



# CO<sub>2</sub>-EMISSIE VAN DE LUCHTVAART OP DE LANGE TERMIJN

**Notitie**

**Gabrielle Uitbeijerse**

**9 november 2020**

PBL

## **Colofon**

### **CO<sub>2</sub>-emissie van de luchtvaart op de lange termijn**

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2020

PBL-publicatienummer: 4041

## **Contact**

Gabrielle.Uitbeijerse@pbl.nl

## **Auteurs**

Gabrielle Uitbeijerse

## **Met dank aan**

Rob Euwals (Centraal Planbureau) en Toon Zijlstra (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid) voor de wetenschappelijke review van deze notitie. Met dank aan Hans Hilbers en Maarten 't Hoen (beiden PBL) voor respectievelijk de interne begeleiding en interne review.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Uitbeijerse, G.C.M. (2020), CO<sub>2</sub>-emissie van de luchtvaart op de lange termijn, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

# Inhoud

	SAMENVATTING	4
1	Inleiding	6
2	Omvang vliegverkeer	9
3	Energiegebruik	12
4	Duurzame brandstof	15
5	CO <sub>2</sub> -emissie	17
6	Klimaatopgave	18
	REFERENTIES	21
	BIJLAGE A TABELLEN SCENARIO'S HOOG EN LAAG	23
	BIJLAGE B REKENMODEL AEOLUS	26

# SAMENVATTING

De afgelopen decennia is de luchtvaart sterk gegroeid, en de verwachting is dat die groei op de langere termijn zal doorgaan. De omvang van die groei is onzeker. Om rekening te houden met verschillende onzekere factoren hebben CPB en PBL in 2016 twee scenario's ontwikkeld, namelijk Hoog en Laag, in de toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (WLO) waarvan de luchtvaartramingen in 2018 geactualiseerd zijn. De capaciteitsbeperkingen op luchthavens zijn daarvan overgenomen, hoewel er op dit moment al signalen zijn dat de capaciteitsrestricties aangescherpt zullen worden. Ondanks grote onzekerheden op de korte (en middellange) termijn als gevolg van de coronacrisis blijven de beschreven langetermijnscenario's een bruikbare basis om robuust beleid te doordenken.

## **CO<sub>2</sub>-emissie en energiegebruik door luchtvaart**

De twee scenario's schetsen een uitstoot tussen 12,2 en 15,4 megaton CO<sub>2</sub> door alle vertrekkende vluchten vanuit Nederland in 2050. De CO<sub>2</sub>-uitstoot zal naar verwachting volgens de scenario's in 2050 daarmee hoger zijn dan de huidige uitstoot van 12 megaton, ondanks de verwachte verbetering in energie-efficiëntie, met name door de verwachte groei in het vliegverkeer. Ook overige luchtvaartemissies, anders dan CO<sub>2</sub>, beïnvloeden op grote hoogte de opwarming van de aarde, maar die emissies worden in deze notitie niet gekwantificeerd.

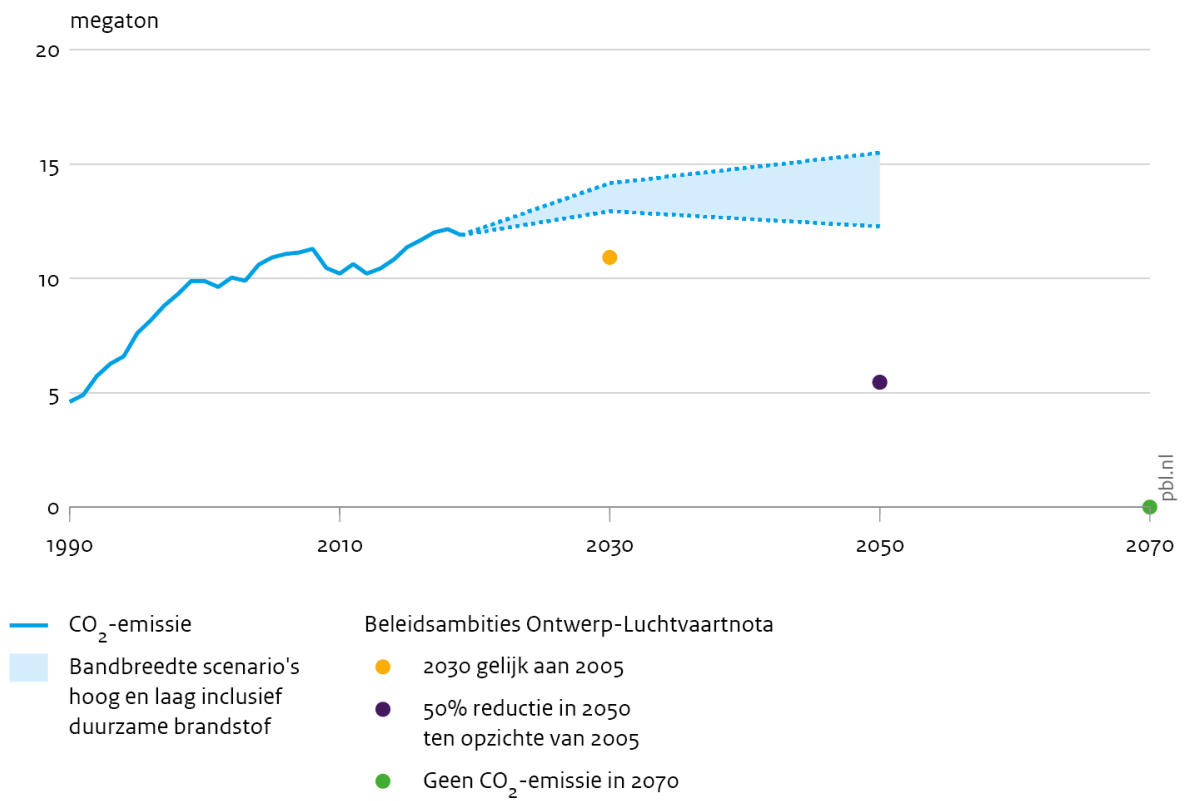
De omvang van de luchtvaart, het energiegebruik ervan en de mix van duurzame en fossiele brandstoffen bepalen de emissies van de luchtvaart. In de scenario's is rekening gehouden met een gemiddelde verbetering in de energie-efficiëntie van vliegtuigen tussen 0,6 en 1,5 procent per jaar en toepassing van 10 tot 20 procent duurzame brandstof in 2050. Ondanks de efficiëntieslag zal het totale energiegebruik van de luchtvaart 30 tot 40 procent hoger uitkomen in 2050 dan in 2017. Een vijfde van de vluchten is intercontinentaal, en die vluchten over een afstand van meer dan 4.000 kilometer gebruiken ongeveer 70 procent van de energie.

## **Klimaatopgave voor de luchtvaart**

De ambitie in de Ontwerp-Luchtvaartnota 2020-2050 is een halvering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2050 ten opzichte van 2005. Figuur S.1 op de volgende pagina zet de ambities en verwachtingen volgens de scenario's naast elkaar. De klimaatambities zijn alleen te bereiken als het lukt om de toekomstige emissies in 2050 met 55 tot 64 procent méér te verminderen dan de uitstoot volgens de scenario's. De additionele opgave voor de luchtvaart bedraagt 7 tot 10 Mton CO<sub>2</sub> in 2050. Om deze opgave aan te pakken is aanvullend beleid op verschillende schaalniveaus nodig.

**Figuur S.1**

**Indicatie van CO<sub>2</sub>-emissie van vluchten vanuit Nederland bij beleidsambities**



Bron: CBS; IenW (2019); PBL

# 1 Inleiding

Het ministerie Infrastructuur en Waterstaat (IenW) werkt aan het beleidskader van de luchtvaart vanuit Nederlandse luchthavens voor de langere termijn: de Luchtvaartnota 2020-2050. In mei 2020 is de Ontwerp-Luchtvaartnota 2020-2050 gepresenteerd, waarin de ambitie is opgenomen om de uitstoot van CO<sub>2</sub> door de luchtvaart vanuit Nederland tussen 2005 en 2050 te halveren (IenW 2020b). Ook wordt het streven naar nul-emissie luchtvaart in 2070 genoemd.

Het internationale klimaatakkoord dat in 2015 in Parijs is gesloten heeft als doel de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder twee graden. Voor het reduceren van de emissies van de internationale luchtvaart verwijst Parijs naar de internationale burgerluchtvaartorganisatie van de Verenigde Naties (ICAO). Hoe de mondiale klimaatambitie vertaald kan worden in een gewenst niveau van CO<sub>2</sub>-uitstoot is verkend in de PBL-studie 'Parijsakkoord en luchtvaart' (Uitbeijerse et al. 2019). De klimaatopgave wordt nóg duidelijker als deze ambities geplaatst worden naast een inschatting van de te *verwachten* uitstoot.

Daarom heeft IenW het PBL gevraagd om de te verwachten CO<sub>2</sub>-emissie voor de langere termijn (tot 2050) in te schatten. Daar is het PBL op ingegaan en de opgeleverde cijfers zijn gebruikt in een figuur van de Ontwerp-Luchtvaartnota. Deze notitie beschrijft hoe deze cijfers tot stand zijn gebracht.

