

Actualisatie AEOLUS 2018 en geactualiseerde luchtvaartprognoses

Rapport voor Ministerie
van Infrastructuur en
Waterstaat

SIGNIFICANCE, TO70

15 februari 2019



Inhoud

Samenvatting	2
HOOFDSTUK 1 Introductie	15
1.1 Het AEOLUS model	15
1.2 Toepasbaarheid van AEOLUS	16
1.3 Overzicht van belangrijke aannames.....	17
1.4 Achtergrond voor deze aanpassing.....	19
1.5 Doelstelling.....	20
HOOFDSTUK 2 Actualisatie geluidsberekeningen naar ECAC Doc 29	21
HOOFDSTUK 3 Actualisatie LTO-tabel	25
HOOFDSTUK 4 Actualisatie van het basisjaar	29
4.1 Basismatrices.....	29
4.2 GTU verdeling.....	31
4.3 Level-of-service hoofdvervoer	33
4.3.1 Luchtzijdige level-of-service.....	33
4.3.2 Landzijdige level-of-service.....	34
4.4 Level-of-service voor- en natransport.....	36
4.4.1 Auto en trein.....	36
4.4.2 Taxi	40
4.4.3 Parkeerkosten op luchthavens.....	42
4.5 Luchthavenheffingen en nationale vliegbelastingen	43
4.5.1 Nationale vliegbelastingen.....	44
HOOFDSTUK 5 Herschating van de keuzemodellen en kalibratie	49
5.1 Het toegangskeuzemodel.....	50
5.2 Routekeuzemodel.....	53
5.3 Gecombineerd model.....	56
5.4 Kalibratie van het basisjaar	58
HOOFDSTUK 6 Verbeterde vrachtmodellering	62
6.1 Literatuurstudie, data analyse en expert interviews.....	62
6.1.1 Literatuurstudie elasticiteiten.....	62

6.1.2	Expertinterviews.....	64
6.1.3	Data analyse.....	65
6.2	Aangepaste vrachtmodellering.....	67
6.2.1	Actuele import- en exportstromen.....	67
6.2.2	Luchthaven Maastricht.....	68
6.2.3	Verdeling van luchtvracht over luchthavens.....	68
6.2.4	Verdeling van luchtvracht over belly's van passagierstoestellen en full freighters.....	69
6.2.5	Grandfathering regel voor vrachtslots.....	70
6.3	Kalibratie van het basisjaar.....	71
HOOFDSTUK 7 CO₂ berekeningen.....		73
HOOFDSTUK 8 Aangepaste aannames voor prognoses tot 2050.....		77
8.1	Aannames capaciteitsbeleid Schiphol.....	77
8.2	Berekening van de jaarlimieten voor Schiphol.....	79
8.3	Aannames capaciteitsbeleid regionale luchthavens.....	81
8.4	Overige aangepaste aannames.....	82
HOOFDSTUK 9 Geactualiseerde luchtvaartprognoses tot 2050.....		83
9.1	Vraag naar luchtvaart in Nederland in 2030 en 2050.....	83
9.1.1	Passagiers.....	83
9.1.2	Vracht.....	84
9.1.3	Vliegtuigbewegingen.....	85
9.2	Ontwikkeling luchtvaart met restricties tot 2030 en 2050 op Schiphol.....	86
9.3	Ontwikkeling luchtvaart met restricties tot 2030 en 2050 op de regionale luchthavens.....	90
9.4	Samenvatting resultaten van de geactualiseerde luchtvaartprognoses.....	94
9.5	Gevoeligheidsanalyses met een jaarlimiet van 500.000 vluchten.....	100

Samenvatting

1. Introductie

Als onderdeel van de studie ‘Nederland in 2030-2050: Twee referentiescenario’s – Toekomstverkenning welvaart en leefomgeving’ (WLO) van het Centraal Planbureau (CPB) en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) zijn in 2015 luchtvaartscenario’s ontwikkeld. Het model dat hiervoor is gebruikt is het strategische lange termijn luchtvaartprognosemodel AEOLUS dat eigendom is van IenW. Tussen oktober 2017 en november 2018 is het AEOLUS model in opdracht van IenW en in overleg met de beide planbureaus aangepast en geactualiseerd. De aanpassingen aan het model komen voort uit nieuwe ontwikkelingen, zoals de aanstaande wijziging van de Wet Luchtvaart in verband met de invoering van het nieuwe normen- en handhavingstelsel voor Schiphol, en nieuwe inzichten, bijvoorbeeld over de dynamiek van luchtvracht, die hebben geleid tot een betere modellering van de factoren die het toekomstige verkeer en vervoer door de lucht bepalen.

AEOLUS wordt gebruikt voor lange termijn verkenningen, scenariostudies (zoals de WLO-prognoses) en onderzoeken waarbij beleidsmaatregelen worden doorgerekend (bijvoorbeeld het effect van een vliegbelasting op het vliegverkeer^{1 2}).

Dit rapport beschrijft de technische wijzigingen van deze nieuwe versie van het model (AEOLUS 2018) en presenteert de resultaten van een nieuwe doorrekening van luchtvaartscenario’s voor 2030 en 2050.

2. Achtergrond

De ontwikkeling van de luchtvaart is onzeker. Daarom worden scenario’s gebruikt om mogelijke toekomst te verkennen. In de WLO toekomstverkenning van het CPB en het PBL uit 2015 zijn twee consistente toekomstscenario’s (Laag en Hoog) gedefinieerd en zijn voor deze mogelijke toekomst van Nederland in de zichtjaren 2030 en 2050 beschreven.

¹ M. Kouwenhoven, S. Grebe, Effecten van een vliegbelasting op het vliegverkeer, Kwantitatieve doorrekening, rapport Significance (2018) Den Haag.

² Economische- en Duurzaamheidseffecten Vliegbelasting, rapport CE Delft (2018) Delft.

Het Cahier Mobiliteit van de WLO³ beschrijft de prognoses die destijds zijn opgesteld voor de ontwikkeling van de luchtvaart in Nederland voor deze scenario's.

De ontwikkelingen in de luchtvaartsector worden in belangrijke mate gedreven door internationale ontwikkelingen en door de grenzen die beleidsmatig worden opgelegd. De geactualiseerde luchtvaartprognoses die in dit rapport worden beschreven zijn in lijn met de twee door CPB en PBL gehanteerde scenario's in de WLO. De scenario's 'Laag' en 'Hoog' sluiten aan op de macro-economische veronderstellingen over de ontwikkeling van de demografie en de economie die in de WLO zijn gehanteerd. In het scenario Hoog groeien de bevolking, het gemiddelde inkomen en de internationale handel sneller dan in het scenario Laag. Bovendien wordt vliegen in het scenario Hoog goedkoper dan in het scenario Laag. Beide effecten leiden tot meer vraag naar luchtvaart in het scenario Hoog dan in het scenario Laag.

De luchtvaartprognoses die met AEOLUS berekend kunnen worden zijn gericht op de lange termijn (2030 en 2050). Resultaten zijn de verwachte aantallen vliegtuigbewegingen, passagiers en tonnen luchtvracht op Schiphol en op de regionale luchthavens in Nederland voor het scenario Hoog (veel economische groei) en het scenario Laag (weinig economische groei). Voor elk scenario kan berekend worden wat de vraag zou zijn als er geen capaciteitsrestricties op Schiphol zouden zijn ('ongerestricteerde prognoses') en daarnaast wat er aan vliegtuigbewegingen, passagiers en vracht verwacht zou kunnen worden als rekening wordt gehouden met capaciteitsrestricties ('gerestricteerde prognoses'). Ook levert het model per scenario op wat die verwachte volumes betekenen voor het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour, de LTO-emissies en de CO₂-uitstoot.

De WLO-luchtvaartprognoses hadden 2013 als basisjaar. Sindsdien heeft de luchtvaart zich heel snel ontwikkeld en heeft Schiphol het huidige capaciteitsplafond van 500.000 vliegtuigbewegingen per jaar bijna bereikt. Dit plafond geldt in ieder geval tot en met het jaar 2020. Op dit moment is het nog niet duidelijk hoe Schiphol zich in de jaren na 2020 gaat ontwikkelen. Het kabinet had hierover advies gevraagd aan de Omgevingsraad Schiphol (ORS), maar zoals bekend is dit gezamenlijke advies over de toekomstige ontwikkeling van Schiphol er niet gekomen en heeft de heer Alders in Januari 2019 de opdracht teruggegeven aan de Minister van IenW. Om luchtvaartprognoses te kunnen berekenen die rekening houden met capaciteitsrestricties op Schiphol en de regionale luchthavens is modelinput nodig over capaciteitsbeleid, over toekomstige capaciteitsruimte en veronderstellingen over de ontwikkeling van vliegtuigtechnologie en vlootontwikkeling. Voor al deze variabelen is de ontwikkeling meer of minder onduidelijk. Dat geldt ook voor het capaciteitsbeleid, waarover tijdens dit project geen besluit beschikbaar was. Voor de doorrekeningen in dit rapport zijn aannames over deze modelinvoer in augustus 2018 bepaald. De prognoseberekeningen zijn in december 2018 afgerond. In de toekomst kan en zal het model met andere aannames over de ontwikkeling van de capaciteit rekenen, afhankelijk van de politieke besluitvorming en de doelen van de onderzoeken waarvoor

³ <https://www.wlo2015.nl/rapporten-wlo/mobiliteit>

AEOLUS mogelijk gebruikt zal worden. Met de capaciteitsaannames die in augustus 2018 zijn gemaakt wordt in dit rapport op geen enkele wijze vooruitgelopen op toekomstige besluiten, noch kan uit deze keuzes enige voorkeur worden afgeleid. Als deze aannames worden aangepast, zullen ook de resultaten per gerestricteerd scenario (Hoog of Laag) wijzigen.

