkbaar:
- op vliegtuigniveau;
- op het niveau van de vloot van een luchtvaartmaatschappij (vlootgemiddelde);
- voor een deel van de vloot van een luchtvaartmaatschappij: bijvoorbeeld X% van de vloot moet voldoen aan norm Y.
- op het niveau van een vliegtuigbouwer.

Facilitator

Vanuit een faciliterende rol kan efficiëntieverbetering worden gestimuleerd met financiële prikkels, bijvoorbeeld subsidies, prijsvragen, belastingvoordelen enzovoort. Hierbij is het van belang onderscheid te maken naar financiële prikkels voor de verdere ontwikkeling van een technologie en financiële prikkels voor de uitrol van een technologie (CPB, 2010).

Een financiële prikkel om een technologie via R&D verder te ontwikkelen is zinvol voor reductieopties waarvan de kosten per vermeden ton CO_2 nu nog veel hoger zijn dan de schadekosten per ton CO_2 en waarvan de verwachting bestaat dat technologische ontwikkelingen de kosten per vermeden ton CO_2 omlaag kunnen brengen. Als de inzet van dergelijke reductieopties in dit stadium zou worden afgedwongen door een norm of een hoge heffing (of emissiehandel met laag plafond), dan leidt dit tot hoge kosten (en welvaartsverlies) voor de samenleving.

Bedrijven zullen vaak niet uit zichzelf innovatieve (schone) technieken gaan ontwikkelen. De innoverende partij loopt het risico dat andere partijen (concurrenten) gratis profiteren van de ontwikkelde kennis en daardoor uiteindelijk producten goedkoper kunnen aanbieden, omdat zij ontwikkelkosten niet hoeven terug te verdienen. Patenten nemen dit risico maar ten dele weg. Dit fenomeen – 'second mover advantage' of 'kennisspillover' genoemd – heeft als gevolg dat bedrijven minder in innovatie investeren en minder kennis ontwikkelen dan vanuit maatschappelijk oogpunt wenselijk is (CPB, 2010).

Gericht R&D-beleid[18], bijvoorbeeld een innovatiesubsidie voor een bepaalde technologie of een ontwerpprijsvraag voor zuinige vliegtuigen, kan ervoor zorgen dat het risico van het ontwikkelen van innovatieve technieken voor marktpartijen wordt verminderd. Het R&D-beleid zou vooral gericht moeten zijn op kostenverlaging, zodat de innovatieve techniek in de toekomst emissiereductie oplevert tegen lagere kosten, onder het motto dat de meerkosten van vandaag de minderkosten van morgen zijn (zie ook CPB, 2013). Innovatie kan er met andere woorden voor zorgen dat strengere beleidsmaatregelen in de toekomst wel efficiënt zijn.

In Europa is R&D-beleid onder andere vormgegeven via de kaderprogramma's. Een voorbeeld is het onderzoeksprogramma Clean Sky in het zevende kaderprogramma (KP7). In Nederland krijgt het R&D-beleid onder andere vorm via het topsectorenbeleid.

Een financiële prikkel voor de uitrol van een technologie is zinvol voor reductieopties waarvan de kosten per vermeden ton CO_2 nu nog een beetje hoger zijn dan de schadekosten per ton CO_2 en waarvan de verwachting bestaat dat door schaalvoordelen en leereffecten de kosten per vermeden ton CO_2 omlaag kunnen. Ook bij procesinnovaties rondom al bestaande techniek (de leereffecten) is sprake van kennisspillovers, waardoor er maatschappelijk gezien te weinig kennis wordt ontwikkeld (onderproductie). Dit kan een argument zijn voor een overheidsmaatregel, bijvoorbeeld een uitrolsubsidie.

Realisator en communicator

De overheid is in het algemeen niet actief op het gebied van vliegtuigbouw en heeft derhalve geen rol als realisator op het gebied van vliegtuigefficiëntie. Vanuit de rol van communicator is het mogelijk dat de overheid in een actieplan of beleidsvisie aangeeft met welke maatregelen zij specifiek stuurt op het vergroten van de efficiëntie van vliegtuigen. Daarnaast is het bijvoorbeeld mogelijk om een communicatief instrument in te zetten, zoals een energielabel. De prikkel die hiervan uitgaat is vermoedelijk klein, maar zo wordt voor consumenten beter zichtbaar welke maatschappijen met zuinige toestellen vliegen en welke maatschappijen niet.

3.4.4 Beleidsinstrumenten die aangrijpen op CO_2-intensiteit van de brandstof

In deze paragraaf komen voorbeelden van beleidsopties aan bod die zich specifiek richten op het verlagen van de CO_2-intensiteit van de brandstof. In figuur 3.2 worden de betreffende beleidsopties weergegeven in de rode kolom. Het accent ligt daarbij op opties die de ontwikkeling en het gebruik van duurzame biokerosine bevorderen. Tot 2050 zullen alternatieve aandrijvingsvormen (elektrisch of waterstof) naar verwachting niet of nauwelijks een rol spelen. Uit de analyse in hoofdstuk 2 blijkt dat het gebruik van biokerosine een belangrijke bijdrage moet gaan leveren aan de CO_2-reductie door de luchtvaart, teneinde doelstellingen daarover te halen. Ook de luchtvaartsector ziet dit als een belangrijke peiler in de strategie om de luchtvaart te verduurzamen.

[18] Generiek innovatiebeleid, zoals patentwetgeving, is onvoldoende om innovatie in schone technologie te realiseren. Niet alle kennis is te patenteren en ook blijkt nieuwe kennis in de praktijk meestal voort te bouwen op bestaande kennis. Aangezien de bestaande kennis vooral over 'vuile' technologie gaat, wordt daarover steeds meer kennis ontwikkeld en neemt de afstand met 'schone' technologie toe (CPB, 2013).

Regulator

Eén van de belemmeringen voor de inzet van biokerosine is het prijsverschil met conventionele kerosine, waardoor de vraag naar biokerosine laag blijft. In paragraaf 3.4.1 zijn diverse regulerende instrumenten benoemd, waaronder emissieheffing, die dit prijsverschil kunnen verkleinen.

Andere vormen van regulering kunnen echter ook helpen de vraagkant te ontwikkelen. Bijvoorbeeld een brandstofkwaliteitsnorm of een verplichting voor het bijmengen van bepaalde hoeveelheden biokerosine in kerosine uit fossiele bron. Bij een brandstofkwaliteitsnorm worden eisen gesteld aan bijvoorbeeld de CO_2-emisies over de gehele levenscyclus van een brandstof, in dit geval kerosine. De wijze waarop deze norm moet worden gerealiseerd, is niet ingevuld. In de praktijk kan dit vrijwel alleen door biokerosine bij te mengen (Ecofys, 2013). Zo'n maatregel lijkt in essentie daarom sterk op een bijmengverplichting.