## Aanvulling op WLO-scenario's

De CO<sub>2</sub>-emissie wordt in beeld gebracht aan de hand van de lange termijn WLO-scenario's in beeld gebracht, aangezien de recente Klimaat- en Energieverkenning de emissies slechts tot 2030 schetst en beleidsvoornemens meeneemt (PBL et al. 2020). Twee mogelijke toekomstbeelden voor Nederland in 2050 zijn in 2015 door het Centraal Planbureau en het Planbureau voor de Leefomgeving geschetst in de Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (WLO) (CPB & PBL 2015a). De WLO geeft met twee referentiescenario's – Hoog en Laag – inzicht in toekomstige knelpunten en kansen. Zo vormen ze een kader om na te denken over toekomstig beleid. De WLO verkent echter vooral de ontwikkeling van CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van de vliegreizen van Nederlanders van en naar Nederlandse luchthavens (cahier Mobiliteit), en globaal het totaal dat alle luchtvaart vanuit Nederlandse luchthavens veroorzaakt (cahier Klimaat en energie). In 2018 zijn de volumeschattingen van de luchtvaart voor de WLO-scenario's Hoog en Laag geactualiseerd in opdracht van het ministerie, waarbij gebruik is gemaakt van het rekenmodel AEOLUS (zie bijlage B; Significance & To70 2018). Daarom is behoefte aan een vernieuwde inschatting van de CO<sub>2</sub>-uitstoot om de klimaatopgave inzichtelijk te maken. Daar vult deze notitie de oorspronkelijke WLO-scenario's in aan.

## Scope: CO<sub>2</sub>-uitstoot van bunkerbrandstof

De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de luchtvaart vanuit Nederland, dus ook de internationale vluchten, wordt in deze notitie afgeleid van de getankte brandstof voor de commerciële vluchten (bunkerbrandstof) in de burgerluchtvaart vanaf de luchthavens van nationaal belang<sup>1</sup>. Omdat er naar verwachting in de toekomst ook andere energiebronnen en brandstof worden toegepast, is de verwachting van het toekomstig energiegebruik relevant. Voor de realisatie is de afzet van luchtvaartbrandstof ook omgerekend naar het energiegebruik<sup>2</sup>. Door te kiezen voor

<sup>1</sup> Luchthavens: Amsterdam Airport Schiphol, Eindhoven Airport, Rotterdam The Hague Airport, Maastricht Aaken Airport, Groningen Airport Eelde en na opening voor commerciële vluchten: Lelystad Airport. Deze studie richt zich op het internationale handelsverkeer in de burgerluchtvaart, en niet op militaire vluchten of General Aviation (GA).

<sup>2</sup> De energie-inhoud van de getankte brandstof op Nederlandse luchthavens is gebruikt als indicator van het energiegebruik door de luchtvaart vertrekkend vanaf Nederland in de afgelopen jaren.

de benadering op basis van brandstofafzet veronderstellen we dat er ongeveer evenveel vanaf Nederlandse vluchthavens gevlogen wordt op resterende brandstof van een vorige vlucht als dat brandstof getankt in Nederland wordt gebruikt voor daaropvolgende vluchten (*tankering*<sup>3</sup>). Hiermee geeft de *getankte* brandstof een indicatie van de daadwerkelijk *gebruikte* brandstof op de vlucht.

De impact van de luchtvaart op het klimaat is wezenlijk groter dan enkel via de uitstoot van CO<sub>2</sub>. De belangrijkste broeikasgassen die door luchtvaart in de lucht komen, zijn CO<sub>2</sub> en waterdamp (ICAO 2016). De effecten van waterdamp en van andere emissies van de luchtvaart zoals roetdeeltjes, stikstofoxiden, koolwaterstoffen en zwaveloxiden op de opwarming van de aarde zijn niet goed bekend. Naar schatting is de klimaatimpact over een tijdshorizon van 100 jaar ongeveer 1,3 tot 2 keer zo hoog als enkel die van CO<sub>2</sub>, maar deze inschatting is erg onzeker (Schoor et al. 2018). Dit hangt namelijk samen met de levensduur van de verschillende emissies in de atmosfeer en de lokale samenstelling van de lucht, waarmee het klimaat-effect niet proportioneel is met de verbranding van brandstof in de toekomstige atmosfeer (Lee et al. 2009; Lee 2018; Scheelhaase et al. 2016). Daarom is het extra opwarmingseffect van de niet-CO<sub>2</sub>-emissies niet gekwantificeerd. Voor een volledige afweging van de impact van luchtvaart (beleid) op het klimaat is het wel zaak om ook de uitstoot van deze andere stoffen en de mogelijke effecten daarvan in de toekomst beter in kaart te brengen.

### Corona-crisis

De beschreven scenario's zijn gericht op de lange termijn (2030 en 2050) en blijven relevant, ondanks grote onzekerheden op de korte (en middellange) termijn als gevolg van de coronacrisis (naast andere onzekerheden). Het passagiersvervoer per lucht is het afgelopen voorjaar bijna geheel tot stilstand gekomen en kwam in de loop van de zomer weer wat op gang. In de periode van minder luchtvaart is het brandstofgebruik relatief minder afgenomen dan het aantal vluchten, waarschijnlijk door de toename van het luchtvrachtvervoer. Consumenten aarzelen in het internationaal reizen, en de toename van het videobellen vermindert de noodzaak tot zakenreizen op dit moment.

Het internationale vliegverkeer kan als gevolg van de economische recessie na de crisis op een blijvend lager groeipad komen. In de Klimaat- en Energieverkenning 2020, die in oktober verschijnt, wordt een raming gemaakt van de luchtvaartontwikkeling op de middellange termijn tot 2030, waarin ook zo goed mogelijk rekening wordt gehouden met de invloed van de coronacrisis. SEO maakte in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een inschatting van de effecten op de luchtvaart voor vier COVID-19-verspreidingsscenario's op de korte termijn tot 2023. De effecten schetsen een bandbreedte van volledig herstel in 2021 tot het verlies van de hubfunctie van Schiphol. In dat laatste scenario vermindert de internationale connectiviteit vanuit Nederlandse luchthavens ten opzichte van 2019, met minder internationaal personenvervoer, en hierdoor minder capaciteit voor vracht in het ruim en een grotere afhankelijkheid van vrachtvliegtuigen.

In hoeverre de crisis invloed heeft op de omvang en emissies van de luchtvaart op de lange termijn blijft onzeker. Zo is het denkbaar dat het lagere groeipad ertoe leidt dat de volumes in 2050 uitkomen bij de schattingen voor het scenario Laag. De beschreven lange

---

<sup>3</sup> *Tankering* vindt plaats wanneer een vliegtuig meer brandstof tankt dan hij op de vlucht naar de eerstvolgende bestemming nodig heeft. Het komt bijvoorbeeld voor dat een vliegtuig uit economische overwegingen meer brandstof tankt dan hij op de vlucht naar de eerstvolgende bestemming nodig heeft, wanneer de brandstof op de vertrekkende luchthaven goedkoper is dan bij de bestemming (Eurocontrol 2019). De brandstofprijs op Schiphol is relatief laag in vergelijking met bijvoorbeeld Ibiza of Oslo. Maar andersom kunnen aankomende vliegtuigen ook meer brandstof hebben meegenomen uit land van herkomst, dan hoeven zij niet (alles) in Nederland te tanken voor de terugvlucht vertrekkend vanuit Nederland, wat ook wachttijd kan schelen. Tankering heeft twee effecten: (1) er wordt meer of minder getankt in Nederland, afhankelijk van de brandstofprijzen, waardoor de in Nederland getankte brandstof niet gelijk is aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de vlucht; (2) het vervoerde gewicht neemt toe door de extra brandstof, en daardoor wordt er ook extra energie gebruikt. Bij de schatting van het energiegebruik van de vertrekkende vluchten is niet gecompenseerd voor tankering.

termijnsenario's in de WLO zijn juist bedoeld om te helpen om te gaan met de onzekerheden van de verre toekomst. Deze scenario's bieden handvatten om robuust beleid dat past bij beide omgevingsscenario's te doordenken.

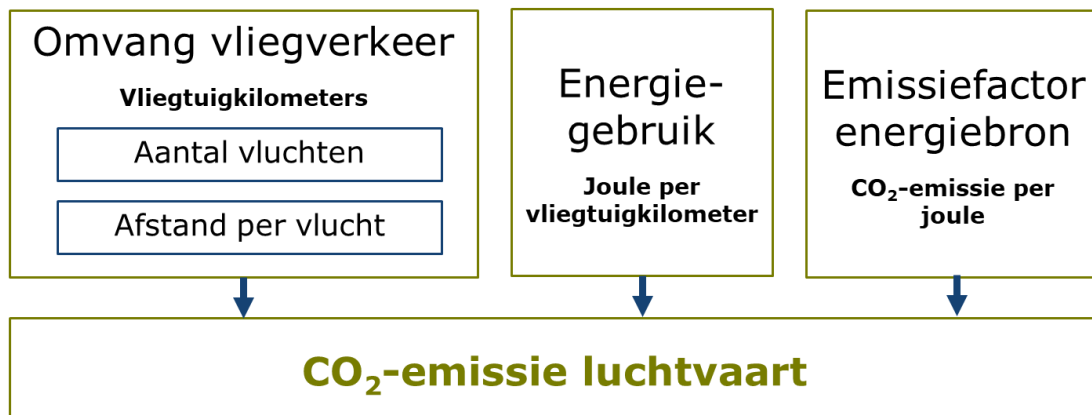
### Doel en leeswijzer

In deze notitie wordt de **verwachte ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en de opgave voor CO<sub>2</sub>-reductie door de luchtvaart** tot 2050 weergegeven om de klimaatambities uit het Ontwerpakkoord Duurzame Luchtvaart te bereiken. De drie verwachtingen die gezamenlijk de toekomstige emissie van luchtvaart bepalen, worden in de eerste drie hoofdstukken uitgewerkt:

- de verwachte omvang van het aantal passagiers, vracht en vliegafstanden (hoofdstuk 0);
- het energiegebruik van vliegtuigen en verbetering van de efficiëntie hierin (hoofdstuk 0);
- de klimaatimpact van de brandstof of energiebron die de benodigde energie levert (hoofdstuk 4 en 5).