3. Modelactualisatie

AEOLUS 2018 is een doorontwikkeling van de laatste modelversie uit 2016. De belangrijkste aanpassingen van het model zijn:

- Actualisatie van het basisjaar van de berekeningen van 2013 naar 2017. Dat wil zeggen dat alle prognoses worden gemaakt uitgaande van de vervoersstromen en passagiersaantallen in dat jaar.
- Het model rekent nu met het nieuwe normen- en handhavingstelsel voor Schiphol volgens ECAC Doc 29. In de WLO-prognoses van 2015 werd de 50/50-regel⁴ berekend op basis van de Totale Hoeveelheid Geluid (TVG). In de nieuwe versie wordt gerekend met het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour, omdat voorondersteld is dat dit het meest knellende criterium is van het nieuwe normen- en handhavingstelsel. Voor deze aanpassing zijn de invoertabellen gewijzigd om het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour te berekenen. Vóór de aanpassing waren de tabellen gebaseerd op het Nederlandse Rekenmodel (NRM), in de actuele versie zijn de gegevens gebaseerd op ECAC Doc 29. Deze aanpassingen zijn volledig geïmplementeerd en gevalideerd.
- De invoergegevens voor de LTO-emissie-berekeningen zijn geactualiseerd. De oude gegevens uit 2007 zijn vervangen door nieuwe berekeningen gebaseerd op de gerealiseerde vliegbewegingen op Schiphol.
- De modellering van het keuzegedrag van passagiers bij schaarste van luchtvervoer is verbeterd. Door het beschikbaar komen van nieuwe data over de luchthavenkeuze van passagiers⁵ (in combinatie met de data uit de Schiphol-enquête) kan het daadwerkelijke gedrag van passagiers beter beschreven worden, met name de verhouding van het niet meer vliegen (vraaguitval) en het uitwijken naar andere luchthavens bij schaarste ('gerestricteerde prognoses') is nu beter in balans.

⁴ Bij de 50/50-regel mag de helft van een behaalde milieuwinst voor extra vliegtuigbewegingen benut worden en komt de andere helft ten goede aan hinderreductie voor de omwonenden.

⁵ Luchthavenkeuze-enquête van het Kennisinstituut voor Mobiliteit (KiM) 2016.

- De modellering van luchtvracht en vrachtvliegtuigen is op basis van nieuwe inzichten en recente data uit 2017 helemaal opnieuw opgezet. In de nieuwe versie van AEOLUS wordt nu rekening gehouden met de verschillen in de ontwikkeling van de vrachtstromen en hun richtingen naar verschillende werelddelen en de grandfather-regel voor slots. Beiden beïnvloeden de ontwikkeling van de hoeveelheid luchtvracht en het aantal vrachttoestelbewegingen (full-freighters).
- De methode van de CO2 berekening is op advies van het PBL aangepast.

Daarnaast zijn diverse aannames verondersteld of ten opzichte van de WLO van 2015 herzien. De gewijzigde methode in combinatie met de aangepaste aannames hebben invloed op de berekeningen van de aantallen vliegtuigbewegingen die in de zichtjaren per scenario op Schiphol en de regionale luchthavens gerealiseerd zouden kunnen worden. Deze hebben directe invloed op de hoeveelheid luchtvracht en het aantal passagiers (en hun samenstelling) op de Nederlandse luchthavens.

4. Aannames capaciteit

De veronderstellingen over internationale macro-economische ontwikkelingen in AEOLUS 2018 zijn, zoals hierboven al is aangegeven, in lijn met de WLO 2015. Deze zijn vooral van belang voor de berekening van de (ongerestricteerde) vraag naar luchtvaart. Voor de gerestricteerde scenario's zijn vooral de aannames bepalend over de ontwikkeling van de capaciteit van het banenstelsel van Schiphol en de aannames die iets veronderstellen over de wijze waarop de capaciteitsgrenzen beleidsmatig worden opgelegd. Daarnaast zijn voor de ontwikkeling van de capaciteitslimieten ook de veronderstelde aannames over de technologische ontwikkeling van vliegtuigen van belang. Deze zijn overgenomen uit de WLO uit 2015. Verondersteld wordt dat door een snellere technologische ontwikkeling de gemiddelde geluidsemisatie van vliegtuigen in het scenario Hoog sneller daalt dan in het scenario Laag. Hierdoor ontstaan in de aannames verschillen in de jaarlimieten op het aantal vliegtuigbewegingen die gebaseerd zijn op geluidsemisaties.

De belangrijkste aannames zijn:

- Op de regionale luchthavens worden in 2030 jaarlimieten verondersteld. In 2050 wordt voor de regionale luchthavens geen jaarlimiet verondersteld, omdat het onzeker is hoe de luchtvaart zich ontwikkelt.
- Voor Schiphol geldt tot en met 2020 een grens van 500.000 vliegtuigbewegingen per jaar.
- Met de vierde baan regel wordt verwacht dat er bijna geen groei mogelijk is van het aantal vliegtuigbewegingen op Schiphol. Prognoses met de vierde baan regel zouden daarom t/m 2050 in de scenario's Laag en Hoog niet duidelijk boven de grens van 500.000 vluchten uitkomen en heel sterk lijken op de gevoeligheidsruns

met 500.000 vliegtuigbewegingen constant t/m 2050, die ook zijn uitgevoerd in dit onderzoek. Daarom is in de scenario's Laag en Hoog ervoor gekozen de vierde baanregel in de zichtjaren 2030 en 2050 modelmatig uit te schakelen.

- In 2030 wordt de jaarlimiet bepaald op basis van de 50/50-regel op het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour. In het scenario Hoog is de limiet dan 645.000 vliegtuigbewegingen per jaar en in het scenario Laag 630.000.
- In 2050 is de veronderstelde capaciteit van het banenstelsel van 731.000⁶ bewegingen het meeste knellend criterium voor Schiphol in de scenario's Hoog en Laag.
- Verondersteld wordt dat Schiphol in 2030 en 2050 een nachtcapaciteit heeft van maximaal 32.000 vliegtuigbewegingen conform het huidige luchthavenverkeersbesluit Schiphol.

Deze aannames zijn in augustus 2018 bepaald voor de doorrekeningen die in het kader van dit project zijn uitgevoerd (zie de resultaten in de laatste paragraaf in deze samenvatting en in hoofdstuk 9 van dit rapport). Na dit project kan en zal er met AEOLUS ongetwijfeld ook op basis van andere aannames over de ontwikkeling van de capaciteit gerekend worden. Deze aannames zijn gemakkelijk in het model aan te passen (het zijn 'beleidsknoppen' waaraan gedraaid kan worden). Met aangepaste aannames kunnen vervolgens nieuwe prognoses per scenario berekend worden.

Met deze aannames wordt geenszins vooruitgelopen op toekomstige besluiten van het kabinet. Daarbij is gekozen voor robuuste uitgangspunten waarover nog geen beleidsmatige beslissingen zijn genomen en waarvan nog niet duidelijk is of ze daadwerkelijk operationeel uitvoerbaar zijn.

Voor de ontwikkeling van de capaciteit van het banenstelsel zijn globale aannames gemaakt via de ontwikkeling van de piek uurcapaciteit en de maximale opvulfactor. Er zijn geen gedetailleerde analyses uitgevoerd of dit operationeel mogelijk is. Bovendien wordt in het model geen rekening gehouden met de luchtruimcapaciteit en met (mogelijke) capaciteitsrestricties op basis van uitstoot, (externe) veiligheid, terminalcapaciteit etc. Dat betekent dat impliciet wordt aangenomen dat deze zo aangepast gaan worden dat deze niet knellend zullen zijn. De output van AEOLUS kan juist gebruikt worden om deze knelpunten inzichtelijk te maken. Hiervoor zijn aanvullende onderzoeken nodig.

Om een indruk te krijgen van wat er op Schiphol op de lange termijn mogelijk zou kunnen zijn bij een veel stringenter capaciteitsbeleid dan bij bovengenoemde aannames verondersteld is, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij het huidige capaciteitsplafond van 500.000 vliegtuigbewegingen in beide scenario's (Hoog en Laag) over de hele periode t/m 2050 constant blijft. De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse zijn opgenomen in de laatste paragraaf van deze samenvatting en in hoofdstuk 9.