Ook langs indirecte weg kan regulering de vraag naar biokerosine stimuleren. Als gevolg van de Renewable Energy Directive van de EU[19] hebben leveranciers van benzine, diesel of biobrandstof (registratieplichtigen) de verplichting dat een percentage van deze brandstoffen, voor zover deze in het wegverkeer worden gebruikt, van hernieuwbare oorsprong is[20]. Om aan de verplichting te voldoen hoeven de registratieplichtigen niet per sé zelf hernieuwbare energie in te zetten. Ze kunnen ook zogeheten 'biotickets' kopen, zowel van andere registratieplichtigen als van andere partijen die bij de Nederlandse emissieautoriteit een rekening hebben geopend.

In Nederland mag biokerosine sinds begin 2013 meetellen voor het hernieuwbare-energiedoel voor transport. Dit heeft voor leveranciers van biokerosine als voordeel dat zij geld kunnen verdienen met de verkoop van biotickets aan brandstofleveranciers die een verplichting hebben. Leveranciers zullen geld over hebben voor biotickets als deze goedkoper zijn dan het bijmengen van bijvoorbeeld biodiesel. De biokerosine moet wel voldoen aan de duurzaamheidseisen van de *EU Renewable Energy Directive*. Om dit aan te tonen is certificering verplicht. Als de biokerosine uit frituurvet is gemaakt, levert dit een dubbele hoeveelheid biotickets op (op basis van de energiewaarde), omdat frituurvet een vorm van afval is.

Facilitator en realisator

Vergelijkbaar met faciliterende beleidsopties voor vliegtuigefficiëntie is het mogelijk om onderzoek en ontwikkeling op het gebied van biobrandstoffen te stimuleren. Onder andere in het al eerder genoemde Europese zevende kader programma wordt in het project ITAKA onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van biobrandstoffen. Daarnaast werken in Nederland de topsectoren Energie, Chemie en het cross-sectorale thema Biobased Economy in het Topconsortium Kennis en Innovatie BBE (Bio-Energie) samen aan de ontwikkeling van alternatieve (transport)brandstoffen. Hoewel biokerosine in dit topconsortium niet expliciet genoemd wordt, kan de hierin ontwikkelde algemene kennis en ervaring op het gebied van biobrandstoffen worden ingezet bij de ontwikkeling van alternatieve vliegtuigbrandstoffen.

Twee andere beleidsopties uit figuur 3.2 zijn het convenant (facilitator) en de *launching customer* (realisator). In een convenant kan de overheid afspraken maken met relevante partijen over de ontwikkeling en/of het gebruik van bepaalde hoeveelheden biokerosine. In dergelijke afspraken kan de overheid eventueel haar eigen rol als consument van luchtvaartdiensten betrekken, door vast te leggen dat voor een bepaald percentage van de gevlogen kilometers een extra premie wordt betaald om het daarmee mogelijk te maken dat op biobrandstoffen wordt gevlogen.

[19] RED (2009/28/EG).

[20] Dit is een vereenvoudigde weergave van de opgave. De precieze opgave is dat de verhouding van alle hernieuwbare energie die gebruikt wordt in alle vormen van transport, 10% is van alle benzine, diesel en biobrandstoffen die gebruikt worden in het weg- en spoorvervoer en alle elektriciteit die gebruikt wordt in alle vormen van transport (Ecofys, 2013).

Een voorbeeld van een convenant is de Green Deal Biokerosine die KLM in 2011 met de ministeries van Economische Zaken en van Infrastructuur en Milieu heeft afgesloten (Ministerie van Economische Zaken, 2012). Deze deal omvat de inzet van KLM om bekendheid met en gebruik van duurzame biobrandstof door andere partijen in de luchtvaartindustrie te vergroten. Dit wil KLM onder andere bereiken door duurzaamheidstandaarden te ontwikkelen en te investeren in onderzoek, ontwikkeling en demonstratieprojecten. Daarnaast heeft KLM in dit kader een Biofuels Corporate Account programma ontwikkeld. Dit programma stelt bedrijven in staat een deel van hun vluchten op duurzame biobrandstof te vliegen en daarmee de verdere ontwikkeling van biobrandstof te stimuleren. De financiële middelen die dit oplevert, worden besteed aan biobrandstofprojecten.

Communicator
Vanuit de rol van communicator is het mogelijk dat de overheid in een actieplan of beleidsvisie aangeeft met welke maatregelen zij specifiek stuurt op het verlagen van de CO_2-intensiteit van de brandstof.

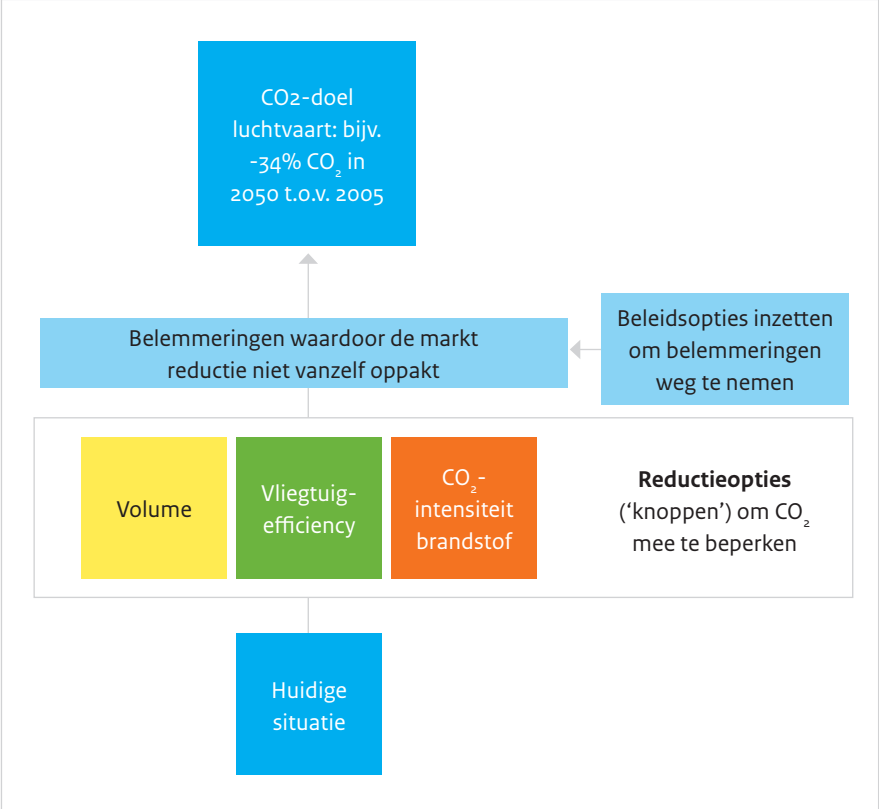
3.5 Effectiviteit en efficiëntie van beleidsopties

De beleidsopties kunnen worden ingezet om belemmeringen voor de toepassing van reductieopties weg te nemen, die de markt niet zelf kan wegnemen. Figuur 3.3 illustreert dit. Enerzijds is sprake van belemmeringen die met behulp van innovatie geslecht moeten worden. Een reductieoptie is nu bijvoorbeeld technisch nog niet voldoende uitontwikkeld, is nog te duur en/of heeft bij het gebruik nog te veel ongewenste neveneffecten (zie ook bijlage B). Aan dit type belemmeringen kan de markt zelf werken. Anderzijds zijn bepaalde vormen van marktfalen (externaliteiten) een belemmering om innovaties op dit gebied (voldoende) te laten plaatsvinden. Zolang de externe kosten van CO_2-uitstoot niet beprijsd zijn, zullen reductieopties relatief te duur blijven en komt een maatschappelijk optimale vraag naar reductieopties niet tot stand. Ook bij innovatieprocessen kunnen externaliteiten (kennisspillovers) een rol spelen, waardoor minder innovatie plaatsvindt dan maatschappelijk gezien optimaal is (zie paragraaf 3.4.3). De in de vorige paragrafen genoemde voorbeelden voor beleidsopties richten zich op het beperken van deze externaliteiten, of op het tegengaan van de gevolgen daarvan.