Door het combineren van deze verwachtingen verkennen we hoeveel CO<sub>2</sub> vliegtuigen die in Nederland tanken uitstoten in 2030. Het laatste hoofdstuk (6) geeft ten slotte de vergelijking met de huidige (beleids)ambities om de klimaatopgave inzichtelijk te maken.

### Schema berekening verwachte CO<sub>2</sub>-uitstoot luchtvaart





# 2 Omvang vliegverkeer

De ontwikkeling van de luchtvaart vanuit Nederland op lange termijn wordt bepaald door allerlei factoren die onzeker zijn. Daarom bekijken we de twee scenario's Hoog en Laag uit de toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (WLO) (CPB & PBL 2015a). Scenario Hoog combineert een relatief sterke bevolkingsaanwas met een hoge economische groei van twee procent per jaar, een snellere technologische ontwikkeling en meer internationaal klimaatbeleid. En in scenario Laag gaat een beperkte demografische ontwikkeling samen met een gematigde economische groei van één procent per jaar, een gematigde technologische ontwikkeling en beperkt internationaal klimaatbeleid. Deze WLO-scenario's zijn qua nationaal beleid beleidsarm ingevuld. Hierbij is klimaatbeleid aangenomen dat leidt tot wereldwijde temperatuurstijging van 2,5 tot 4 graden, wat niet overeenstemt met het Parijsakkoord die toewerkt naar een maximale temperatuurstijging van twee graden of minder.

In beide scenario's zal de **vraag** naar personen- en goederenvervoer door de lucht toenemen als gevolg van wereldwijde demografische en economische ontwikkelingen. Daarnaast spelen de ontwikkeling van de netwerken van bestemmingen en de ontwikkeling van ticketprijzen een rol. Een uitgebreide beschrijving van de oorspronkelijke WLO-scenario's voor de luchtvaart is te vinden in het achtergrondrapport Mobiliteit – Luchtvaart (CPB & PBL 2016a). In 2018 zijn de volumeschattingen van de luchtvaart geactualiseerd in opdracht van het ministerie, waarbij gebruik is gemaakt van het rekenmodel AEOLUS (zie bijlage B; Significance & To70 2018). Deze notitie neemt die laatste schattingen voor Hoog en Laag als uitgangspunt.

## Verwachte omvang van het vliegverkeer

In zowel WLO Hoog als Laag groeit de vraag naar vliegreizen in hoog tempo door. Het aantal vluchten groeit met 50 tot 70 procent in 2050 ten opzichte van 2017. De afgelegde afstand van passagiers en vracht verdubbelt bijna in beide scenario's ten opzichte van 2017. Zonder capaciteitsrestricties zou de groei in Hoog nog hoger zijn. Het aantal vliegbewegingen wordt beperkt op de Nederlandse luchthavens om grip te houden op de belasting van vliegtuigen op de omgeving. Welke beperkingen voor de luchtvaart in de toekomst gelden zal samenhangen met de beleidskeuzes die nog gemaakt moeten worden. Afspraken die op dit moment de beschikbare capaciteit op luchthavens beperken zijn op vergelijkbare wijze aangenomen voor de toekomst, hoewel er recente signalen<sup>4</sup> zijn dat de capaciteitsrestricties aangescherpt zullen worden ten opzichte van de aannames in de WLO-scenario's. Beide scenario's gaan uit van opening van Lelystad Airport en verdere groei van Schiphol boven de grens van 500.000 vluchten op basis van het 50/50-beginsel, waarbij 50 procent van de milieuwinst van stillere vliegbewegingen wordt benut voor verdere groei.

Door de aannames van capaciteitsrestricties komt het aantal toekomstige vluchten lager uit dan op basis van de vraag naar vliegreizen verwacht zou worden (latente vraag). Transferpassagiers zullen hierdoor vaker uitwijken naar andere luchthavens dan reizigers die Schiphol als vertrekpunt of eindbestemming hebben. Ook zo'n 40 procent van de goederenvraag zal hierdoor niet vervoerd kunnen worden vanaf Schiphol. In het Lage scenario is de vraag naar luchtvaart lager dan in Hoog, maar zijn de restricties in de toekomst niet beperkend voor het aantal vliegbewegingen op de luchthavens. Daarom blijft ook het vrachtvolume doorgroeien, en zal dat uiteindelijk in het Lage scenario hoger zijn dan in Hoog.

<sup>4</sup> Recente communicatie vanuit het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, na de actualisatie van de luchtvaartramingen in 2018, geeft aan dat er wordt nagedacht over een andere groeibeperking van luchthavens. In de Ontwerp-Luchtvaartnota 2020-2050 wordt bevestigd dat het ontwerpakkoord Duurzame Luchtvaart ruimte biedt voor 'gematigde groei', ook na 2030. In een Kamerbrief van 5 juli 2019 is aangegeven dat Schiphol op de korte termijn verder zou kunnen groeien tot 540.000 vluchten, op voorwaarde dat er sprake is van gerealiseerde hinderbeperking. Onduidelijk is echter over welke periode deze grens zal gelden.

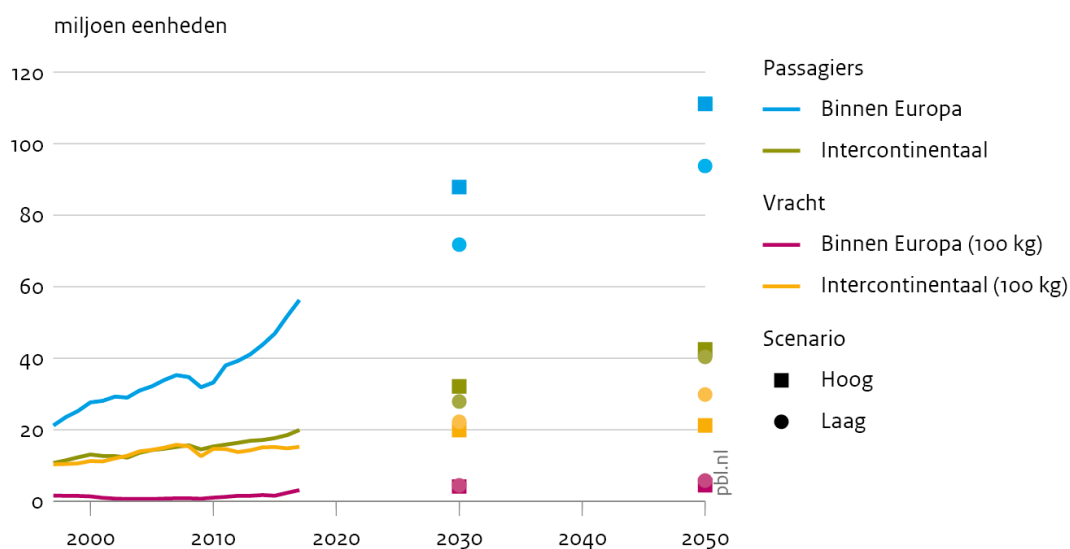
**Tabel 1**  
**Verwachte ontwikkeling van vluchten, passagiers en vracht op Nederlandse luchthavens**

		Realisatie		Hoog		Laag	
		1997	2017	2030	2050	2030	2050
Vluchten	aantal	400.118	555.785	797.000	929.000	673.000	823.000
Passagiers	mln	32	76	120	154	100	134
Vracht (vervoerd gewicht)	x 100.000 ton	12	18	24	26	27	36
Afgelegde afstand	index (1997 = 100)	100	185	274	334	255	351

### Verdeling naar bestemming

Het grootste aandeel in de luchtvaartomvang wordt in beide scenario's verwacht door de passagiers binnen Europa. Figuur 1 combineert de realisatie van het aantal passagiers en vervoerd gewicht van vracht van de afgelopen 20 jaar met de verwachte volumes in 2030 en 2050. Om de omvang met elkaar te kunnen vergelijken, is hierbij het vervoerd gewicht in eenheden van 100 kg weergegeven naast het aantal passagiers.

**Figuur 1**  
**Luchtvaartvolume op Nederlandse luchthavens naar bestemming**



Bron: CBS; PBL

Net als in 2017 reizen in 2050 meer dan twee keer zoveel passagiers naar bestemmingen binnen Europa als naar intercontinentale bestemmingen (zie tabel in bijlage A). Het aantal Europese vluchten is maar liefst 80 procent van het totaal aantal passagiersvluchten, aangezien hiervoor kleinere types worden ingezet dan bij intercontinentale vluchten. Het aantal passagiers per vlucht stijgt gemiddeld wel door een hogere stoeldichtheid en grotere toestellen.

Het aantal kilometers dat reizigers afleggen als maat voor het luchtvaartvolume is relevant voor de energievraag van de luchtvaart. In de vergelijking van de reizigerskilometers blijken

intercontinentale passagiers verantwoordelijk voor zo'n 70 procent van de totaal afgelegde afstand van passagiers vanuit Nederland.