⁶ De maximale baancapaciteit in 2050 wordt berekend uit de aannames (zie 8.1) over de piek uurcapaciteit (126 vluchten per uur), de maximale opvulfactor (95%) en de maximale nachtcapaciteit (32.000 vluchten). Hieruit wordt de baancapaciteit berekend als volgt: $126 \text{ vluchten/uur} * 0,95 * 16 \text{ uur} + 32.000 \text{ vluchten} = 731.000 \text{ vluchten}$.

5. Toepasbaarheid van AEOLUS

Met AEOLUS kunnen luchtvaartprognoses opgesteld worden en kunnen de effecten van specifieke beleidsmaatregelen op de luchtvaart in Nederland berekend worden. AEOLUS is een globaal (wereldschaal) en strategisch simulatiemodel, waarmee voor bepaalde toekomstsscenario's (tot 2050) onder meer het aantal luchtreizigers, de hoeveelheid luchtvracht en vliegtuigbewegingen voor Nederlandse luchthavens kan worden berekend. Het is een instrument om de effecten van beleidsaannames en toekomstige besluiten in kaart te brengen. Hiervoor kunnen de uitkomsten van verschillende aannames vergeleken en geëvalueerd worden.

Daarmee heeft het model een ander doel, functie en karakter dan de rekenmodellen die worden gebruikt in bijvoorbeeld een milieueffectrapport (MER) voor een specifieke luchthaven of de jaarlijkse Gebruiksprognose (GP) voor Schiphol. De rekenmodellen die voor een MER en een GP worden gebruikt, hebben over het algemeen een minder verre tijdshorizon en een kleiner bereik (enkele tientallen kilometers vanaf een luchthaven) en zijn met name bedoeld om de milieueffecten van het vliegverkeer op een specifieke luchthaven gedetailleerd inzichtelijk te maken door middel van berekeningen. Dat betekent dat deze modellen een ander type informatie gebruiken en kunnen verwerken, met een grotere mate van detail, dan AEOLUS. Hierdoor kunnen de uitkomsten van de verschillende rekenmodellen van elkaar verschillen. Voor het precieze berekenen van geluidseffecten rond luchthavens zijn gedetailleerdere geluidsberekeningen nodig dan met AEOLUS mogelijk is.

6. Resultaten van de modelberekeningen voor Schiphol

In 2017 maakten meer dan 68 miljoen passagiers gebruik van Schiphol en werd via de luchthaven ongeveer 1,75 miljoen ton luchtvracht vervoerd. Het vervoer werd gerealiseerd middels 497.000 vliegtuigbewegingen⁷. Dit is net onder de grens van 500.000 vliegtuigbewegingen die zijn toegestaan t/m 2020. Omdat ervan uitgegaan mag worden dat de vraag naar luchtvaart in de komende jaren verder gaat groeien, kan Schiphol in de toekomst waarschijnlijk niet meer alle vraag accommoderen. Daarom wordt in de met AEOLUS berekende luchtvaartprognoses onderscheid gemaakt tussen:

- de vraag naar luchtvervoer in Nederland die in een situatie zonder capaciteitslimieten gerealiseerd zou kunnen worden (ongerestricteerde situatie), en
- het te verwachten luchtvaartverkeer en -vervoer op de Nederlandse luchthavens in een situatie met capaciteitsrestricties⁸ (gerestricteerde situatie).

⁷ <https://www.schiphol.nl/nl/schiphol-group/pagina/verkeer-en-vervoer-cijfers/>

⁸ De berekening van de vervoersvraag wordt uitgevoerd in aparte doorrekeningen voor die luchthavens, die momenteel worden gebruikt voor commerciële luchtvaart. Dat betekent dat in de ongerestricteerde situatie is aangenomen dat er voor Lelystad geen vervoersvraag ontstaat. Voor de toekomstjaren zijn in deze doorrekeningen voor Schiphol en de regionale luchthavens alle capaciteitsrestricties modelmatig uitgeschakeld.

In de volgende beschrijving wordt eerst ingegaan op de vervoersvraag en daarna op de prognoses met capaciteitsrestricties. Dit wordt gedaan voor drie mogelijke toekomstbeelden:

1. Een scenario met hoge economische groei (Hoog). De capaciteit op Schiphol wordt in 2030 gelimiteerd door de veronderstelde capaciteitslimiet op basis van een 50/50-regel voor de geluidsnorm en in 2050 door de vooronderstelde baancapaciteit (zie 8.2) op Schiphol;
2. Een scenario met lage economische groei (Laag). De capaciteitslimieten op Schiphol worden op dezelfde manier berekend als in het scenario Hoog;
3. Een scenario met lage economische groei en een verondersteld plafond van 500 duizend vliegtuigbewegingen als capaciteitslimiet op Schiphol (500K)⁹.

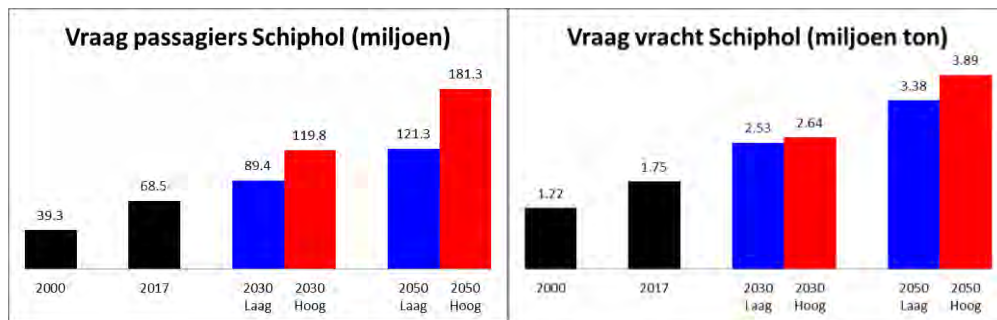
Bij de eerste twee scenario's (Hoog en Laag) is gerekend met de aannames die in Paragraaf 4 hierboven zijn genoemd. Het derde scenario (500K) betreft de gevoeligheidsanalyse waarbij verondersteld wordt dat het huidige capaciteitsplafond van 500 duizend vliegtuigbewegingen tot 2050 doorgetrokken gaat worden.

Geactualiseerde luchtvaartprognose – vraag naar personenvervoer en vrachtvervoer Schiphol

In deze paragraaf worden de uitkomsten van AEOLUS doorrekeningen beschreven die zijn gebaseerd op de aannames die hierboven zijn beschreven. De vraag naar personenvervoer stijgt van 68,5 miljoen passagiers in 2017 tot 121,3 miljoen in 2050 in het scenario Laag en tot 181,3 miljoen passagiers in het scenario Hoog (zie Figuur 1). De vraag in het 500k scenario is gelijk aan de vraag in het scenario Laag. Dat is in lijn met de WLO prognoses uit 2015, die uitging van 110,5 miljoen passagiers in het scenario Laag en 166,8 miljoen passagiers in het scenario Hoog in 2050. De vraag naar luchtvracht stijgt van 1,75 miljoen ton in 2017 tot 3,4 miljoen ton in 2050 in het scenario Laag en tot 3,9 miljoen ton in het scenario Hoog (zie Figuur 1). Dit is veel lager dan de WLO-prognoses uit 2015 die uitging van 5,5 miljoen ton en 10,2 miljoen ton voor respectievelijk het scenario Laag en Hoog.

⁹ De 500K gevoeligheidsanalyse is ook voor een scenario met hoge economische groei doorgekend. De resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 9. Deze resultaten lijken sterk op de doorrekening voor het scenario met lage economische groei.

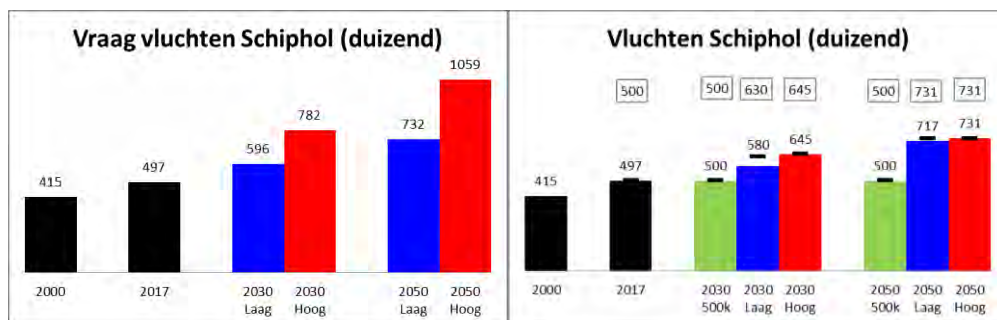
Figuur 1: Vraag passagiers (links) en luchtvracht (rechts) voor Schiphol en in een situatie zonder capaciteitsrestricties.