Het is niet mogelijk op voorhand en in het algemeen te bepalen welke specifieke beleidsoptie het meest effectief en/of efficiënt is. Dit is sterk afhankelijk van de te bereiken doelen en allerlei ontwerpkeuzes. Zo gaat het bij een heffing onder andere om de grondslag (wat wordt er belast), hoe hoog de heffing is, welke administratieve lasten er zijn voor degenen die de heffing moeten betalen, wat de uitvoeringskosten zijn voor de overheid, enzovoort. Keuzes hierin hangen onder andere af van de te bereiken doelen, de mogelijkheden voor strategisch gedrag van actoren (effecten op het *level playing field*), de mate waarin beleid handhaafbaar is, enzovoort.

In het algemeen kan daarentegen gesteld worden dat financiële prikkels vaak efficiënter zijn dan normen of voorschriften. De reden hiervoor is dat de vervuiler dan de keuze heeft om de milieubelasting (heffing of emissierechten) te betalen of om minder te vervuilen. Het resultaat is dat milieuvervuiling dáár wordt verminderd waar dit het goedkoopst kan. Bij een norm hebben alle vervuilers dezelfde opgave, waarbij sommigen alleen tegen (zeer) hoge kosten aan hun verplichtingen kunnen voldoen. Daarnaast zorgt een financieel instrument voor een voortdurende prikkel om de milieuvervuiling met behulp van innovatie verder terug te dringen.

Figuur 3.3 Schematische weergave van de inzet van reductie- en beleidsopties gegeven een bepaalde ambitie of doelstelling.



Het voordeel van wettelijke voorschriften en normen ten opzichte van prijsmaatregelen is de in theorie grotere precisie en effectiviteit, doordat de overheid precies voorschrijft welk gedrag zij vereist (WRR, 1992). Nadelen van directe regulering zijn dat iedere prikkel om meer te doen dan wordt voorgeschreven, ontbreekt en dat voorschriften en normen niet leiden tot terugdringing van de vervuiling waar dit het goedkoopst kan. Daarnaast brengen voorschriften en normen over het algemeen hoge informatie- en handhavingskosten met zich mee. Er moet bij de overheid veel kennis aanwezig zijn over de mogelijkheden die actoren hebben, zowel economisch als technologisch, om emissies terug te dringen. De kosten hiervan nemen toe naarmate er meer op individuele bedrijven toegespitste sturing gewenst is (WRR, 1992). Overigens verdienen normen in het algemeen de voorkeur boven voorschriften, omdat het hebben van keuzemogelijkheden (er wordt niet voorgeschreven hoe de norm moet worden gehaald) de kosten kan beperken (Koopmans, 2006). Daar staat tegenover dat de handhaafbaarheid van normen lastiger kan zijn (WRR, 1992).

Beleidsopties die aangrijpen op meerdere knoppen, zijn in het algemeen ook efficiënter dan beleidsopties die op één knop aangrijpen. De eerste categorie laat ruimte aan actoren om zelf te beslissen wat voor hen de meest kosteneffectieve manier is om te handelen. Dat is overigens geen pleidooi om alleen voor zo generiek mogelijke beleidsinstrumenten te kiezen. Een goede aanpak vergt meestal een gecoördineerde en in de tijd variërende inzet van diverse beleidsmaatregelen en is maatwerk.

Doordat kennisspillovers kunnen ontstaan (zie paragraaf 3.4.3) is CO_2-beleid, bijvoorbeeld een CO_2-norm of CO_2-beprijzing, op zichzelf onvoldoende om op een kostenefficiënte manier CO_2-reductie in de luchtvaart te bevorderen. Efficiënt reductiebeleid kan beter via twee sporen worden opgezet. Het eerste spoor richt zich op het duurder maken van CO_2-uitstoot en heeft als bijkomstig effect dat innovatie in de richting van schone technologie gestuurd wordt. Het tweede spoor richt zich op het stimuleren van kennis en innovatie. Het heeft als bijkomstig effect dat de gemiddelde kosten per vermeden ton CO_2 omlaag gaan, waardoor grotere emissiereducties maatschappelijk optimaal worden (CPB, 2010). Dat wil zeggen dat van een groter aantal reductieopties de kosten per vermeden ton CO_2 lager of gelijk aan de schadekosten per uitgestoten ton CO_2 worden. Het beleid dat zich richt op het stimuleren van kennis en innovatie, zal daarbij eerder specifiek gericht moeten zijn op schone technologie dan generiek gericht op schone én vuile technologie (CPB, 2013).

Door het internationale karakter van de luchtvaart is het tenslotte ook belangrijk om beleidsmaatregelen die gelijktijdig op verschillende geografische schaalniveaus werken, dusdanig te ontwerpen dat de effectiviteit en doelmatigheid van elk van de maatregelen intact blijft. Een voorbeeld waar dit niet het geval is, komt uit het wegverkeer. Naast de Europese CO_2-norm voor personenauto's, is er in Nederland een fiscale stimulans voor zuinige auto's. Door de gestegen vraag naar zuinige auto's in Nederland heeft een fabrikant ruimte om elders in Europa minder zuinige voertuigen te verkopen en toch aan de norm te voldoen. Deze geldt namelijk voor het gemiddelde van zijn verkopen in de EU. De interactie tussen maatregelen is dus een aandachtspunt.

Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor

Summary

The aviation sector is expected to continue to grow worldwide over the coming decades. Autonomous efficiency improvements, brought about by the deployment of new conventional technologies, cannot prevent CO_2 emissions from aviation from increasing.

In order to decrease the CO_2 emission levels from aviation and thus achieve the global objectives set for CO_2 emissions in 2050, there is a need for additional technological and operational reduction options, including the large-scale use of sustainable bio-kerosene. Owing to various obstacles, however, there is great uncertainty about the feasibility of achieving the full reduction potential of these additional reduction options. If the obstacles cannot be overcome, certain additional measures pertaining to the growth of air traffic are also perhaps required in order to achieve the stated aims.

The government has various policy options at its disposal for stimulating the deployment of reduction options, and thus removing the existing obstacles. An efficient reduction policy should be instituted via two tracks. The first track focuses on making CO_2 emissions more expensive, which, as an incidental effect, steers innovation in the direction of clean technology. The second track focuses on the development of knowledge and innovation, which, as an incidental effect, means that the average costs per avoided ton of CO_2 decreases, whereby greater emission reductions become socially optimal.