In het Hoge scenario wordt in 2050 nog maar een derde van het huidige aantal vrachtluchten verwacht, dat is 1 procent van alle vluchten. De tarieven zullen door de krapte op Schiphol in het Hoge scenario namelijk zodanig stijgen dat het economisch aantrekkelijker is voor vrachtvliegtuigen om via buitenlandse luchthavens te vliegen. De meeste vracht die nog wel wordt vervoerd zal in het ruim met passagiersvliegtuigen meeliften. De meeste tonkilometers, namelijk 95 procent van de totale afgelegde vrachtafstand, worden gemaakt naar intercontinentale bestemmingen (op meer dan 4.000 kilometer) in beide scenario's. Bij weinig schaarste, zoals in het Lage scenario, blijven er meer vrachtvliegtuigen vliegen en daarmee met name intercontinentale vluchten (70 procent van de ongeveer 30.000 vluchten). In Hoog heeft ongeveer de helft van de 11.000 vrachtluchten een intercontinentale bestemming.

# 3 Energiegebruik

Het volume van de luchtvaart op Nederlandse luchthavens nam in de afgelopen 20 jaar sterker toe dan het energiegebruik (op basis van de energie-inhoud van de getankte brandstof). Dit hoofdstuk schetst de verwachte ontwikkeling van dit energiegebruik van vertrekkende vluchten uit Nederland. Ook laat een analyse van het aandeel in het energiegebruik van de korte- en langeafstandsvluchten zien dat langeafstandsvluchten het grootste deel van de energie gebruiken.

## Efficiëntieverbetering

De benodigde energie per vervoerde passagier of eenheid vracht (100 kg) is de afgelopen 20 jaar gedaald door een gemiddeld kortere vluchten, hogere stoeldichtheid<sup>5</sup> en energie-efficiëntieverbetering van vliegtuigen (Uitbeijerse en Hilbers 2018). Die ontwikkeling zet naar verwachting door in de toekomst, de mate waarin is echter onzeker. Het internationale klimaat- en energiebeleid vormt een belangrijke onzekerheid voor de ontwikkeling van de luchtvaart. Om het toekomstig energiegebruik te verkennen bieden scenario's de mogelijkheid om met deze onzekerheden te variëren<sup>6</sup>. Een studie naar de historische ontwikkeling van de brandstofefficiëntie door de ICCT (2020) geeft een gemiddelde jaarlijkse verbetering van 1,0 procent over de hele onderzochte periode van 1970 tot 2019. In bepaalde perioden zijn flinke efficiëntieslagen gemaakt, zoals in de jaren 1980 met gemiddeld 2,8 procent per jaar. Ook het afgelopen decennium liet een versnelling zien met 1,5 procent, onder andere door de introductie van de Airbus A320neo en Boeing 737 MAX. In de tussenliggende decennia komt de ICCT uit op een jaarlijkse verbetering van 0,2 tot 1,0 procent. Op korte termijn verwacht de ICCT niet veel nieuwe, efficiëntere vliegtuigmodellen.

Veel internationale toekomstverkenningen werken bij de inschatting van toekomstige efficiëntie met scenario's die variëren in factoren als snelheid van technologische ontwikkeling en toepassing in vliegtuigen. De verwachte jaarlijkse verbeterpercentages vallen in de breedte van 0,6 tot 2,2 procent (ICCT 2020; IATA 2018; ICAO 2016; Lee et al. 2009). Luchtvaartmaatschappij KLM, verantwoordelijk voor de helft van de vluchten op Schiphol, komt op de vierde plaats in een brandstofefficiëntie-ranking tussen de luchtvaartmaatschappijen die over de Atlantische oceaan vliegen (ICCT 2018), en kan als bovengemiddeld zuinig worden beschouwd. Een verschil in energie-efficiëntie tussen luchtvaartmaatschappijen ontstaat met name door de vlootsamenstelling: vliegtuigen met vier motoren verstoken in het algemeen meer brandstof per kilometer dan die met twee (ICCT 2018).

In een trend-update schetst de burgerluchtvaartorganisatie ICAO dat de lange termijn brandstofefficiëntie wereldwijd uitkomt op 1,4 procent per jaar in het meest optimistische scenario (ICAO 2019a). Daarmee wordt de hoge ambitie van gemiddeld 2 procent verbetering per jaar niet gehaald (ICAO 2019b). Tweederde van de 1,4 procent verbetering wordt toegeschreven aan nieuwe technologie, zoals motortechniek, materiaalgebruik of vorm van het vliegtuig; en een derde komt door efficiëntere uitvoering, bijvoorbeeld door kortere routes. Beide aspecten worden hierna kort besproken.

---

<sup>5</sup> Uitbeijerse et al. (2018) noemden dit 'bezettingsgraad', maar de ICCT concludeert uit een studie naar vluchten over de Atlantische oceaan dat het aantal passagiers per vliegtuig met name wordt vergroot door een grote toename in de stoeldichtheid (meer stoelen), en relatief minder door een verhoogde verhouding tussen het aantal passagiers en beschikbare stoelen.

<sup>6</sup> Allereerst bepaalt het rekenmodel AEOLUS de bestemmingen (en dus afstanden) door de reacties van reizigers en vrachtvervoerders op bijvoorbeeld een andere samenleving (zie WLO-scenario's CPB & PBL 2015a), andere prijzen en vluchtschema's. Daarnaast wordt de trend van de verbeterde bezettingsgraad doorgezet. Ten slotte variëren we per scenario in de efficiëntie van toekomstige vliegtuigen.

De **technologie** zal zich volgens IATA vooral stapsgewijze ontwikkelen tot 2035. Maar na 2035 zit er weinig verbeterpotentieel meer in de huidige vorm vliegtuigen (IATA 2019). Nieuwe revolutionaire vliegtuigstructuren en motortechnologie worden verwacht na 2035, zoals een open rotor (30 procent besparing) of andere vorm en indeling (30-50 procent). Een nieuwe generatie vliegtuigen is ongeveer 15 procent zuiniger dan de vorige, en een vliegtuig gaat ongeveer 20 jaar mee voor het vervangen wordt.

Volledig elektrische voorstuwing wordt volgens de internationale luchtvaartvertegenwoordiger IATA in de markt gezet met zeer kleine vliegtuigen (2020-2025), maar kan 'optimistisch' in grotere, commerciële luchtvaartuigen pas worden verwacht rond 2035-2040 op korte afstanden. Zowel vervanging als nieuwe aanwas beïnvloeden de gemiddelde vlootontwikkeling en het daarmee dalende energiegebruik. Volgens de sectorvertegenwoordiger IATA zijn kansen voor efficiëntieverbetering groter bij kleinere, regionale vliegtuigen (2 procent per jaar) dan bij de grote vliegtuigen (minder dan 1 procent per jaar) (IATA 2017).

Naast fysieke aanpassingen aan het vliegtuig is er besparingspotentieel in het optimaliseren van de **uitvoering** van de vluchten (operationele maatregelen). Enkele aspecten van het optimaliseren van routes en start- en landingsprocedures zijn: de cruisehoogte, afstand (free routing), snelheid, klim- en daalprofielen (zoals *continuous descent approach* (CDA)) en weersomstandigheden (NLR 2019). Daarnaast neemt de totale efficiëntie van de luchtvaart toe als er meer stoelen per toestel zijn en als er meer van de beschikbare stoelen ook bezet worden (een hogere bezettingsgraad). Met hetzelfde aantal vluchten kan dan meer vervoerd worden.

Beide WLO-scenario's gaan uit van een efficiëntieontwikkeling, waarin verbetering in vliegtuigtechnologie en operatie worden samengenomen, zonder deze uit te splitsen naar de bovengenoemde factoren. In de actualisatieslag van het AEOLUS-model in 2018 zijn de efficiëntiepercentages vergeleken met de WLO uit 2015 naar beneden bijgesteld (Significance & To70 2018). Het Lage referentiescenario gaat uit van een gematigde efficiëntieverbetering van 0,6 procent gemiddeld per jaar tot 2050, overeenkomstig met het gematigde percentage in ICAO-scenario's. Het Hoge scenario gaat uit van een gemiddelde verbetering van 1,5 procent per jaar. In totaal zijn de vliegtuigen dan respectievelijk zo'n 20 tot 40 procent energiezuiniger in 2050 dan in 2017. Om de laatste verbeteringslag te realiseren over de gehele periode tot 2050 is er veel inspanning nodig van de vliegtuigbouw-industrie. Meer en snellere radicale ontwikkelingen zouden een nog grotere efficiëntieverbetering tot gevolg kunnen hebben. Mogelijke effecten van een efficiëntieverbetering van gemiddeld 2 of meer procent per jaar zijn verkend in enkele van de Parijsscenario's in een andere PBL-studie (Uitbeijerse et al. 2019).

### Energie-inhoud van getankte brandstof

Het energiegebruik van de luchtvaart vertrekkend vanaf Nederlandse luchthavens zal naar verwachting stijgen naar 214 tot 241 petajoule in 2050. Dat is een groei van 27 tot 42 procent ten opzichte van 169 petajoule aan energie die is gerelateerd aan de getankte brandstof in 2017<sup>7</sup>. De stijging zal bij hoge economische groei, bevolkingsgroei en snelle efficiëntieverbetering in 2050 lager uit kunnen komen dan in 2030. Bij lagere economische groei, bevolkingsgroei en conservatievere efficiëntieverbetering is de verwachting dat het energiegebruik hoger uitkomt dan in 2030. Factoren die hierbij een rol spelen zijn de afgelegde afstanden, de hoeveelheid vracht, vlootvernieuwing en het aandeel vrachtvliegtuigen. Zo gebruiken vrachtvliegtuigen gemiddeld meer energie per vlucht dan passagiersvliegtuigen, en oudere vliegtuigen meer dan nieuwere.