Geactualiseerde luchtvaartprognose – aantal vliegtuigbewegingen Schiphol

In 2017 vonden ongeveer 500.000 vliegtuigbewegingen plaats op Schiphol. De vraag naar passagiersvervoer en luchtvracht bepaalt de vraag naar vliegtuigbewegingen voor de toekomstjaren. De ontwikkeling gaat iets langzamer omdat vliegtuigen gemiddeld groter worden en meer passagiers en vracht per vliegbeweging vervoeren. In 2050 groeit de vraag in het scenario Laag tot 732 duizend bewegingen en in het scenario Hoog tot 1,06 miljoen.

Figuur 2: Vraag vliegtuigbewegingen op Schiphol in een situatie zonder capaciteitslimieten (links) en aantal vliegtuigbewegingen met capaciteitsrestricties (rechts). Die limieten van de restricties zijn door de zwarte lijnen en de getallen in de boxen aangegeven.



In 2030 wordt de capaciteit in het scenario Hoog beperkt door de veronderstelde 50/50-regel¹⁰. In 2050 wordt de capaciteit begrensd door de veronderstelde capaciteit van het banenstelsel van Schiphol die dan knellender is dan de veronderstelde 50/50-regel. Door de restricties kunnen in 2050 731.000 vliegtuigbewegingen¹¹ gerealiseerd worden. Dit

¹⁰ In beide scenario's (Hoog en Laag) worden dezelfde aannames gemaakt voor de ontwikkeling van de baan capaciteit van Schiphol. Hierdoor is de limiet in 2050 identiek voor het scenario Laag en Hoog. De verschillen in de hoogte van de limieten in 2030 (zie Figuur 2) worden veroorzaakt door de veronderstelling van snellere technologische ontwikkeling in het scenario Hoog (bron: WLO 2015). Hierdoor worden vliegtuigen in het scenario Hoog sneller stiller dan in het scenario Laag en passen er meer vliegtuigbewegingen binnen de 50/50-regel.

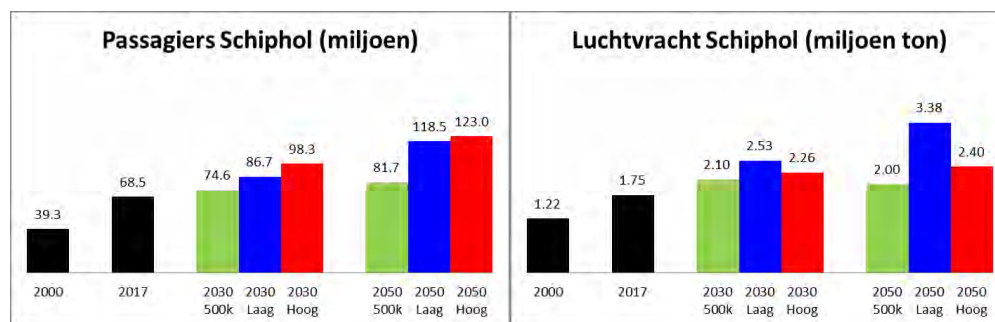
¹¹ Waarvan maximaal 32.000 nachtvliegtuigbewegingen.

aantal wordt in het scenario Hoog bereikt, het scenario Laag blijft er met 717 duizend bewegingen iets onder¹². Zoals eerder genoemd kan volgens deze berekeningen in het scenario Laag zowel in 2030 als in 2050 de volledige vraag worden geacommodeerd. In het 500k scenario (vervoersvraag identiek aan het scenario Laag) wordt de limiet van 500.000 vliegtuigbewegingen zowel in 2030 als in 2050 bereikt.

Geactualiseerde luchtvaartprognose – aantal passagiers en hoeveelheid vracht op Schiphol

In het scenario Laag kan de vraag in 2030 en 2050 volledig geacommodeerd worden en is het gerealiseerde aantal passagiers (zie Figuur 3) 86,7 miljoen in 2030 en 118,5 miljoen in 2050¹³. In het scenario Hoog is de vraag in 2050 (181,3 miljoen) duidelijk groter dan de beschikbare ruimte. In 2050 kan 32% van de vraag niet meer geacommodeerd worden. In 2030 gaat het om 18%. Binnen de berekende capaciteitslimieten kunnen in het scenario Hoog in 2030 98,3 miljoen passagiers en in 2050 123,0 miljoen passagiers worden geacommodeerd. Doordat in het scenario Hoog de berekende capaciteitslimiet gehaald wordt en in het scenario Laag net niet, zijn de verschillen in aantallen passagiers tussen Hoog en Laag in beide zichtjaren beperkt. Ter vergelijking: de WLO prognoses uit 2015 kwamen uit op 128,3 miljoen (hoog) en 110,5 miljoen passagiers (laag). In het toegevoegde 500k-scenario wordt de groei van het aantal passagiers sterk beperkt tot 74,6 miljoen passagiers in 2030 en 81,7 miljoen in 2050.

Figuur 3: Aantal passagiers (links) en hoeveelheid luchtvracht (rechts) op Schiphol met capaciteitsrestricties.



Bij de luchtvracht kan in het scenario Laag net als bij de passagiers de volledige vraag (zie Figuur 1) geacommodeerd worden. In het scenario Hoog is dat niet het geval en wordt voor 2050 slechts 2,4 miljoen ton luchtvracht berekend. Dat is lager dan in het scenario

¹² In de linker grafiek van Figuur 2 wordt de vervoersvraag voor Schiphol berekend zonder de luchthaven Lelystad. In de rechter grafiek (met restricties) wordt gerekend met de luchthaven Lelystad. Hierdoor is het verwachte aantal vliegtuigbewegingen met restricties in het scenario Laag lager dan de vervoersvraag. Een deel van de vliegtuigbewegingen wordt in deze situatie via Lelystad gerealiseerd.

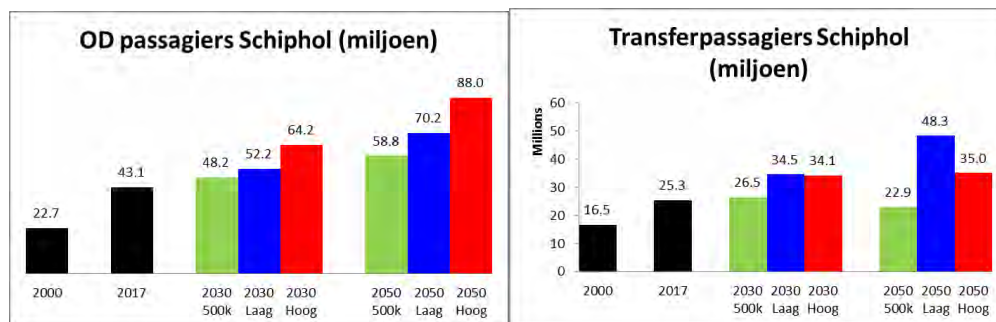
¹³ Het aantal passagiers voor Schiphol is lager dan in het ongerestricteerde scenario (zie Figuur 1) omdat met Lelystad een additionele luchthaven als keuze voor de reizigers ter beschikking is.

Laag. De luchtvracht in full-freighters concurreert met de passagiersvliegtuigen om de beschikbare capaciteit op Schiphol. Omdat in het scenario Hoog de berekende capaciteitslimiet van Schiphol bereikt is, gaat (in het model) een deel van de full-freighters uitwijken naar andere luchthavens. Hierdoor wordt de groei van luchtvracht op Schiphol in het scenario Hoog geremd. In het 500k scenario spelen dezelfde soort effecten alleen nog sterker. Hierdoor is de groei beperkt tot 2,1 miljoen ton in 2030 en daalt het volume zelfs tot 2,0 miljoen ton in 2050.

Origin-Destination-passagiers en transferpassagiers op Schiphol

Bij de passagiers op Schiphol kan onderscheid gemaakt worden tussen Origin-Destination-passagiers (OD) die hun reis beginnen of eindigen op Schiphol en transferpassagiers die een overstap maken op Schiphol. Beide groepen passagiers hebben hun eigen groeikenmerken en uitwijkgedrag in geval dat een luchthaven zijn capaciteitslimiet heeft bereikt. OD-reizigers kunnen kiezen om niet meer te reizen, gebruik te maken van een ander vervoersmiddel (auto of trein) of hun reis te beginnen of eindigen op een andere luchthaven in Nederland of in één van de buurlanden. Bij transferpassagiers is het bij het bereiken van de berekende capaciteitslimiet het meest waarschijnlijk dat ze gaan uitwijken naar een andere transferluchthaven voor hun overstap.

Figuur 4: Aantal Origin-Destination passagiers (links) en transferpassagiers (rechts) voor Schiphol met capaciteitsrestricties.