Ambitions for sustainable aviation

Aviation is expected to continue to grow worldwide over the coming decades. Aviation's share in the global CO_2 emissions deriving from all human activities is also expected to increase. The aviation sector, governments, and scientists are therefore searching for ways to make aviation more sustainable. The (international) ambitions for this are great. The leading representatives of the aviation industry have collectively set the objective of improving fuel efficiency by 1.5% annually by 2020. Subsequently, aviation should become CO_2-neutral, and, by 2050, emission levels should be 50% lower than in 2005. The International Civil Aviation Organization (ICAO) and the EU have fairly similar ambitions.

Focus on reduction options and policy options

In this quick scan, sustainability is narrowly interpreted (only CO_2), with the emphasis on reduction options and policy options for reducing aviation's CO_2 emissions. The reduction options are all technological and non-technological solutions that limit CO_2 emissions. The policy options are the possible policy instruments that the Dutch government can deploy, or can pursue in the international context, in order to render aviation more sustainable.

CO_2 emissions from aviation can be regarded as a product deriving from three factors: volume, aircraft efficiency, and the CO_2 intensity of fuel. Volume represents the number of kilometres flown by passengers and freight. Aircraft efficiency denotes the energy used per kilometre flown, and CO_2 intensity represents the net contribution that the use of a certain fuel makes toward the total amount of CO_2 in the atmosphere. Each factor has its own reduction options. Policy options pertain to one or more of these factors.

Two types of reduction options

Two types of reduction options can be distinguished: optimistic and futuristic. Optimistic reduction options are those options wherein the functionality is already more or less proven, but in which the aircraft concept, the aircraft use, and/or the fuel substantially differs from the current, conventional aviation system. We call them 'optimistic' because future use of these options is in no way self-evident, owing to the fact that these options differ significantly from existing technology. Futuristic options are those options in which the functionality thereof has not yet or has been unsatisfactorily proven.

The optimistic options are:

1. *Open rotor:* an engine type that, in terms of appearance, looks like a cross between a jet engine and a turboprop engine.
2. *4D ATM:* optimisation of air traffic management (ATM) in the three spatial dimensions and over time (more direct flights, gradual climb and descent). In Europe, this option is being researched within the SESAR-program (Single European Sky ATM Research).
3. *Stopovers*: a concept in which aircraft make stopovers for refuelling at around the halfway point to their final destinations.
4. *Refuelling in air:* a concept in which aircraft refuel in the air at around the halfway point to their final destinations
5. *Formation flying:* aircraft with similar flight directions are grouped together for (part) of the flight, flying in a V-formation.
6. *Sustainable bio-fuel:* a drop-in fuel based on a non-fossil fuel source, for which no changes to the aircraft or engine system are required.

The futuristic options are:

1. *Blended wing body:* an aircraft concept in which the fuselage and wings are merged into one large wing.
2. *Prandtl Concept:* an aircraft concept that has two wings on each side of the aircraft. The front wings more or less look conventionally and have other wings connected to their wing tips that connect to the end of the plane.

A background research study conducted by the National Aerospace Laboratory of the Netherlands (NLR) also studied the 'cruiser-feeders' concept (in which passenger transfers occur in the air), the 'electric aircraft', and the 'hydrogen aircraft' (an aircraft whose electric, propeller-driven engines are powered respectively by hydrogen-based batteries or fuel cells). However, these futuristic options are not expected to be available before 2050.

Reduction potential is present...

CO_2 emissions from aviation are a global problem. Important is the total reduction potential of combinations of reduction options with respect to a reference situation, in which efficiency improvement occurs as well, through continuous fleet renewal with ever improving conventional technology. For conventional technology, the jet engine and the current shape of the airframe remain the starting points; consequently, the focus is namely on the use of more efficient jet engines, improved aerodynamics and weight saving.

The NLR conducted model calculations for the development of CO_2 emissions when applying all optimistic options with and without biofuels, and when applying all optimistic and futuristic options. Moreover, the emissions reduction that is achievable by refuelling in the air, and the emissions reduction that is achievable by stopovers, was only counted once. It was assumed that these options in fact will have an effect on the same group of flights. Because of the higher reduction potential of refuelling in the air, this potential was taken into account.

Compared to the reference situation the optimistic options, without biofuels, offer a possible reduction of 25%. If biofuels are included, this reduction will be 85%. If the futuristic reduction will be deployed as well, an extra 3% percent reduction by 2050 is possible compared to the reference point (88%).

In order to gain insights into the feasibility of achieving the ambitions set for the CO_2 emissions from aviation in 2050, the reference situation is based on three different volume growth scenarios: a growth of 2%, 3.5% and 5% per year. The analyses reveal that, given the assumptions about the reduction potential of each individual option, the various aims for 2050 are only achievable with a 3.5% volume growth per year or less, and this in combination with a large-scale deployment of sustainable biofuels.

....but is threatened by obstructing factors

When estimating the reduction potential, the assumption is that the various obstacles in the way of deploying the reduction options can be overcome.

Obstacles may arise from higher operating costs than with conventional technology, but at present new technologies may also be insufficiently safe, quiet or clean, as compared to conventional technology. Moreover, the use of these new technologies must also coincide with the preferences of passengers: an attractive product, comfortable, and so forth.

Owing to the existing obstacles, the reduction potential of the various options is not a given, and – if the obstacles are not overcome – also cannot be fully exploited. The feasibility of the reduction potential for the optimistic and futuristic range of options is thus in practice highly uncertain.

Policy options can remove obstacles

The Kyoto Protocol, which pertains to the reduction of greenhouse gas emissions, established the International Civil Aviation Organization (ICAO) as the forum in which developed countries will devise an approach for reducing emissions from international aviation. The establishment of effective, global measures for reducing CO_2 emissions from international aviation is in practice a lengthy process, because, in part, countries struggle to agree on a sharing of responsibilities. Consequently, very little progress has been made to date in terms of agreeing to a concrete set of measures.

Although the ICAO is the most important worldwide forum for governments to take steps in the area of sustainable aviation, possibilities also exist on the European and national levels. The potential effectiveness of measures decreases as the geographic scale becomes smaller, while the probability of *carbon leakage* and too large competitive disadvantages increases. In addition, it is important that national and/or European Union regulations do not conflict with international agreements and treaties.

In order to remove obstacles that stand in the way of applying the reduction options, the Dutch government has certain policy instruments at its disposal that can be deployed on the national level, or can be pursued in the international context - ICAO or EU – in order to render aviation more sustainable. Some obstacles can only be removed with innovation; for example, when a reduction option is not yet fully technologically developed, is still too expensive, and/or still has too many undesirable side-effects. The market itself can function to remove these types of obstacles.

In addition, certain types of market failures (externalities) can become obstacles to (sufficient) innovation. As long as the external costs of CO_2 emissions are not charged, the reduction options will remain relatively too expensive, and a socially optimal demand for reduction options will not arise. In innovation processes, externalities (knowledge spillovers) can also play a role, leading to less innovation than is socially optimal.