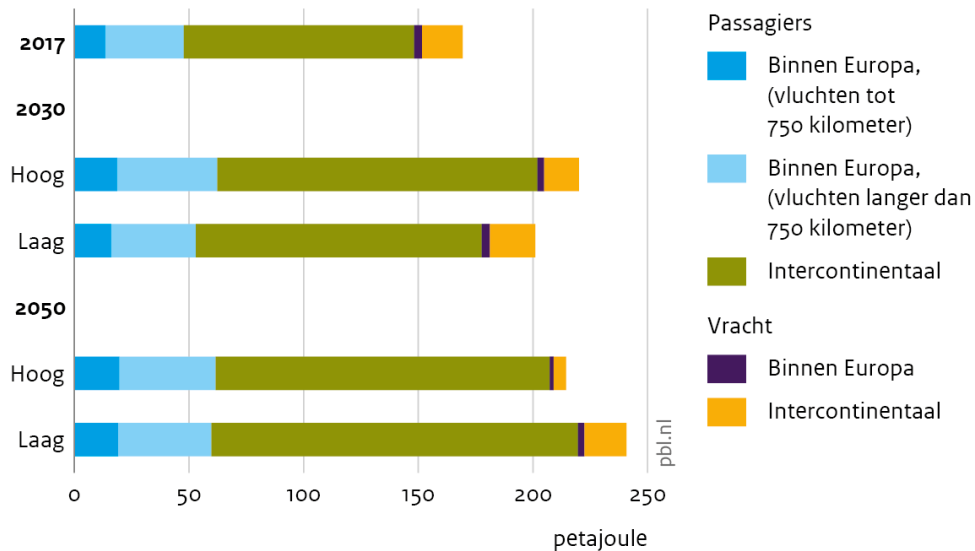
<sup>7</sup> Voor de relatieve groei in het energiegebruik vanaf 2017 is gebruik gemaakt van de van de geactualiseerde luchtvaartprognoses Hoog en Laag met het rekenmodel AEOLUS (Significance en To70 2019), zie bijlage B.

## Energiegebruik naar afstanden

De verdeling van de vluchten over verschillende afstanden en het aandeel daarvan in het energiegebruik is niet gelijk verdeeld, zoals figuur 2 illustreert. Het grootste aandeel energie wordt gebruikt in vluchten op de lange afstanden (intercontinentaal). In 2050 zal volgens de beide scenario's ongeveer 70 procent van de energie worden gebruikt door een vijfde van de passagiersvluchten over afstanden van meer dan 4.000 kilometer (zie tabel in bijlage A). Van de passagiersvliegtuigen (met vracht in het ruim) vliegt 40 procent niet verder dan 750 kilometer, en die zijn verantwoordelijk voor rond 10 procent van de totale benodigde energie voor alle passagiersvluchten. Met beter concurrerende treinverbindingen op die afstand is de potentiële energiebesparing daarmee beperkt. Hoewel langeafstandsvluchten per reizigerskilometer wel efficiënter zijn, heeft de totaal afgelegde afstand veel meer impact op de uiteindelijk benodigde energie voor de reis.

**Figuur 2**

### Energiegebruik vluchten vanaf Nederlandse luchthavens naar vluchtafstand



Bron: CBS; PBL

# 4 Duurzame brandstof

Wanneer een deel van de benodigde energie wordt geleverd door duurzame luchtvaartbrandstof heeft dat in de keten een lagere broeikasgasemissie tot gevolg. Dit hoofdstuk brengt de CO<sub>2</sub>-reductie hiervan in de scenario's in beeld. Overige emissies en het broeikas effect daarvan op grote hoogte komen hierbij niet aan de orde (zie inleiding).

## Duurzame luchtvaartbrandstof

Bij de verbranding een duurzame brandstof – zoals biobrandstof of synthetische brandstof – komen in de lucht nog steeds luchtverontreinigende stoffen broeikasgassen als CO<sub>2</sub> vrij, net als bij fossiele kerosine. De CO<sub>2</sub> wordt echter in het productieproces (of gedurende het groeien van biomassa) al opgenomen uit de lucht of afgevangen, wat netto een lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot tot gevolg heeft dan fossiele brandstof<sup>8</sup>. Biokerosine wordt 'CO<sub>2</sub>-neutraal' genoemd, hoewel productieprocessen en indirecte effecten op grondgebruik nog wel CO<sub>2</sub>-uitstoot veroorzaken. De CO<sub>2</sub>-reductie van biokerosine is daardoor geen 100 procent over de hele keten gezien. Verschillende bronnen van biomassa hebben een ketenreductiepotentieel tussen 50 en 95 procent vergeleken met fossiele luchtvaartbrandstof, onder andere afhankelijk van de productiemethode en biomassabron (De Jong et al. 2017; Verrips & Hilbers 2020).

Andere duurzame brandstoffen zijn brandstoffen die op duurzame manier uit een koolstofbron worden geproduceerd, bijvoorbeeld door middel van hernieuwbare elektriciteit. Een synthetische productiewijze wordt bijvoorbeeld aangeduid als power-to-liquid (PtL) wanneer zonne-energie wordt benut bij het chemische proces van het omzetten van water en CO<sub>2</sub> in kerosine (e-fuel). Overigens kunnen alternatieve brandstoffen tot de helft van het totaal worden bijgemengd met conventionele brandstof (ICCT 2019).

Om de emissiereductie van duurzame luchtvaartbrandstof in deze notitie te verwerken, is de analogie voor de toepassing van biobrandstof in verkeer gebruikt zoals Koelemeijer et al (2018). Dat betekent dat we voor de luchtvaart wel uitgaan van het vermijden van alle emissies, maar dat de emissies voor bijvoorbeeld transport van biomassa en productie van duurzame brandstof in de keten, die elders of in andere sectoren binnen Nederland plaatsvinden, dáár in de CO<sub>2</sub>-boekhouding meegenomen zullen worden.

## Beleidsambities

De ambitie van de Nederlandse luchtvaartsector is om 14 procent biokerosine te gebruiken in 2030 (IenW 2019). De geplande productie van biokerosine in Nederland is echter ongeveer 2 procent van de verwachte brandstofafzet in 2030 (KEV 2019). Of de ambitie haalbaar is hangt af van extra maatregelen om de (internationale) productie van duurzame brandstoffen op te voeren en bijmenging te stimuleren. Het kabinet heeft aangekondigd zich in te zetten voor de invoering van een Europese bijmengverplichting van duurzame luchtvaartbrandstoffen (IenW 2020a). Indien de invoering van een Europese verplichting niet (tijdig) wordt bereikt, zal Nederland er naar streven om per 2023 een nationale bijmengverplichting in te voeren.

Wanneer er aanvullend beleid komt om de productie van zowel biokerosine als van e-fuels te stimuleren en versnellen, kunnen duurzame brandstoffen in 2050 meer een rol van betekenis spelen in de luchtvaart. Denk hierbij aan het stimuleren van de vraag en productie van duurzame brandstof door verplichte bijmenging, zoals ook de vraag naar biobrandstof in het

---

<sup>8</sup> Paragraaf 7.5 in de Kennisscan voor de luchtvaartnota (Schoor et al 2018) geeft een overzicht van mogelijkheden in energieopslag, energiebronnen en brandstoffen.

wegverkeer is gestimuleerd. Hierdoor ontstaat een prikkel tot innovatie en het opschalen van de productie, resulterend in schaalvoordelen die de brandstof goedkoper maakt (CE Delft 2017; Verrips & Hilbers 2020).

### **Duurzame brandstof in de WLO-scenario's**

De beleidsarme WLO-scenario's nemen aan dat 10 tot 20 procent duurzame brandstoffen wordt ingezet bij alle personenvervoer en de luchtvaart in 2050 (CPB & PBL 2016b). Hoewel deze cijfers richting de nationale ambitie voor bijmenging gaan, is het nog niet evident of deze uitgangspunten gerealiseerd kunnen worden. Voor 2030 is het bijvoorbeeld 5 keer zoveel als de productie en levering die op dat moment in Nederland is voorzien in de Klimaat- en Energieverkenning 2020 (PBL et al. 2020).

Zoals eerder benoemd zijn er nog emissies verbonden aan het transport en de productie van de bijmenging van de genoemde aandelen duurzame brandstof. Indien aangenomen wordt dat duurzame brandstoffen een gemiddeld ketenrendement hebben van 75 procent resulteert dit elders tot 0,4 tot 0,8 megaton extra CO<sub>2</sub>-uitstoot. Deze notitie met alleen luchtvaartemissies gaat uit van 100% CO<sub>2</sub>-reductie door duurzame brandstof.



# 5 CO<sub>2</sub>-emissie

De drie onderwerpen uit de drie voorgaande hoofdstukken, namelijk de omvang van de luchtvaart, het energieverbruik ervan en het aandeel van duurzame brandstoffen in de energiemix, bepalen samen de resterende fossiele energievraag voor de luchtvaart in 2050. Hoeveel CO<sub>2</sub> zou er vrijkomen bij verbranding van deze fossiele brandstof?