Figuur 4 toont de prognoses voor OD- en transferpassagiers in de situatie met capaciteitsrestricties. Zowel in het scenario Laag als in het scenario Hoog gaat het aantal OD-passagiers stijgen, van 43,1 miljoen in 2017 naar 70,2 miljoen (Laag) en 88,0 miljoen (Hoog) in 2050. Zelfs bij een limiet van 500.000 vliegtuigbewegingen is een beperkte groei mogelijk tot 58,8 miljoen passagiers. In 2017 vinden 25,3 miljoen transferpassagierbewegingen plaats op Schiphol¹⁴. Tot 2030 stijgt dit aantal in beide scenario's tot ongeveer 34 miljoen. In 2050 is het aantal transferpassagiers in het scenario Laag met 48,3 miljoen transferpassagiers duidelijk hoger dan in het scenario Hoog met

¹⁴ Deze worden gemaakt door 12,7 miljoen passagiers, die per overstap twee keer worden geteld (aankomst en vertrek).

35,0 miljoen transferpassagiers. Dat is op het eerste gezicht vreemd. Echter, door de berekende capaciteitsrestricties op Schiphol gaan de transferpassagiers in het scenario Hoog uitwijken naar andere transferluchthavens voor hun overstap. In het 500k scenario blijft het aantal transferpassagiers tot 2030 ongeveer op het niveau van nu en daalt daarna tot 2050 naar 22,9 miljoen passagiers.

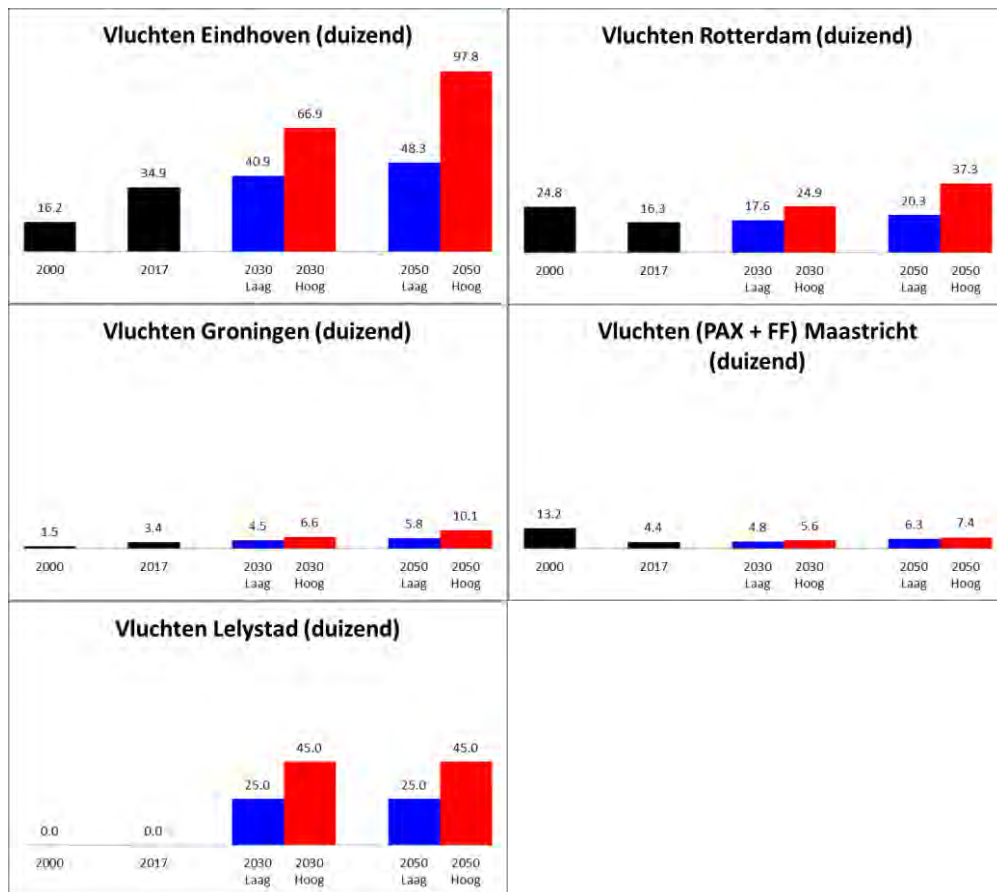
Resultaten voor regionale luchthavens

In 2017 werden naast de bijna 500.000 vliegtuigbewegingen op Schiphol ongeveer 60.000 vliegtuigbewegingen gerealiseerd op de regionale luchthavens van Eindhoven, Rotterdam, Groningen en Maastricht. Van deze luchthavens is Eindhoven met bijna 35 duizend bewegingen de grootste regionale luchthaven. In de nieuwe prognoses wordt aangenomen dat in 2020 de luchthaven Lelystad geopend wordt.

Ook voor de regionale luchthavens is het onzeker hoe de luchtvaart zich ontwikkelt. Daarom is ervan uitgegaan dat er in 2050 geen capaciteitsrestricties zijn voor de luchthavens Eindhoven, Rotterdam, Maastricht en Groningen. Daarmee wordt geenszins vooruit gelopen op toekomstige besluiten. Voor Lelystad wordt het afgesproken plafond van 45.000 vliegtuigbewegingen gehanteerd.

Op de regionale luchthavens groeit de vraag naar luchtvaart en groeit het aantal vliegtuigbewegingen tot ongeveer 100.000 bewegingen in het scenario Laag en tot 200.000 bewegingen in het scenario Hoog in 2050. Figuur 5 laat de ontwikkeling zien voor de individuele luchthavens. Volgens de geactualiseerde luchtvaartprognoses is de luchthaven van Eindhoven in 2050 nog steeds de grootste regionale luchthaven, gevolgd door Lelystad en Rotterdam. Groningen en Maastricht blijven ook in 2050 vooral van regionaal belang.

Figuur 5: Aantal vliegtuigbewegingen voor de regionale luchthavens.



1.1 **Het AEOLUS model**

AEOLUS is een prognose- en simulatiemodel dat voor een bepaald toekomstscenario het aantal luchtreizigers, de hoeveelheid luchtvracht en het aantal vliegtuigbewegingen voor Nederlandse luchthavens voor de zichtjaren 2030 en 2050 berekent. Passagiers kunnen worden uitgesplitst naar reismotief, herkomst, bestemming en vliegroute. Het model berekent ernaast ook de CO₂-uitstoot (vliegen plus voor- en natransport naar de luchthavens) en de LTO-emissies. Voor Schiphol wordt bovendien de verdeling van het aantal vluchten per jaar over de primaire en secundaire banen, de geluidsemissie en het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den}-contour berekend. Het model kan rekening houden met capaciteitslimieten van luchthavens (jaarcapaciteit, baancapaciteit, aantal bewegingen op de vierde baan en met de limiet voor het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den}-contour). Daarnaast kan het de effecten van een serie beleidsmaatregelen simuleren.

Het basisjaar van het model is sinds deze actualisatie het jaar 2017. Voor dit jaar is ervoor gezorgd dat op alle Nederlandse luchthavens de berekende passagiersaantallen, de vrachtvolumes en de vliegbewegingen overeenstemmen met de waargenomen aantallen¹⁵. Ook zijn de LTO-emissies en de Maximale Hoeveelheid Geluid (MHG) van de berekeningen gelijk aan de gerealiseerde emissies volgens de handhavingsrapportage Schiphol. Voor Schiphol worden bovendien het gebruik van de primaire en secundaire banen en het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den}-contour uit de gelijkwaardigheidsnormen berekend. Voor de toekomstscenario's worden al deze variabelen berekend per luchthaven. Het model zoekt hiervoor op jaarbasis naar het evenwicht tussen vraag en aanbod, rekening houdend met de ingestelde capaciteitslimieten.

De vraagkant wordt gedreven door de macro-economische ontwikkeling van de bevolking, het inkomen en de (wereld)handel. Met behulp van diverse elasticiteiten, de ontwikkeling van de reistijdwaardering, van de landzijdige bereikbaarheid, van de vluchttijden,

¹⁵ Dit gebeurt door een kalibratie van de alternatieve specifieke constanten in de discrete keuzemodellen, die het gedrag van passagiers en vrachtvervoerders beschrijven. Na deze kalibratie voorspelt AEOLUS voor het basisjaar "ongeveer" de in werkelijkheid gerealiseerde cijfers. Een perfecte kalibratie van het basisjaar is niet noodzakelijk. Het doel van AEOLUS is nauwkeurige prognoses voor de toekomstjaren te berekenen. Als de onnauwkeurigheden van de kalibratie in het basisjaar duidelijk kleiner zijn dan andere onzekerheden, die de prognose bepalen is dat voor de toekomstprognoses voldoende. Aan deze eis voldoet de kalibratie van AEOLUS.

frequenties en de ticketprijzen wordt de vraag naar luchtvaart berekend. De genoemde gegevens zijn invoer van het model. De gebruiker kan hun ontwikkeling voor de hele prognoseperiode instellen.