Roles and policy instruments for government

Governments can act according to various role perceptions. There are four basic roles for the government to play: regulator (compulsory), facilitator (creating conditions), realiser (self-realization) and communicator (informing). Each role has it's appropriate policy instruments.

There are certain conceivable policy instruments that pertain to all factors (volume, aircraft efficiency, and the CO_2 intensity of fuel); for example, emissions trading, emissions taxes, fuel taxes and CO_2 compensation. Numerous policy instruments are also conceivable that specifically pertain to one of these factors, including the integration of the (European) air space (volume), an efficiency standard for aircraft (aircraft efficiency), and a financial incentive (for example, subsidies) for developing knowledge and technology in the field of bio-kerosene (CO_2 intensity of fuel).

It is impossible in advance, to determine which specific policy options are in general the most effective and/or efficient, as this is highly dependent on the objectives to be achieved and the various design choices. In general, it can be stated that financial incentives are often more efficient than standards or regulations. Policy options that apply to multiple factors are also generally more efficient than policy options that only apply to one factor. A good approach usually includes a customised, coordinated, and over time varying deployment of various policy measures.

Efficient reduction policy has two tracks

Because the innovation process includes knowledge spillovers, a CO_2 policy - for example a CO_2 standard or CO_2-pricing - is in itself insufficient for facilitating a CO_2 reduction in aviation in a cost-efficient manner. It is better to set up an efficient reduction policy based on a two-track approach. The first track focuses on making CO2 more expensive and has the additional effect of steering innovation toward clean technology. The second track focuses on stimulating knowledge and innovation. This track has the additional effect of lowering the average costs per avoided ton of CO_2, whereby larger emission reductions become socially optimal. This is to say that for a larger number of reduction options, the costs per avoided ton CO_2 become lower or equal to the damage costs per emitted ton of CO_2.

Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor

Literatuur

Airbus (2012). *Global Market Forecast 2012-2031.* Blagnac: Airbus.

Boeing (2012). *Current Market Outlook 2012-2031.* Chicago: Boeing.

CPB (2010). *Innovatief klimaatbeleid.* CPB Notitie. Den Haag: CPB.

CPB (2013). *Interactie Milieubeleidsinstrumenten met het ETS.* CPB Notitie. Den Haag: CPB.

Dassen, A.G.M. (2006), *De luchtkwaliteit rond Schiphol; MNP-bevindingen over het onderzoek naar de uitstoot van het vliegverkeer en de luchtkwaliteit rond Schiphol door ADECS Airinfra BV in het kader van de Evaluatie Schipholbeleid.* Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau (MNP).

EC (2011). *Witboek; Stappenplan voor een interne Europese vervoersruimte – werken aan een concurrerend en zuinig vervoerssysteem*. Brussel: Europese Commissie.

Ecofys (2013). *Biofuels for aviation.* Studie in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. Utrecht: Ecofys.

Ekins, P., Kesicki, F. & Smith, A.Z.P. (2011). *Marginal Abatement Cost Curves: a call for caution.* Londen: University College London Energy Institute.

EurActiv (2011). *EU's airline emission goals under scrutiny.* Artikel gepubliceerd op 4 april 2011. *www.euractiv.com/transport/eus-airline-emission-goals-scrutiny-news-503720?utm_source=EurActiv%20Newsletter&utm_campaign=e3a00175a7-my_google_analytics_key&utm_medium=email*

Euractiv (2012). *UN begins 'crunch' debate over airline emissions as EU deadline looms*. Artikel gepubliceerd op 9 november 2012. www.euractiv.com/climate-environment/icao-begins-crunch-emissions-deb-news-515941

Eurocontrol (2012). *Medium-Term Forecast; flight movements 2012-2018*. Eurocontrol.

Faber, J. & Brinke, L. (2011). *The inclusion fo Aviation in the EU Emission Trading System; an Economic and Environmental Assessment.* ICTSD Programme on Trade and Environment; Trade and Sustainable Energy Series; Issue Paper No. 5. Genève: International Centre for Trade and Sustainable Development.

Gordijn, H. & Kolkman, J. (2011). *Effecten van de vliegbelasting; gedragsreacties van reizigers, luchtvaartmaatschappijen en luchthavens.* Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

Hagen, T.R. van der (2012). *The application of bio jet fuels until 2050; scenarios for future developments.* Universiteit Utrecht, Faculteit Geowetenschappen, Natuurwetenschappen en Innovatie Management, Master Thesis.

Holland, M., Mann, M., Ralph, M. et al. (2011). *A Marginal Abatement Cost Curve model for the UK aviation sector.* In opdracht van UK Department for Transport. Londen: UK Department for Transport.

IATA (2009). *A global approach to reducing aviation emissions.* Montréal: International Air Transport Association.

ICAO (2010). *ICAO environmental report 2010*. Montréal: International Civil Aviation Organization.

ICAO (2012). Website geraadpleegd op 25 oktober 2012 via: www.icao.int/Pages/default.aspx

Jorritsma, P. (2008). *Substitutiemogelijkheden luchtverkeer – hogesnelheidstrein*. Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

Julsrud, T.E. (2010). Emergent use of video conferences among business travellers: Norwegian experiences. In *Videoconferencing, changing behaviour of business travellers and its effects on the aviation market.* Airneth-seminar 14 oktober 2010. Den Haag.

Kolkman, J. (2010). *Belastingen en heffingen in de luchtvaart.* Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

Kolkman, J., Moorman, S & de Wit, J. (2012). *De luchtvaart in het EU-emissiehandelssysteem: Gevolgen voor de luchtvaartsector, consumenten en het milieu.* Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.

Koopmans, C.C. (2006). *De baten van normen; essay over kosten-batenanalyse van milieubeleid.* Amsterdam: SEO Economisch Onderzoek.

Lee, D.S. (2010). Aviation greenhouse gas emissions. *ICAO environmental report 2010* (pp 42-46). Montréal: International Civil Aviation Organization.

Mensink (2010). Strategic Travel Management and Generation Y. In *Videoconferencing, changing behaviour of business travellers and its effects on the aviation market.* Airneth-seminar 14 oktober 2010. Den Haag.

Ministerie van Economische Zaken (2012). *Factsheets 46-59 van Green Deals uit de 1e ronde 2011*. Factsheet nummer 25. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Nederlands Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium (2012). *Duurzame luchtvaart 2050; Een quick scan*. Amsterdam

UKCCC (2009) *Meeting the UK aviation target- options for reducing emissions in 2050.* Londen: UK Committee on Climate Change.

T&E (2010). *Grounded: How ICAO failed to tackle aviation and climate change and what should happen now.* Brussel: Transport & Environment.

WRR (1992). *Milieubeleid; strategie, instrumenten en handhaafbaarheid.* Den Haag: Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid.

Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor

Bijlage A

Technologieën in het optimistische en futuristische pakket

De technologieën in het optimistische pakket betreffen:

1. *Open rotor*: een motortype dat qua uiterlijk lijkt op een kruising tussen een straalmotor en een turboprop. De motor heeft twee in tegengestelde richtingen roterende 'propellers', maar geen motoromhulsel (*nacelle*). Figuur A.1 geeft een voorbeeld van hoe een open rotor eruit kan zien.
2. *4D ATM*: optimalisatie van het Air Traffic Management (ATM), ofwel luchtverkeersleiding, in de drie ruimtelijke dimensies en in de tijd. Het gaat om rechtstreekser vliegen (met zo min mogelijk omwegen) en om een geleidelijke klim en daling, waarbij vliegpaden continu ten opzichte van elkaar geoptimaliseerd worden. In Europa wordt deze technoloie onderzocht in het SESAR-programma (Single European Sky ATM Research).
3. *Tussenstops*: een operationele reductieoptie, waarbij vliegtuigen ongeveer halverwege de eindbestemming een tussenstop maken om bij te tanken. Het gaat om de balans tussen extra brandstofgebruik voor een extra start- en landingscyclus en de besparing door niet alle brandstof vanaf het startpunt mee te nemen.
4. *Bijtanken in de lucht*: vliegtuigen worden ongeveer halverwege de eindbestemming in de lucht bijgetankt. Het gaat om de balans tussen extra brandstofgebruik van het tankvliegtuig en de besparing bij het getankte vliegtuig dat niet alle brandstof vanaf het startpunt hoeft mee te nemen.
5. *Formatievliegen*: vliegtuigen met een vergelijkbare vliegrichting groeperen zich voor een (groot) deel van de vlucht in een V-formatie. Zo neemt, net als bij trekvogels, de aerodynamica van de hele groep toe.
6. *Duurzame biobrandstof*: een brandstof op basis van niet-fossiele bronnen, bijvoorbeeld op basis van olie uit algen of gewassen als Jatropha of Camelina. Het gaat om een zogeheten *drop-in* brandstof, waarvoor geen wijzigingen nodig zijn aan vliegtuig- en motorsystemen.

Figuur A.1 Voorbeeld van een open rotor (bron: http://ec.europa.eu/research/transport/projects/items/dream_en.htm).

De technologieën in het futuristische pakket betreffen:

3. *Blended wing body*: een vliegtuigconcept waarbij de romp en de vleugels zijn samengevoegd tot één grote vleugel. Figuur A.2 geeft een voorbeeld van hoe een blended wing body eruit kan zien.
4. *Prandtl Concept*: een vliegtuigconcept met aan elke zijde twee vleugels. De voorste vleugels zijn min of meer zoals gebruikelijk en worden vanaf de vleugeluiteinden met andere vleugels verbonden met het uiteinde van het vliegtuig. Dit wordt ook wel een 'box wing'-concept genoemd. Figuur A.2 geeft een voorbeeld van hoe een *blended wing body* eruit kan zien.
5. *Cruiser-feeders concept*: in dit concept vindt het overstappen van passagiers in de lucht plaats. Feedervliegtuigen brengen passagiers, bagage, brandstof en andere voorraden naar de cruiser, die zich op kruishoogte bevindt. Daar meert de feeder aan en vindt uitwisseling plaats. De cruiser vervoert de passagiers over grote afstanden, waarna weer uitwisseling met feeders plaatsvindt voor het natransport.
6. *Elektrisch vliegtuig*: een vliegtuig met elektromotoren en propellers die worden aangedreven door stroom uit accu's.
7. *Waterstof vliegtuig*: een vliegtuig met elektromotoren en propellers die worden aangedreven door stroom uit brandstofcellen. De brandstofcellen werken op vloeibare waterstof.

Figuur A.2 Voorbeeld van een Blended Wing Body vliegtuig (links) en van het Prandtl Plane concept (rechts). Bron: NLR (2012).

Voor uitgebreide informatie over de reductieopties en de gehanteerde aannamen in het optimistische en futuristische pakket verwijzen we naar het achterliggende NLR-rapport (NLR, 2012).

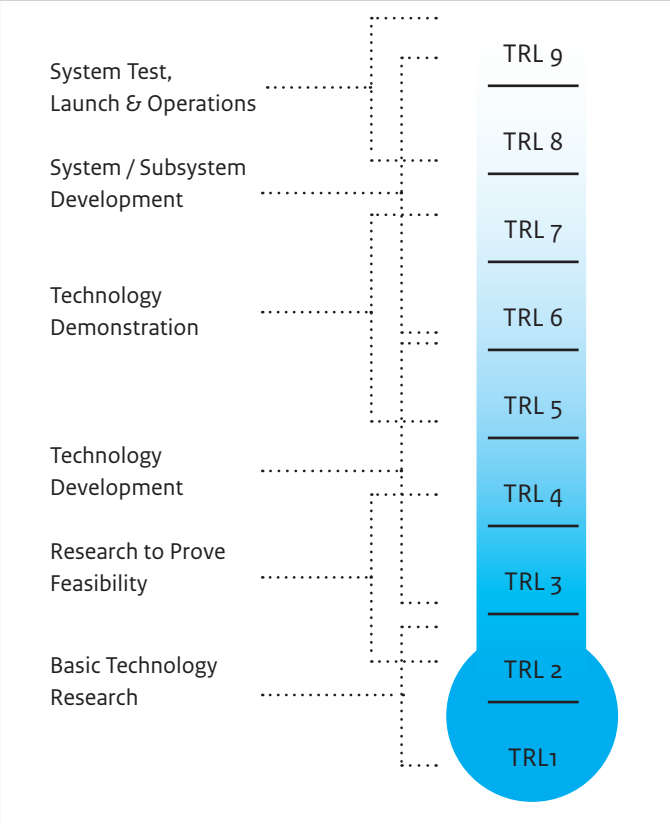
Bijlage B

Belemmeringen bij reductieopties

De reductieopties uit het optimistische scenario zullen door de markt in de periode tot aan 2050 niet automatisch worden toegepast. Daarvoor zal eerst een aantal belemmeringen moeten worden weggenomen. Dit geldt in nog sterkere mate voor de reductieopties uit het futuristische scenario.

De reductieopties uit het optimistische scenario bevinden zich op dit moment op een Technology Readiness Level (TRL) van rond de 6: dat wil zeggen op het niveau van demonstratie van de technologie. De reductieopties uit het futuristische scenario hebben een TRL van 1 tot 3: dat wil zeggen op het niveau van fundamenteel onderzoek en technische ontwikkeling, met een uitschieter naar boven van 5 à 6 voor vliegen op waterstof. Figuur B.1 geeft een overzicht van de verschillende TRL-niveaus.

Figuur B.1 Overzicht van NASA's Technology Readiness Levels. De niveaus geven een relatieve stand van de technologie-ontwikkeling.