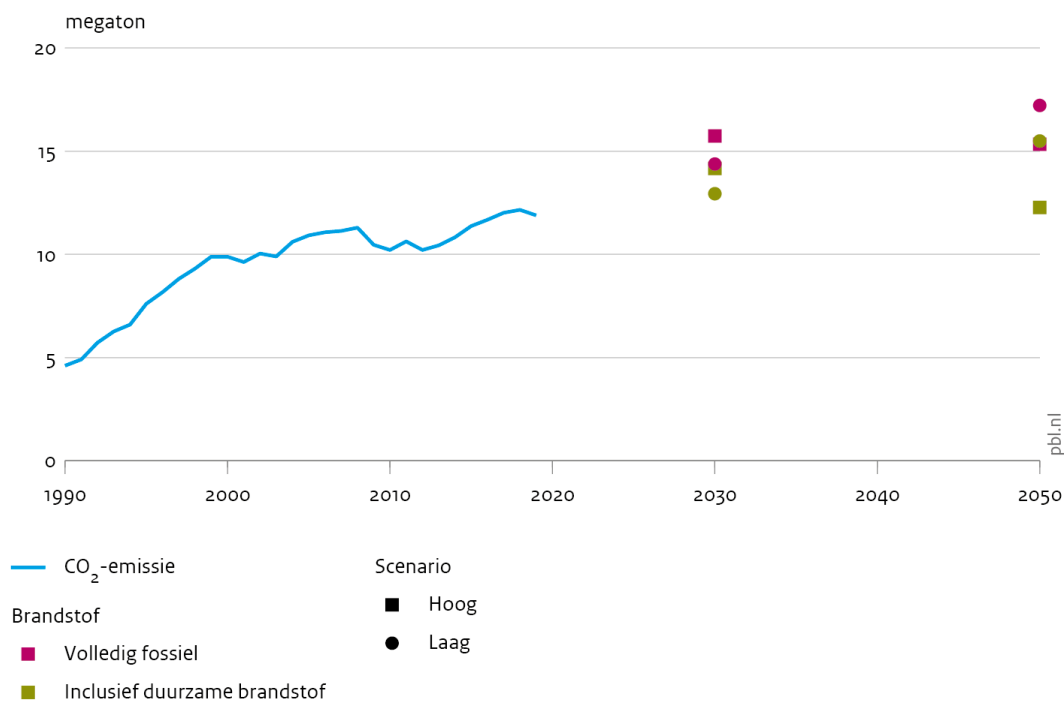
De uitstoot in 2050 zal naar verwachting tussen de 12,2 en 15,5 megaton CO<sub>2</sub> bedragen. De CO<sub>2</sub>-emissie bij de realisatie is direct afgeleid van de getankte kerosine in Nederland (CBS 2020), volgens dezelfde methodiek als de Klimaat- en Energieverkenning 2019 en 2020 (Schoots & Hammingh 2019; PBL et al. 2020). De twee scenario's geven een indicatie van hoeveel CO<sub>2</sub> alle vertrekkende commerciële vluchten vanuit Nederland uitstoten in de toekomst.

In figuur 3 zijn voor beide scenario's Hoog en Laag twee punten van CO<sub>2</sub>-uitstoot per doeljaar opgenomen (zie bijlage A voor de achterliggende cijfers):

- inclusief de bijmenging van 10 tot 20 procent duurzame brandstof (zie hoofdstuk 4);
- volledig fossiel, zonder toekomstig gebruik van duurzame brandstof<sup>9</sup>.

**Figuur 3**

## Indicatie van CO<sub>2</sub>-emissie van vluchten vanuit Nederland bij hoog en laag scenario



Bron: CBS; PBL

<sup>9</sup> Voor de volledigheid, hierbij wordt dus verondersteld dat alle benodigde energie uit fossiele kerosine komt. De weergave gaat om de CO<sub>2</sub>-uitstoot die volgt uit het totale benodigde energiegebruik van alle vertrekkende vluchten uit Nederland exclusief duurzame brandstoffen.

# 6 Klimaatopgave

De CO<sub>2</sub>-uitstoot zoals geschat in de twee beleidsarme omgevingsscenario's in 2050 geeft een eerste indicatie van de bandbreedte in de klimaatimpact van de luchtvaart. Internationaal, Europees en nationaal worden doelen gesteld om de verduurzaming aan te jagen. Verdere beleidsmaatregelen kunnen de ontwikkeling van elektrisch vliegen ondersteunen of het opschalen van duurzame brandstofproductie versnellen.

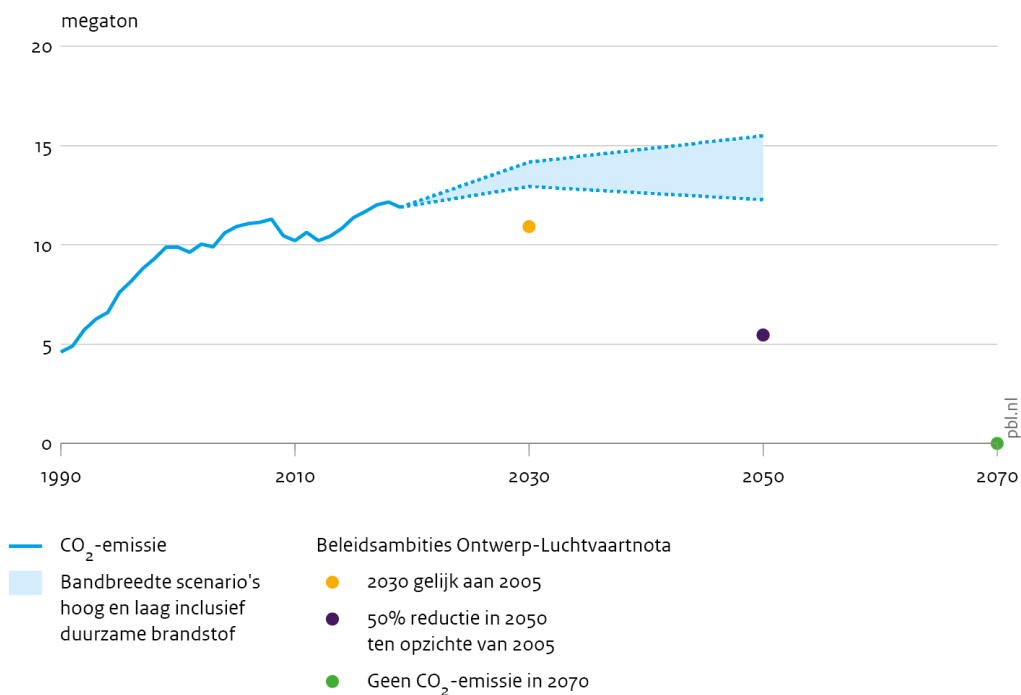
## Ambities

In mei 2020 heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat de Ontwerp Luchtvaartnota 2020-2050 gepresenteerd (IenW 2020b). Deze nota geeft de kaders voor de ontwikkeling van de luchtvaart in de komende decennia aan de hand van vier publieke belangen, waaronder duurzaamheid. Voor 2030 bevat de ontwerpnota dezelfde ambitie als het Ontwerpakkoord Duurzame Luchtvaart (IenW 2019). In 2050 zou de uitstoot gehalveerd moeten zijn ten opzichte van 2005 en in 2070 zou er geen uitstoot meer moeten zijn. Ter vergelijking: het Nederlandse Klimaatakkoord heeft tot doel om de binnenlandse uitstoot met 95 procent te verminderen in 2050 ten opzichte van 1990. Voor de grondgebonden activiteiten op luchthavens, zoals het bagagevervoer, is de ambitie om in 2050 geen uitstoot te hebben.

Onderstaande figuur 4 zet de realisatie, ambities en verwachtingen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de luchtvaart naast elkaar, zonder de effecten van de corona-crisis. Ook geeft deze grafiek indicatief aan welke uitstoot kan worden verwacht, inclusief duurzame brandstof, volgens de scenario's Hoog en Laag (zie bijlage A voor de cijfers). Daarmee geeft het figuur een indicatie van wat de nationale ambities zouden inhouden voor de opgave in het verminderen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van de scenario's.

**Figuur 4**

### Indicatie van CO<sub>2</sub>-emissie van vluchten vanuit Nederland bij beleidsambities



Bron: CBS; IenW (2019); PBL

## Klimaatopgave

De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de vertrekkende vluchten in 2050 zal naar verwachting hoger zijn dan de huidige uitstoot van 12 megaton, volgens beide scenario's. De ambitie van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en luchtvaartorganisaties voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot is lager dan zowel de realisatie als de verwachte uitstoot volgens de scenario's. Bovendien beïnvloeden ook overige luchtvaartemissies op grote hoogte, anders dan CO<sub>2</sub>, de opwarming van de aarde, maar die zijn in deze notitie niet meegenomen (zie inleiding).

De klimaatambities zijn alleen te bereiken als het lukt om de toekomstige emissies met 54 tot 64 procent terug te dringen ten opzichte van de uitstoot in de scenario's. Een halvering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2050 ten opzichte van 2005 houdt in dat de uitstoot 5,5 megaton bedraagt. Dat betekent ook dat er in 2050 nog een extra reductie van zo'n 55 tot 64 procent gerealiseerd moet worden ten opzichte van de verwachting volgens de scenario's, terwijl daar al rekening is gehouden met efficiëntieontwikkeling en inzet van 10 tot 20 procent duurzame brandstof. Dit geeft aan dat er aanvullend beleid nodig is.