In wisselwerking met de vraagontwikkeling en de capaciteitsrestricties ontwikkelt ook het aantal vliegtuigen (aanbod). Hiervoor moet de gebruiker aannames maken over de jaarcapaciteiten en baancapaciteiten per luchthaven per jaar, als mede over de (technologische) ontwikkeling van vliegtuigen. AEOLUS modelleert dan de keuzes van de luchtvaartmaatschappijen over de inzet van vliegtuigtypes (grootte en technologieklasse), gegeven hun huidige vloot en de vlootvervanging en –uitbreiding. Deze keuzes en het aantal vliegbewegingen bepalen de geluidsemissies op de luchthavens. Worden de capaciteiten (geluid en/of aantal bewegingen) bereikt, dan ontstaan (schaarste) kosten, die zowel de keuzes van de luchtvaartmaatschappijen als die van de reizigers weer beïnvloeden.

Het model kijkt vanuit de reiziger en modelleert het hoofdtransport (auto, trein, HSL of vliegtuig), de routekeuze (vertrekluchthaven, directe of indirecte vlucht, alliantie) en het vortransport naar de luchthaven (park & fly, kiss & fly, openbaar vervoer of taxi). Het model houdt hierbij rekening met het verschillende keuzegedrag van zakelijke/niet-zakelijke passagieren en of Nederland en omgeving de herkomst of bestemming van de vliegreis is.

Het AEOLUS model wordt continue verder ontwikkeld om de invoerdata actueel te houden, de modellering te verbeteren en nieuwe inzichten op te nemen. Net als bij andere verkeers- en vervoersmodellen wordt voortdurend gekeken naar verbetering van het model. Daarnaast is het bij de gerespecteerde scenario's van belang om te benadrukken dat het model als tool kan fungeren om de effecten van beleidsvarianten o.g.v. capaciteit te berekenen. Om geactualiseerde luchtvaartprognoses te kunnen berekenen zijn aannames over het capaciteitsbeleid noodzakelijk. Voor de doorrekeningen die gepresenteerd worden in dit rapport zijn deze vastgesteld in augustus 2018 (zie HOOFDSTUK 8). Op dit moment is er nog geen besluit genomen over de toekomstige ontwikkeling van Schiphol en is daarom ook niet bekend welke (nieuwe) aannames daarbij zouden passen. Met de aannames die in augustus 2018 zijn gemaakt wordt op geen enkele wijze vooruitgelopen op toekomstige besluiten. Als deze aannames worden aangepast, zullen ook de resultaten wijzigen.

1.2 Toepasbaarheid van AEOLUS

AEOLUS is een globaal model (zonegrootte Nederland = COROP/provincie; Europa = land; Wereld = continent). AEOLUS bekijkt bijvoorbeeld de passagiersstromen naar Spanje, maar het maakt niet uit of ze naar Madrid of Barcelona gaan. Het is een strategisch model: luchthavens en luchtvaartmaatschappijen werken in uiterst competitieve omgevingen. AEOLUS modelleert hun beslissingen alleen op strategisch (middel)lange termijnniveau. Het model geeft prognoses voor het aantal passagiers, de hoeveelheid luchtvracht en het aantal starts/landingen, die (indien gewenst) uitgesplitst kunnen worden naar verschillende bestemmingsgroepen, naar type vliegtuig en/of naar periode van de dag. Het model levert geen gedetailleerde dienstregeling met per vlucht gegevens over vliegtuigtype, tijdstip, O/D, etc. AEOLUS kent geen piek en dal patroon van vluchten en rekent met gemiddelde uurcapaciteiten voor de verschillende dagdelen. Beslissingen van

luchtvaartmaatschappijen en luchthavens worden genomen in een uiterst competitieve omgeving en deze worden niet met dit model gemodelleerd. Het model is daarom vooral geschikt voor middel- en lange termijn analyses (zichtjaren zijn 2030 en 2050), scenario-studies, het doorrekenen van beleidseffecten en veranderingen in de landzijdige bereikbaarheid.

AEOLUS is geen geluidsmodel. Het model maakt geen gedetailleerde geluidsberekeningen zoals in de Milieueffectrapportage (MER), maar gebruikt wiskundige functies die zijn afgeleid uit de berekeningen voor de Concept-MER. Door deze aanpak geeft AEOLUS globaal inzicht en kan een inschatting geven van capaciteiten op luchthavens, die afhangen van geluidsemisatie van vliegtuigen. Bij de restricties op basis van geluidsuitstoot wordt aangenomen dat het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour het meest knellende criterium zal zijn. Daarom wordt alleen rekening gehouden met dit criterium, terwijl er 4 criteria voor gelijkwaardigheid bestaan.

Door de actualisatie van dit model, dat in dit rapport beschreven staat, moet hier aan worden toegevoegd dat het model ook niet de korte-termijn operationele beslissingen van de luchtverkeersleiding kan modelleren. Door de limieten voor het gebruik van de vierde baan en voor het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour kan operationeel besloten worden dat vluchten anders over de dagdelen verspreid moeten worden dan aangenomen wordt in het model (hetgeen gebaseerd is op de huidige verdelingen). Dit is niet in het model meegenomen omdat het model een (middel) lange-termijn model is en niet op dit detailniveau werkt.

Voor de ontwikkeling van de capaciteit van het banenstelsel zijn globale aannames gemaakt via de ontwikkeling van de piekruimtecapaciteit en de maximale opvulfactor. Er zijn geen gedetailleerde analyses uitgevoerd of dit operationeel mogelijk is. Bovendien wordt in het model geen rekening gehouden met de luchtruimcapaciteit en met (mogelijke) capaciteitsrestricties op basis van uitstoot, (externe) veiligheid, terminalcapaciteit etc. Dat betekent dat impliciet wordt aangenomen dat deze zo aangepast gaan worden dat deze niet knellend zullen zijn. De output van AEOLUS kan juist gebruikt worden om deze knelpunten inzichtelijk te maken. Hiervoor zijn aanvullende onderzoeken nodig.

1.3 Overzicht van belangrijke aannames

Om luchtvaartprognoses tot 2050 op te kunnen stellen is het nodig om aannames te formuleren. Dat betreft zowel de ontwikkeling van de vraag als de ontwikkeling van de restricties die het aanbod kunnen beperken. De aannames voor AEOLUS en de prognoses zijn vastgelegd door het Centraal Planbureau (CPB) en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) tijdens de WLO 2015. Een volledige beschrijving van alle aannames is te vinden in het achtergronddocument mobiliteit luchtvaart van de WLO¹⁶. Tijdens dit project is een aantal aannames herzien. Deze zijn beschreven in HOOFDSTUK 8.

¹⁶<https://www.wlo2015.nl/wp-content/uploads/pbl-2016-wlo-achtergronddocument-mobiliteit-luchtvaart-2373.pdf>

De aannames over de restricties zijn gemaakt in augustus 2018 (zie ook paragraaf 1.1). Bij sommige aannames is voor een bepaalde interpretatie gekozen waarover momenteel nog geen overeenstemming bereikt is of waarvan niet bekend is of deze überhaupt van toepassing zullen zijn (bijvoorbeeld de 50/50-regel voor Schiphol en de eventuele invulling daarvan, zie 8.2). Aannames zijn noodzakelijk om geactualiseerde luchtvaartprognoses te kunnen berekenen. Bij de berekeningen daarvan die zijn gepresenteerd in dit rapport wordt op geen enkele wijze vooruitgelopen op toekomstige besluiten. Als deze aannames worden aangepast, zullen ook de resultaten wijzigen. Het doorrekenen van verschillende beleidsvarianten is juist een van de doelen waarvoor het AEOLUS model is ontwikkeld.

Het volgende overzicht geeft een overzicht over de belangrijkste aannames voor AEOLUS en de geactualiseerde luchtvaartprognoses:

Aannames over restricties:

- Op de regionale luchthavens worden in 2030 jaarlimieten verondersteld. In 2050 wordt voor de regionale luchthavens geen jaarlimiet verondersteld, omdat het onzeker is hoe de luchtvaart zich ontwikkelt.
- Voor Schiphol geldt tot en met 2020 een grens van 500.000 vliegtuigbewegingen per jaar.
- Met de vierde baan regel wordt verwacht dat er bijna geen groei mogelijk is van het aantal vliegtuigbewegingen op Schiphol. Prognoses met de vierde baan regel zouden daarom t/m 2050 in de scenario's Laag en Hoog niet duidelijk boven de grens van 500.000 vluchten uitkomen en heel sterk lijken op de gevoeligheidsruns met 500.000 vliegtuigbewegingen constant t/m 2050, die ook zijn uitgevoerd in dit onderzoek. Daarom is in de scenario's Laag en Hoog ervoor gekozen de vierde baanregel in de zichtjaren 2030 en 2050 modelmatig uit te schakelen.
- In 2030 wordt de jaarlimiet bepaald op basis van de 50/50-regel op het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour. In het scenario Hoog is de limiet dan 645.000 vliegtuigbewegingen per jaar en in het scenario Laag 630.000.
- In 2050 is de veronderstelde capaciteit van het banenstelsel van 731.000¹⁷ bewegingen het meeste knellend criterium voor Schiphol in de scenario's Hoog en Laag.
- Verondersteld wordt dat Schiphol in 2030 en 2050 een nachtcapaciteit heeft van maximaal 32.000 vliegtuigbewegingen conform het huidige luchthavenverkeersbesluit Schiphol.