De ontwikkeling naar hogere TRL-waarden gaat met veel onzekerheden gepaard. Iedere afzonderlijke belemmering kan ertoe leiden dat een reductieoptie ergens op de TRL-ladder blijft stilstaan en (eventueel tijdelijk) niet meer doorontwikkeld wordt. Zelfs bij het hoogste niveau is daadwerkelijke ingebruikname van een technologie niet per definitie gegarandeerd, omdat het uiteindelijk de markt is die bepaalt of een reductieoptie economisch gezien rendeert. Dit is sterk afhankelijk van de brandstofprijzen op dat

moment en de verwachting over de verdere ontwikkeling daarvan.
Er zijn overigens niet alleen maar belemmeringen. Sommige reductieopties bieden, naast een vermindering van de CO_2-uitstoot ook aanvullende kansen voor verbeteringen op andere terreinen. Bijvoorbeeld een kortere reistijd, of reductie van geluid. Tabel B.1 geeft voor alle reductieopties een globaal beeld van de verschillende belemmeringen en kansen. Deze aspecten worden hieronder kort en voorbeeldsgewijs toegelicht. Voor uitgebreidere informatie over de belemmeringen van de reductieopties verwijzen we naar de achtergrondstudie van het NLR (2012).

Kosten

De precieze omvang van de benodigde investeringen en de operationele kosten van elke reductieoptie is in het kader van deze *quick scan* niet onderzocht. Dat zou een op zichzelf staande studie vergen. Bovendien moet informatie over de precieze kosten met grote voorzichtigheid worden gebruikt (zie tekstbox). Wel kan op basis van *expert judgement* een indicatie worden gegeven van in hoeverre de kosten een belemmering vormen voor de verdere ontwikkeling en implementatie van de reductieopties.

De investeringskosten die gemoeid zijn met de verdere ontwikkeling van open-rotorvliegtuigmotoren zijn zeer hoog, maar naar verwachting vergelijkbaar met de kosten die bijvoorbeeld nodig zijn voor de ontwikkeling van de *geared turbofan* als onderdeel van de referentiesituatie. Mits er voldoende vliegtuigen met open-rotormotoren worden verkocht, hoeft de stukprijs van een vliegtuig dat met dit type motoren is uitgerust waarschijnlijk niet substantieel te verschillen van eenzelfde soort vliegtuig uitgerust met *geared-turbofan*motoren. Een vergelijkbare analyse geldt voor de kosten van het Blended Wing Body en het Prandtl-concept ten opzichte van de ontwikkelingskosten van nieuwe vliegtuigtypen die zijn gebaseerd op conventionele technologie. Overigens zijn de onzekerheden over de kostprijs van nieuwe vliegtuigontwerpen erg groot. Dit geldt zeker bij de futuristische ontwerpen. Het aantal onzekere factoren neemt bij dit soort radicaal andere ontwerpen sterk toe omdat er op veel fronten tegelijk innovatie nodig is en er dus ook meer mis kan gaan.

Voor de ontwikkeling en invoering van 4D-ATM, in Europa gekoppeld aan SESAR en de invoering van functionele luchtruimblokken (FAB's), zijn de kosten hoog. Deze kosten worden gedragen door de overheden van de deelnemende landen en het deelnemende bedrijfsleven. De politieke druk op belanghebbenden en het algemene besef dat het gebruik van het Europese luchtruim effectiever en efficiënter georganiseerd kan worden, maakt dat de nodige middelen en investeringen politiek gedragen worden en nog steeds beschikbaar komen.

Voor tussenstops, in de lucht bijtanken en formatievliegen kunnen extra operationele kosten een belemmering zijn. In het geval van tussenstops duurt de reis langer, waardoor de personeelskosten hoger zijn. Daarnaast betekent een extra landing extra luchthaventarieven. Bovendien heeft een vliegtuig meer onderhoud nodig als er meer *landing and take-off cycles* worden gemaakt. Voor het bijtanken in de lucht moeten speciale tankvliegtuigen ontwikkeld worden en piloten van beide vliegtuigen moeten speciaal worden opgeleid. Dit laatste geldt ook voor het formatievliegen, waarbij mogelijk nog additionele luchtverkeersleidingskosten een rol zullen spelen. Het is mogelijk dat de meerkosten hiervan worden terugverdiend met brandstofbesparing, maar dit is sterk afhankelijk van het brandstofprijsniveau.

Tabel B.1 Overzicht van belemmeringen en kansen per reductieoptie. Bron: NLR (2012); bewerking KiM.

	investe-ringskosten	operatio-nele kosten	reistijd/ comfort	veiligheids-risico's	geluid	flexibiliteit (range, route-keuze etc.)	CO2-besparing well-to-wing
Optimistisch							
openrotor	-	0	-	0	-	-	0
4D ATM	0	0	+	-	0	0	0
tussenstops	0	-	-	-	?	+	0
bijtanken	0	-	0	-	+	+	0
formatie vliegen	0	-	-	-	0	-	0
biobrandstof	-	-	0	-	0	0	?
Futuristisch							
blended wing body	-	0	-	-	0	-	0
prandtl concept	-	0	0	-	0	-	0
cruiser-feeders	-	?	0	-	+	0	0
elektrisch vliegtuig	-	?	?	?	?	?	?
waterstof vliegtuig	-	?	?	-	?	?	?

0	= niet/nauwelijks een belemmering
+	= kans
-	= belemmering
?	= niet op voorhand te zeggen
?	= onbekend

Voorzichtigheid met kostenschattingen

Kostenschattingen kunnen helpen om te bepalen wat kosteneffectieve beleidsopties zijn, of bij welk prijsniveau van CO_2 bepaalde reductieopties in beeld komen. Idealiter is hiervoor een marginale kostencurve beschikbaar, die bij toenemende reductievolumes aangeeft wat de meerkosten zijn als nog een extra hoeveelheid CO_2 gereduceerd zou worden. Hoewel er voor de luchtvaart diverse studies met dergelijke kostenschattingen zijn (zie bijvoorbeeld Faber & Brinke (2011) en Holland et al. (2011)), kunnen de resultaten alleen met grote voorzichtigheid worden gebruikt. De uitkomsten hangen namelijk sterk samen met de aannames die worden gedaan om de kosten te bepalen. Ekins et al. (2011) laten zien dat de reductiekosten per vermeden ton CO_2 onder andere sterk afhangen van het verschil in aanschafprijs tussen conventionele en nieuwe technologie, het verschil in brandstofgebruik, de levensduur van de technologie en de discontovoet waartegen de toekomstige besparingen worden gewaardeerd. De waarden die voor al deze aspecten moeten worden aangenomen, zijn vaak met veel onzekerheden omgeven en deze onzekerheden nemen bovendien toe naarmate de zichthorizon verder in de toekomst ligt. Uitkomsten uit diverse studies zijn daarom niet zondermeer vergelijkbaar en als dat wel zo zou zijn, niet zondermeer bruikbaar.