## Beleidsopties

Voor het verminderen van de toekomstige emissies door de luchtvaart kunnen beleidsopties aangrijpen op een van de volgende drie aspecten:

- het verminderen van de omvang (volumes, massa, afstanden), bijvoorbeeld door lange-afstandsvluchten die het meeste energie gebruiken te beperken;
- het verminderen van het energiegebruik per passagiers- of vrachtkilometer, bijvoorbeeld indirect door CO<sub>2</sub>-beprijzing of het stimuleren van onderzoek naar energie-efficiënte technologie of routekeuze;
- het aanpassen van de energiebron, bijvoorbeeld door elektrisch vliegen en gebruik van duurzame brandstoffen, zoals door het verplichten van bijmengen van duurzame brandstof.

Maatregelen die aansluiten bij een of meerdere van deze aspecten zullen een afname van het fossiele energiegebruik en de emissies teweegbrengen. Daarnaast kan de resterende uitstoot van de luchtvaart kan wellicht gecompenseerd worden door elders extra CO<sub>2</sub>-uitstoot te vermijden of daar CO<sub>2</sub> op te slaan in de grond.

Bij het bepalen van klimaatbeleidsmaatregelen voor de luchtvaart is het belangrijk het energiegebruik en de klimaatimpact waarop wordt aangegrepen vooraf scherp te analyseren. Bijvoorbeeld: een maatregel om het aantal korte vluchten tot 750 kilometer te verlagen, grijpt in op minder dan een tiende van het energiegebruik. Hier is dus maar een beperkte CO<sub>2</sub>-besparing te behalen. Bovendien bestaat het risico dat de vrijgekomen slots worden vervangen door lange-afstandsvluchten met meer CO<sub>2</sub>-uitstoot per vlucht. Nieuw aanbod van vluchten kan nieuwe vraag genereren. In het Hoge scenario is er al voldoende latente vraag, waar door de capaciteitsrestricties niet in kon worden voorzien, om de openvallende slots op te vullen.

Op internationaal niveau wordt gewerkt aan maatregelen, zoals bij het Europese emissiehandelssysteem (ETS) en het wereldwijde CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation). De nationale Ontwerp-Luchtvaartnota noemt enkele maatregelen die passen bij het verminderen van de afname van fossiel energiegebruik, zoals een Europese of nationale bijmengverplichting van duurzame luchtvaartbrandstoffen en een CO<sub>2</sub>-emissieplafond per luchthaven (IenW 2020b).

De CPB-PBL studie Kansrijk Mobiliteitsbeleid 2020 analyseert beleidsopties, waaronder enkele die kunnen bijdragen aan klimaatbeleid voor de commerciële luchtvaart<sup>10</sup> (Verrips & Hilbers 2020). De effecten op de bereikbaarheid, leefbaarheid, en betaalbaarheid zijn in beeld gebracht voor maatregelen als een CO<sub>2</sub>-heffing, een CO<sub>2</sub>-plafond per luchthaven, het verdubbelen van de vliegbelasting of slotverdeling gericht op emissies. De beschreven maatregelen zijn waarschijnlijk niet toereikend om de genoemde klimaatopgave te adresseren, maar zullen in samenhang verder uitgewerkt en aangescherpt moeten worden om de ambities te kunnen halen. Bovendien is het ook belangrijk om de uitstoot van andere emissies dan CO<sub>2</sub> en de effecten ervan op de opwarming van de aarde te begrijpen, zodat ook deze effecten integraal in de afweging van beleidsmaatregelen een rol kunnen spelen.

De afweging van verschillende beleidsdoelen die betrekking hebben op de (internationale) luchtvaart is zeer van belang. Maatregelen die bijvoorbeeld de klimaateffecten moeten beperken, kunnen een nadelig effect op de internationale bereikbaarheid hebben. Het is vooral een politieke keuze hoe men publieke belangen wil behartigen door verschillende maatregelen met elkaar te combineren.

---

<sup>10</sup> Kansrijk Mobiliteitsbeleid is een integrale studie over meerdere vervoersmiddelen. Luchtvaartmaatregelen worden vooral besproken in paragraaf 4.4 en het laatste deel over de klimaatopgave in 5.3. Daarnaast worden alle maatregelen in bijlage 4 met de fiches uitgewerkt (vanaf pagina 243).

## REFERENTIES

- CE Delft, (2017). *Overheidsmaatregelen biokerosine. Mogelijkheden om de vraag naar biokerosine te stimuleren en de effecten op de luchtvaart en de economie*. Delft: CE Delft.
- CPB & PBL (2015a), *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving/Centraal Planbureau.
- CPB & PBL (2015b), *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Cahier Mobiliteit*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- CPB & PBL (2016a), *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Achtergronddocument Mobiliteit - Luchtvaart*, Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.
- CPB & PBL (2016b), *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Achtergronddocument Klimaat en energie*, Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.
- Eurocontrol (2019), *Fuel Tankering: economic benefits and environmental impact*. Aviation Intelligence Unit, Think Paper #1 ([link](#)).
- IATA (2017), *Technology Roadmap for Environmental Improvement*. Fact Sheet.
- IATA (2019), *Technology Roadmap for Environmental Improvement*. Fact Sheet, ([link](#)).
- ICAO (2016), *On board a sustainable future. Environmental report 2016: Aviation and climate change*, International Civil Aviation Organization.
- ICAO (2019a) *Global Environmental Trends – present and future aircraft noise and emissions*. 5 juli 2019.
- ICAO (2019b), *Destination Green. The Next Chapter. 2019 Environmental report*. International Civil Aviation Organization.
- ICCT (2018), *Transatlantic airline fuel efficiency ranking 2017*. White Paper, September 2018, The International Council on Clean Transportation.
- ICCT (2019), *Long-term aviation fuel decarbonization: progress, roadblocks, and policy opportunities*. Alternative fuel aviation briefing, January 2019, The International Council on Clean Transportation ([link](#)).
- ICCT (2020), *Fuel burn of new commercial jet aircraft: 1960 to 2019*. White Paper, September 2020, The International Council on Clean Transportation.
- IenW (2019), *Bijlage 2 Ontwerpakoord Duurzame Luchtvaart bij kamerbrief 'Klimaatbeleid voor luchtvaart'*. Kamerstuk met kenmerk IENW/BSK-2019/58890. Versie 21 februari 2019 ([link](#)).
- IenW (2020a), *Bijmengverplichting Luchtvaart en andere ontwikkelingen duurzame brandstoffen luchtvaart*, Kamerbrief 3 maart 2020 ([link](#)).
- IenW (2020b), *Verantwoord vliegen naar 2050, Ontwerp-Luchtvaartnota 2020-2050*.
- De Jong, S., R. Hoefnagels, J. van Stralen, M. Londo, R. Slade, A. Faaij & M. Junginger (2017) *Renewable Jet Fuel in the European Union. Scenarios and Preconditions for Renewable Jet Fuel Deployment towards 2030*. Copernicus Institute of Sustainable Development, Utrecht University & Energy Research Centre of the Netherlands (ECN).
- Koelmeijer, R., B. Daniëls, P. Koutstaal, G. Geilenkirchen, J. Ros, P. Boot, G.J. van den Born, M. van Schijndel (2018), *Kosten energie- en klimaattransitie in 2030 – update 2018*, Den Haag: PBL.
- Lee, D.S., D.W. Fahey, P.M. Forster, P.J. Newton, R.C.N. Wit, L.L. Lim, B. Owen en R. Sausen (2009), *Aviation and global climate change in the 21<sup>st</sup> century, Atmospheric Environment*, 43, 3520-3537.
- Lee, D.S. (2018), *The current state of scientific understanding of the non-CO2 effects of aviation on climate*. In opdracht van het Verenigd Koninkrijk: Department for Transport (DfT).
- NLR (2019), *Kennis ten behoeve van de Luchtvaartnota*. Januari 2019. NLR-CR-2018-407-Hzv-1, Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum.

- PBL, TNO, CBS en RIVM (2020), *Klimaat- en Energieverkenning 2020*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Scheelhaase, J.D., K. Dahlmann, M. Jung, H. Keimel, H. Niebe, R. Sausen, M. Schaefer & F. Wolters (2016), How to best address aviation's full climate impact from an economic policy point of view? Main results from AviClim research project, *Transportation Research Part D*, 45, 112-125.
- Schoots, K. & P. Hammingh (2019), *Klimaat- en Energieverkenning 2019*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Schuur, J., W. Blom & G. Uitbeijerse (2018), *Kennisscan luchtvaartnota*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Significance & To70 (2019), *Actualisatie AEOLUS 2018 en geactualiseerde luchtvaartprognoses*. Rapport voor het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Significance (2019), *AEOLUS-berekening t.b.v. KEV2019 en MoBiBe2019 [Klimaat- en energieverkenning 2019 en Mobiliteitsbeeld 2019]*. Rapport voor Planbureau voor de Leefomgeving en Kennisinstituut voor het Mobiliteitsbeleid.
- Uitbeijerse, G.C.M., J. Schuur, H.D. Hilbers & G. Geilenkirchen (2019), *Parijsakkoord en luchtvaart. Mogelijke gevolgen van het Parijse klimaatakkoord voor de omvang van de luchtvaart via Nederland*, Den Haag: PBL.
- Verrips, A. & H. Hilbers (2020), *Kansrijk mobiliteitsbeleid 2020*. Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.