¹⁷ De maximale baancapaciteit in 2050 wordt berekend uit de aannames (zie 8.1) over de piekuurcapaciteit (126 vluchten per uur), de maximale opvulfactor (95%) en de maximale nachtcapaciteit (32.000 vluchten). Hieruit wordt de baancapaciteit berekend als volgt: $126 \text{ vluchten/uur} * 0,95 * 16 \text{ uur} + 32.000 \text{ vluchten} = 731.000 \text{ vluchten}$.

Overige aannames:

- De vraag naar wereldwijd passagier- en vrachtvervoer groeit op basis van de veronderstelde macro-economische ontwikkeling (bevolking, inkomen en handel), de bijhorende elasticiteiten en de ontwikkelingen van vliegtijden, vlieggkosten en vliegfrequenties.
- Zones die in het basisjaar van een bepaalde luchthaven niet aangevlogen worden, zijn ook in de toekomst vanaf deze luchthaven niet bereikbaar.
- Tot 2050 komen nieuwe technologieklassen van vliegtuigen beschikbaar (zie achtergronddocument WLO luchtvaart¹⁶). Door vlootvervangings en vlootuitbreiding groeien deze in de vloot met het gevolg dat de emissies van geluid en schadelijke stoffen per toestel dalen.
- General Aviation is geen onderdeel van AEOLUS.

1.4 Achtergrond voor deze aanpassing

Begin 2017 is Fase 1 van het project “Aanpassing AEOLUS i.v.m. nieuwe normen en regels¹⁸” afgerond. In dit project was een tweede fase gepland waarin nieuwe luchtvaartprognoses berekend moesten worden. Destijds is deze fase uitgesteld, omdat tegelijkertijd een traject werd uitgevoerd om de geluidsberekeningen rond Schiphol van het Nederlandse Rekenmodel (NRM) naar de ECAC Doc 29¹⁹ rekenmethode te wijzigen (hierna te noemen Doc 29). Een belangrijke verbetering van de nieuwe methodiek die impact heeft op de prognoses van AELUS is dat in de berekening ook onderscheid wordt gemaakt naar verschillende vliegtuigmotoren en niet alleen naar verschillende vliegtuigtypes. De prognoses van Fase 2 zouden na deze aanpassing al weer verouderd zijn. In de loop van 2018 was het Doc 29-traject zo ver gevorderd dat de geactualiseerde geluidsberekeningen in AEOLUS geïmplementeerd konden worden. Deze werkzaamheden zijn uitgevoerd en worden in dit rapport beschreven. Dat betekent dat AEOLUS nu geactualiseerd is.

In het afgelopen jaar zijn tijdens een parallel lopend traject voor IenW nieuwe inzichten ontstaan over de gevoeligheden in AEOLUS. Het bleek dat onder anderen bij schaarste de verhouding van passagiers die uitwijken naar andere luchthavens en passagiers die een ander vervoermiddel gebruiken (auto, trein) of zelfs helemaal niet meer reizen, niet heel nauwkeurig werd gemodelleerd. Naar aanleiding hiervan zijn de keuzemodellen van AEOLUS herschat.

Vóór deze actualisatie was de vrachtmodule van AEOLUS meer dan 10 jaar niet meer geactualiseerd (behalve enkele kalibraties bij basisjaaractualisaties van het model). In deze versie is de aanpak van de vrachtmodellering volledig herzien. Bovendien is de methode van de berekening van de CO₂ emissies gewijzigd. Alle modelverbeteringen en het opstellen van de nieuwe luchtvaartprognoses zijn in Fase 2 van het project gerealiseerd.

¹⁸ Significance, To70, Aanpassing AEOLUS i.v.m. nieuwe normen en regels, Significance rapport (2017), Den Haag.

¹⁹ European Civil Aviation Conference, Document 29, <https://www.ecac-ceac.org/ecac-docs>

1.5 Doelstelling

Het hoofddoel van Fase 1 van dit project is de aanpassing van AEOLUS zodat men met de meest actuele rekenmethode wat betreft geluidsmodellering en data kan rekenen. Hiervoor zijn in deze fase de nodige stappen gezet om de methodiek in AEOLUS van NRM naar Doc 29 te wijzigen. Tegelijkertijd is het emissiemodel in AEOLUS geactualiseerd. Fase 1 wordt in HOOFDSTUK 2 en HOOFDSTUK 3 beschreven.

In Fase 2 van dit project zijn verdere verbeteringen van de rekenmethodes van AEOLUS uitgevoerd en zijn met het geactualiseerde model luchtvaartprognoses tot 2050 berekend. In deze fase is het basisjaar van het model geactualiseerd van 2013 naar 2017 (HOOFDSTUK 4) en is de modellering van passagiers aangepast (HOOFDSTUK 5). Bovendien is de vrachtmodellering (HOOFDSTUK 6) volledig nieuw ontwikkeld en is de methode van CO₂-berekening gewijzigd (HOOFDSTUK 7). Voor enkele variabelen zijn andere aannames gedefinieerd dan bij de WLO van 2015 (HOOFDSTUK 8). Voor de berekening van de prognoses (HOOFDSTUK 9) zijn het geactualiseerde model en de in augustus 2018 gemaakte aannames gebruikt. In dit rapport worden beide fases van het project beschreven.

HOOFDSTUK 2 **Actualisatie geluidsberekeningen naar ECAC Doc 29**

Voor de luchthaven Schiphol hangt de limiet op het aantal vliegbewegingen af van de geluidsemisatie van de startende en landende vliegtuigen. Deze moeten binnen bepaalde grenswaardes blijven. Binnen AEOLUS worden geluidsberekeningen gedaan om het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour te bepalen (zie 1.2). De achterliggende data voor deze berekeningen is gebaseerd op geluidsberekeningen met het 500k scenario van het Concept MER Schiphol nieuwe normen- en handhavingstelsel (NNHS). Geluidsberekeningen voor het Concept MER zijn uitgevoerd met het Nederlandse Reken Model (NRM). Deze geluidsberekeningen rond Schiphol zijn in de loop van 2017 van het NRM aangepast naar het Europese rekenmodel ECAC Doc 29. Door de actualisatie van de geluidsberekeningen van AEOLUS maakt het model gebruik van de meest recente gebruiksberekeningen op basis van de actuele normen en regels.

Actualisatie van de geluidsberekeningen, op basis van ECAC Doc 29 is nodig vanwege de volgende redenen:

- Betere modellering van de laterale geluidsverzwakking. De verzwakking is minder groot dan eerder verondersteld in het NRM. Daarmee wordt de geluidbelasting zijwaarts van het vliegp pad beter gemodelleerd en sluit o.a. het effect van hoger/lager vliegen beter aan bij de werkelijk te verwachten effecten.
- Betere modellering van de demping van het geluid door de atmosfeer. Er is minder demping dan eerder verondersteld in het NRM.
- Betere modellering “startrol” en “landingsrol”. Dit betreft het deel van de start en landing waarbij het vliegtuig op de baan is. Het geluid nabij de banen wordt hiermee beter benaderd.
- Verfijning in vliegtuiggegevens. Met de overgang naar Doc 29 wordt ook overgestapt op een grotere database met meer vliegtuigen waarvan de geluid- en prestatiegegevens beschikbaar zijn. Effectief komt dit neer op een uitbreiding van ca. 15 vliegtuigtypes voor het representeren van de vloot op Schiphol naar meer dan 80 vliegtuigtypes met elk zijn eigen gegevens. Veranderingen in de vloot komen daarmee beter tot uitdrukking.

- Er is een verfijning aangebracht in de start- en naderingsprofielen. Deze geven het verloop van hoogte, snelheid en stuwkracht. Met de verfijning komen veranderingen in vliegprocedures (bijv. CDA's) beter tot uitdrukking.

Actualisatie van de geluidsberekeningen in AEOLUS voor het gebruik van Doc29 om tot het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour te komen, vereist het actualiseren van de tabel die per gridpunt, per daglicht/avond/nacht periode, per richting (landen/starten) en per piekperiode (Startpiek/Landingspiek/Offpiek/Nacht/Dubbelpiek) aangeeft wat de geluidsbijdrage is. Deze tabel is geactualiseerd op basis van de geluidsberekening zoals is uitgevoerd in het kader van het MER Schiphol NNHS voor de situatie met 500.000 bewegingen berekend met het ECAC Doc 29 geluidsmodel. De verdere berekeningsmethode wijzigt niet. De resulterende tabel voor AEOLUS is op twee manieren gevalideerd.