Reistijd/comfort

Bij de reductieoptie 4D-ATM zijn vliegtuigen in staat om rechtstreekser te vliegen, waardoor de afgelegde afstand en dus de reistijd kan afnemen. Dit is een kans voor de implementatie van de technologie, omdat niet alleen de luchtvaartmaatschappij kosten bespaart maar ook reizigers hiervan profiteren[21]. Bij tussenstops is sprake van het tegenovergestelde: de reistijden nemen met zeker een uur toe. De meeste reizigers zullen dit alleen accepteren als de ticketprijzen daarbij voldoende omlaag gaan. Bij de open rotor, het formatievliegen en de *blended wing body* kunnen comfortaspecten een belemmering zijn. De open rotor veroorzaakt nu nog meer geluid en trillingen in het vliegtuig dan de laatste generatie

[21] Het is de vraag in hoeverre de kostenbesparing wordt doorgegeven aan de reiziger. Een kortere reistijd kan een reden zijn om de prijs van het ticket niet te verlagen.

straalmotoren. De verwachting is echter dat dit probleem in de toekomst wordt opgelost. Bij formatievliegen is het mogelijk dat passagiers meer turbulentie ervaren. In een *blended wing body* zouden passagiers die zich nabij de vleugels bevinden, meer last kunnen hebben van de grotere uitwijking die daar ontstaat bij bochten of turbulentie.

Veiligheid

De toepassing van nieuwe technologieën betekent meestal dat nieuwe of andere veiligheidsrisico's ontstaan. Idealiter zou dit per saldo niet moeten leiden tot een lager intern en extern veiligheidsniveau. Voor vrijwel alle reductieopties geldt daarom dat veiligheid op dit moment nog een drempel is die overwonnen moet worden. Voor bijvoorbeeld formatievliegen en bijtanken in de lucht moet nog goed worden nagedacht over manieren waarop dit veilig genoeg kan plaatsvinden. Maar ook bij het maken van tussenstops kunnen zich verhoogde veiligheidsrisico's voordoen, omdat er dan veel meer starts en landingen moeten worden gemaakt dan nu het geval is. Bij biobrandstoffen moet worden aangetoond dat het gebruik ervan net zo veilig is als het gebruik van kerosine uit fossiele bron. Momenteel is het toegestaan dat luchtvaartmaatschappijen tot 50% biokerosine bijmengen (Van der Hagen, 2012). Het moet nog worden aangetoond dat vliegen op hogere percentages (tot uiteindelijk 100%) voldoende veilig is.

Geluid

De open rotor veroorzaakt momenteel meer geluid dan de laatste generatie straalmotoren. Dit is een belangrijk knelpunt dat moet worden opgelost om toepassing ervan in de toekomst acceptabel te maken (tenzij de eisen aan geluidsproductie met het oog op overlast worden versoepeld). De motorenfabrikanten Rolls Royce en General Electric voorzien dat het met onderzoek en ontwikkeling mogelijk is om in de toekomst aan de wettelijke geluidsnormen te voldoen. Voor de reductieopties bijtanken in de lucht en *cruiser-feeders* is de geringere geluidsproductie rondom luchthavens een kans. Bijtanken in de lucht scheelt aan startgewicht, waardoor het vliegtuig sneller aan hoogte wint. Dit principe geldt ook voor het maken van tussenstops, al staat daartegenover dat er meer vliegbewegingen voor in de plaats komen. Doordat niet is gekeken naar het saldo van deze ontwikkelingen, is dit als onbekend geclassificeerd.

Flexibiliteit

Voor luchtvaartmaatschappijen kan het een nadeel zijn als het gebruik van bepaalde reductieopties hen zou belemmeren in hun flexibiliteit ten aanzien van de operatie. De open rotor zal naar verwachting alleen toegepast worden op vliegtuigen met een range tot circa 5.000 km. Het Prandtl Plane concept levert alleen een brandstofbesparing op bij korte afstanden tot circa 3.000 kilometer en het Blended Wing Body concept alleen op lange afstanden vanaf circa 5.000 kilometer[22]. Nu is het in de luchtvaart niet ongebruikelijk dat vliegtuigen worden geoptimaliseerd voor een bepaalde range en dat luchtvaartmaatschappijen ze voor dat doel kopen. Tegelijkertijd is het in sommige *business*modellen, bijvoorbeeld bij *low-cost*-maatschappijen, kostenbesparend om zoveel mogelijk vliegtuigen van hetzelfde type te hebben[23], mits de afstanden die ermee gevlogen worden redelijk binnen de optimale range blijven.

CO_2-besparing 'Well-to-wing'

Voor diverse alternatieve brandstoffen/energiedragers is het netto CO_2-effect op de atmosfeer erg afhankelijk van de omstandigheden en de wijze waarop de brandstof of de energie voor de energiedragers wordt geproduceerd. Bij vliegen op waterstof of elektriciteit wordt, vanwege constructievereisten respectievelijk het gewicht van de energiedrager, meer energie per gevlogen kilometer verbruikt dan bij conventionele kerosine. Is deze energie echter duurzaam opgewekt, bijvoorbeeld uit zon of wind, dan kan dit per saldo toch in een netto CO_2-besparing resulteren. Bij alternatieve brandstoffen op basis van olie uit biomassa speelt als belangrijkste probleem dat voor grootschalige productie ervan grote hoeveelheden landbouwgrond nodig zijn. Als de hoeveelheid geproduceerd voedsel niet mag afnemen, dan zal ergens ter wereld extra grond voor landbouw geschikt moeten worden gemaakt. Dit zal waarschijnlijk ten koste gaan van natuur, bijvoorbeeld bossen, waarin CO_2 uit de atmosfeer is vastgelegd. Mogelijk is de teelt van algen hiervoor een alternatief, maar veel kennis hierover moet nog ontwikkeld worden. Vanwege het *quick-scan*-karakter van dit onderzoek gaan we niet dieper op deze materie in, maar dit vraagstuk is zeer complex en vergt nog veel nader onderzoek.

[22] Buiten deze range zorgen deze concepten juist voor een toename van het brandstofverbruik.

[23] Vanwege training van personeel en onderhoud.

Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor

Colofon

Dit is een uitgave van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Juli 2013
Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)

ISBN: 978-90-8902-110-6
KiM-13-A03

Auteurs:
Joost Kolkman
Saeda Moorman
Maarten Kansen

Daarnaast heeft het Nationaal Lucht- en ruimtevaartlaboratorium (NLR) aan deze rapportage bijgedragen door modelresultaten en een achtergronddocument te leveren. *De verantwoordelijkheid voor de inhoud en de conclusies van deze publicatie ligt echter volledig bij het KiM.*

Vormgeving en opmaak:
VijfKeerBlauw

Ordernummer:
V76-618389

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

Telefoon: 070-4561965
Fax: 070-4567576

Website: www.kimnet.nl
E-mail: info@kimnet.nl

Publicaties van het KiM zijn aan te vragen bij het KiM (via info@kimnet.nl) of als PDF te downloaden van onze website www.kimnet.nl. U kunt natuurlijk ook altijd contact opnemen met één van onze medewerkers.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen onder vermelding van het KiM als bron.

Mobiliteitsbeleid Kennisinstituut voor

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) maakt analyses van mobiliteit die doorwerken in het beleid. Als zelfstandig instituut binnen het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) maakt het KiM strategische verkenningen en beleidsanalyses. De inhoud van de publicaties van het KiM behoeft niet het standpunt van de minister en/of de staatssecretaris van IenM weer te geven.

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid

Dit is een uitgave van het

Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Postbus 20901 | 2500 EX Den Haag
www.rijksoverheid.nl/ienm

www.kimnet.nl

ISBN: 978-90-8902-110-6

Juli 2013