# BIJLAGE A

## TABELLEN SCENARIO'S HOOG EN LAAG

### Verwacht volume luchtvaart

De twee referentiescenario's laten een verschillende ontwikkeling zien in waarheen mensen vliegen of goederen worden vervoerd in 2030 en 2050. Om de volumes met elkaar te kunnen vergelijken, is in onderstaande tabel het vervoerd gewicht in eenheden van 100 kg weergegeven naast het aantal passagiers. De gegevens uit de tabel zijn gebruikt voor figuur 1.

**Tabel A1**

### Verwacht volume passagiers en vracht naar bestemming vanuit Nederland

		Realisatie		Hoog		Laag	
		1997	2017	2030	2050	2030	2050
Vluchten binnen Europa	aantal	400.000	467.000	665.000	767.000	554.000	662.000
Vluchten intercontinentaal	aantal		89.000	132.000	163.000	120.000	163.000
Passagiers binnen Europa	mln	21	56	88	111	72	94
Passagiers intercontinentaal	mln	11	20	32	42	28	40
Vracht binnen Europa	x 100.000 ton	2	3	4	5	4	6
Vracht intercontinentaal	x 100.000 ton	10	15	20	21	22	30
Totaal afgelegde afstand passagiers	Index (o.b.v. passagier-kilometer)	100	208	327	419	279	389
Totaal afgelegde afstand vracht	Index (o.b.v. ton-kilometer)	100	151	197	210	220	295

### Afstandsverdeling van vluchten en energiegebruik

De verdeling van de vluchten over verschillende afstanden en het aandeel daarvan in het energiegebruik is niet gelijk verdeeld. Figuur 2 in hoofdstuk 4 illustreert de verdeling van het energiegebruik. Voor de volledigheid van de vergelijking met het aantal vluchten per afstandscategorie zijn de onderliggende cijfers hierna in de tabel opgenomen.

**Tabel A2****Indicatie afstandsverdeling van vluchten en energiegebruik**

	Jaar	Scen.	Passagiersvluchten (inclusief vracht in ruim)			Vrachtvvluchten		Totaal
			Binnen Europa tot 750 km	Binnen Europa meer dan 750 km	Intercontinentaal	Binnen Europa	Intercontinentaal	
<b>Aantal vluchten</b>	<b>2017</b>		<b>203.935</b>	<b>254.741</b>	<b>78.110</b>	<b>7.985</b>	<b>11.014</b>	<b>555.785</b>
Verdeling aantal vluchten	2017		37%	46%	14%	1%	2%	100%
	2030	Laag	38%	43%	15%	1%	2%	100%
		Hoog	38%	44%	15%	1%	1%	100%
	2050	Laag	38%	41%	17%	1%	3%	100%
		Hoog	40%	42%	17%	1%	1%	100%
<b>Energiegebruik (PJ)</b>	<b>2017</b>		<b>14</b>	<b>34</b>	<b>101</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>169</b>
Verdeling energiegebruik	2017		8%	20%	59%	2%	10%	100%
	2030	Laag	8%	18%	62%	2%	10%	100%
		Hoog	9%	20%	63%	1%	7%	100%
	2050	Laag	8%	17%	66%	1%	8%	100%
		Hoog	9%	20%	68%	1%	3%	100%

Intercontinentale vluchten hebben een afstand van meer dan 4.000 kilometer.

**CO<sub>2</sub>-emissies en aandeel duurzame brandstof**

Wanneer een deel van de benodigde energie wordt geleverd door duurzame luchtvaartbrandstof heeft dat in de keten een lagere broeikasgasemissie tot gevolg. In onderstaande tabellen staan respectievelijk de aannames voor het aandeel bijmenging van duurzame luchtvaartbrandstof in de WLO-scenario's en de CO<sub>2</sub>-emissie in het verleden en naar verwachting volgens de scenario's. Cijfers uit tabel A4 zijn gebruikt voor figuur 3; tabel A5 voor figuur 4.

**Tabel A3****Duurzame brandstoffen in de WLO-scenario's**

	Hoog		Laag	
	2030	2050	2030	2050
Bijmenging duurzame brandstof	10%	20%	10%	10%

**Tabel A4****CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2030 en 2050, inclusief toepassing duurzame brandstof**

		1990	1997	2005	2017	2030	2050
Realisatie CO <sub>2</sub> -uitstoot	megaton	4,6	8,8	10,9	12,0		
CO <sub>2</sub> -uitstoot Hoog	megaton					14,0	12,2
CO <sub>2</sub> -uitstoot Laag	megaton					12,8	15,4



**Tabel A5****Indicatie van de beleidsambities in de Ontwerp-Luchtvaartnota 2020-2050**

		<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2070</b>	<b>Ten opzichte van 1990</b>
<b>Ontwerp-Luchtvaartnota 2020-2050</b>					
2030 gelijk aan 2005	megaton	10,9			+137%
2050 halvering t.o.v. 2005	megaton		5,5		+19%
2070 nul-emissie	megaton			0	-100%
<b>Klimaatopgave op basis van scenario's</b>					
Verschil CO <sub>2</sub> -uitstoot Hoog en ambities (% ten opzichte van scenario)	megaton	3,1 (-22%)	6,7 (-55%)	nb	
Verschil CO <sub>2</sub> -uitstoot Laag en ambities (% ten opzichte van scenario)	megaton	1,9 (-15%)	9,9 (64%)	nb	

## BIJLAGE B

# REKENMODEL AEOLUS

De ramingen van de omvang van de Nederlandse luchtvaart zijn gemaakt met het rekenmodel AEOLUS (Significance & To70 2019). AEOLUS is een globaal (wereldschaal) en strategisch simulatiemodel voor de luchtvaart in Nederland. Het model, eigendom van het ministerie Infrastructuur en Waterstaat (IenW), beschrijft de mogelijke toekomstige ontwikkeling van de luchtvaart en kan per Nederlandse luchthaven gebruikt worden voor het bepalen van de effecten van beleid op aantallen vliegbewegingen, aantallen en soorten passagiers, de hoeveelheid luchtvracht, geluidsoverlast en de uitstoot van CO<sub>2</sub>, stikstof, fijnstof en andere stoffen. Het model wordt gebruikt voor scenariostudies, verkenningen en doorrekeningen van beleidsmaatregelen voor de luchtvaart. Het model neemt de commerciële luchtvaart (het zogenoemde 'handelsverkeer') van en naar de Nederlandse luchthavens van nationale betekenis mee (Amsterdam Airport Schiphol, Rotterdam The Hague Airport, Eindhoven Airport, Groningen Airport Eelde, Maastricht Aachen Airport en Lelystad Airport). Voor een uitgebreide toelichting op de wijze waarop AEOLUS door PBL wordt gebruikt wordt verwezen naar bijlage 3 bij Verrips & Hilbers (2020).

In deze studie is wat betreft de uitwerking van de toekomstige beperkingen op luchthavens uitgegaan van voortzetting van het huidige beleid. Deze en andere aannames over toekomstig beleid zijn in overleg met het ministerie van IenW gebruikt voor de studie naar een nationale vliegbelasting en worden toegelicht in Significance & To70 (2019). De beperkingen zijn bepalend voor de uitkomsten van het model. Bij de berekening van de geactualiseerde luchtvaartprognoses is deze regelgeving onder meer op de volgende manier concreet gemaakt:

- routes en start- en landingsprocedures wijzigen niet;
- vanaf 2030 is er geen vierdebaanregel meer op Schiphol (nog wel 2+1 baangebruik);
- het aantal nachtvluchten Schiphol blijft gelijk tot 2050;
- de 50/50-regel bij Schiphol blijft tot 2050 bestaan, dat betekent dat de helft van de geluidswinst mag worden ingezet voor extra vluchten boven de huidige limiet van 500.000. Er is ingeschat dat dit leidt tot een plafond van 645.000 vluchten in 2030 en 731.000 in 2050 in scenario Hoog;
- uitplaatsing van vluchten naar Lelystad tot maximaal 45.000 vluchten in 2050 in scenario Hoog en 25.000 in Laag;
- op andere regionale luchthavens is er na 2030 geen jaarlimiet meer.

Alternatieve aannames over deze restricties in het luchtvaartbeleid van de komende decennia zullen tot andere modelresultaten leiden. Er zijn op dit moment al signalen dat de capaciteitsrestricties aangescherpt en anders bepaald zullen worden. In basisscenario Hoog is de berekende passagiersvraag hoger dan de capaciteit van de luchthavens. In dat geval past het model op basis van hun keuzegedrag in het verleden de keuzes van passagiers en luchtvaartmaatschappijen zodanig aan dat het aantal vluchten binnen de capaciteitsplafonds past.

De berekeningen voor de WLO-studie (CPB & PBL 2015a,b) hadden als basisjaar 2013. De realisatie in de luchtvaart tussen 2013 en 2017 zijn ook meegenomen in de actualisatie van het rekenmodel AEOLUS in 2018 (Significance & To70 2019). Het model is bij deze actualisatie ook verbeterd, onder meer wat betreft de berekening van de uitstoot van CO<sub>2</sub>. In de uitwerking van de Klimaat- en Energieverkenning 2019 is vervolgens ook een alternatieve berekening van de CO<sub>2</sub>-uitstoot opgenomen, op basis van vluchten, gevlogen afstanden en vliegtuigtypes (Schoots & Hammingh 2019; Grebe 2019).