Als eerste validatie is de tabel vermenigvuldigd met de vliegtuigbewegingen die zijn voorondersteld in de Concept MER. Hiervoor zijn geen berekeningen met AEOLUS nodig, maar wordt de tabel vermenigvuldigd met de vliegtuigverdeling (gewichts- en technologieklasse) zoals deze in de Concept MER zijn berekend. In de overzichtstabellen wordt deze validatie "AEOLUS invoer" genoemd. Uit de validatie is gebleken dat de "invoer" van AEOLUS met ongeveer 171 woningen afwijkt van het in de Concept MER berekende totaal van 11 duizend woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour. Deze afwijking van rond de 1,55% valt binnen de marge die wordt gehanteerd voor AEOLUS. Een vergelijking, met het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour, tussen NRM en Doc 29 is weergegeven in Tabel 1. In deze tabel is te zien dat met het Doc 29 model een kleinere afwijking is gerealiseerd.

Tabel 1: Aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour bepaald met het NRM en DOC 29 vergeleken met invoer voor het AEOLUS model.

	Concept MER	AEOLUS invoer	Afwijking AEOLUS invoer	AEOLUS prognose (gekalibreerd)
NRM methodiek (oud)	9 100	8 853	-247 (-2,71%)	9 096
ECAC Doc 29 methodiek (nieuw)	11 000	11 171	171 (+1,55%)	11 000

In een tweede validatie zijn berekeningen met AEOLUS uitgevoerd en zijn de resultaten met de Concept MER vergeleken. Hiervoor is de oude inputtabel in AEOLUS vervangen door de nieuwe inputtabel en is een prognoserun gedraaid. Hiervoor is de actuele versie van AEOLUS gebruikt. Het aantal vliegbewegingen is in deze doorrekening beperkt tot

500.000 vluchten per jaar om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de aannames van het Concept MER. De prognose is opgesteld voor het jaar 2020. In een eerste doorrekening (met oude kalibratiefactoren) week het aantal woningen met enkele honderd af van het Concept MER. Door een kalibratiefactor toe te passen is het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour gekalibreerd op het aantal woningen, dat is berekend in de Concept MER.

HOOFDSTUK 3 Actualisatie LTO-tabel

AEOLUS berekent de emissies van het vliegverkeer rond de Nederlandse luchthavens op basis van de Landing/Take-off (LTO) cyclus. In de LTO-cyclus wordt rekening gehouden met de emissies tijdens het taxiën (taxi-in en taxi-out), het starten (take-off en climb-out) en het landen (approach en landing). Voor de berekening worden de in AEOLUS gemodelleerde vliegtuigbewegingen per vliegtuigklasse (gewichts- en technologieklasse) vermenigvuldigd met de gemiddelde uitstoot van schadelijke stoffen van deze klassen. De gemiddelde uitstoot staat in de LTO-invoertabel. De LTO-tabel die tot nu toe door AEOLUS werd gebruikt dateert uit 2007. Omdat de gegevens zijn verouderd is besloten om deze tabel te actualiseren; de verdere berekeningsmethode blijft ongewijzigd. Om de LTO-tabel te actualiseren is de uitstoot van verschillende stoffen per LTO-cycli en per kg brandstof opnieuw bepaald per vliegtuigcategorie (gewichts- en technologieklasse). Hierbij gaat het om de volgende stoffen:

- Koolstofmonoxide (CO);
- Stikstofoxides (NO_x);
- Vluchtige Organische Stoffen (VOS);
- Zwaveldioxide (SO₂);
- Fijnstof kleiner dan 10 µm (PM₁₀);
- Brandstofgebruik voor LTO-cycli.

Om de uitstoot van bovenstaande stoffen per vliegtuigcategorie, per LTO-cyclus en kg brandstof te bepalen dienen motortypen gekoppeld te worden aan uitstootprofielen o.b.v. de Regeling Milieuinformatie Schiphol (RMI), c.q. Emissie Index (EI). Als daarbij motortypes ontbreken in de standaardtabellen van de RMI, worden de ICAO-emissie tabellen gebruikt om aan te vullen. Vervolgens wordt de uitstoot bepaald per LTO-fase (Approach, Idle, Takeoff, Climb-out) met de bijbehorende Time In Mode (TIM) waarde per vliegtuigtype (Heli, Jumbo, Piston, Turbo Fan (TF), Turbo Fan Business Jet (TFBus), Turbo Prop (TP) en Turbo Prop (TPBus)).

Voor de actualisatie van de LTO-tabel is, net als bij geluid, het Concept MER Schiphol NNHS voor de situatie met 500.000 bewegingen gebruikt om de LTO-tabel te actualiseren. Hierbij is gekeken naar de uitstoot per vliegtuigcategorie en vliegtuigtype per LTO-cyclus en per kg brandstof. Ten opzichte van de oude LTO-tabel uit 2007 zijn volgende dingen gewijzigd:

- Lichtste gewichtsklassen (1 t/m 3) in juiste verhouding in de tabel (waren ondervetegenwoordigd in 2007 tabel);
- Data technologieklasse 4 is beschikbaar (nog niet beschikbaar in 2007);
- Data zwaarste gewichtsklasse is beschikbaar (nog niet beschikbaar in 2007).

Bij het actualiseren van de LTO-tabel is de koppeling tussen vliegtuigtype en vliegtuigmotor cruciaal gebleken. Een verkeerde koppeling kan al gauw een afwijking van meer dan 30% opleveren, t.o.v. de waarden uit de Concept MER. Validatie van de actualisatie is gepresenteerd in Tabel 2. De waarden liggen tegen de MER-referentiewaarden aan. De fijnstof (PM10) waarde wijkt het meest af. Het is niet mogelijk gebleken om deze waarde dichterbij de referentiewaarde te brengen zonder voor de andere waarden een grotere afwijking te krijgen. Een afwijking van rond de -5% is acceptabel, onder andere omdat momenteel geen rekening wordt gehouden met de auxiliary power unit²⁰ (APU) (conform eerdere LTO-tabel). De APU draagt maximaal nog 5% bij aan de uitstoot. Bij de optimalisatie is ervoor gekozen om vooral de stoffen met een grote uitstoot nauwkeurig te modelleren.

Tabel 2: Verificatie van de LTO-invoertabellen voor AEOLUS.

Totale emissies per jaar (ton)					
	CO	NO _x	VOS	SO ₂	PM10
MER 500k	2534	3412	316	92	79
AEOLUS invoer	2433,8	3262,4	292,3	85,1	68,4
Delta	-4,0%	-4,4%	-7,5%	-7,5%	-13,5%

Emissie per gecorrigeerde vliegtuigbeweging (g emissie/ton MTOW)					
	CO	NO _x	VOS	SO ₂	PM10
Norm LVB	55,0	74,6	8,4	2,1	2,5
MER 500k	47,6	64,1	5,9	1,7	1,5
AEOLUS invoer	45,9	61,6	5,5	1,6	1,3
delta	-3,5%	-4,0%	-6,5%	-5,5%	-14,0%

De nieuwe invoertabellen worden met AEOLUS ingelezen en vervolgens zijn de emissies per vliegtuigbeweging (g/ton MTOW) in het basisjaar gekalibreerd op de daadwerkelijke emissies zoals deze zijn gerapporteerd in de Handhavingsrapportage Schiphol 2017.

²⁰ Hulpaandrijvingseenheid levert energie voor het starten van de hoofdmotoren.

Ter validatie worden de LTO-emissies in 2020 berekend en met referentiewaardes uit de Concept MER vergeleken. De prognose is gebaseerd op het Hoog²¹ scenario met een limiet van 500.000 vluchten per jaar om aan te sluiten bij de aannames in de Concept MER (stand 2015). In Tabel 3 en Tabel 4 worden de resultaten getoond. In 2017 komen de LTO-emissies per vliegtuigbeweging precies overeen met de gerapporteerde waardes²². In 2020 wijken de prognoses van AEOLUS tussen 2% en 8% af van de emissies zoals deze in de Concept MER zijn berekend. Alleen bij fijnstof (PM10) is de afwijking duidelijk groter. De afwijkingen bij de emissies per toestel en bij de totale emissies zijn in dezelfde orde van grootte waardoor geconcludeerd kan worden dat ook de totale emissies correct worden berekend.

Tabel 3: Vergelijking van de berekende LTO-emissies per gecorrigeerde vliegtuigbeweging van AEOLUS met referentiewaardes uit de Concept MER.

Emissie per gecorrigeerde vliegtuigbeweging (g emissie/ton MTOW)					
	Handhavings- rapportage 2017	AEOLUS 2017	MER 2020	AEOLUS 2020	afwijking 2020
CO	50,1	50,1	47,60	49,60	4%
NOx	65,6	65,6	64,10	65,19	2%
VOS	6,2	6,2	5,90	6,36	8%
SO2	1,8	1,8	1,70	1,78	4%
PM10	1,8	1,8	1,50	1,77	18%

Tabel 4: Vergelijking van de berekende totale LTO-emissies van AEOLUS met referentiewaardes.

Totale emissies per jaar (ton)					
	Handhavings- rapportage 2017	AEOLUS 2017	MER 2020	AEOLUS 2020	afwijking 2020
CO	-	2545,1	2534,0	2573,2	2%
NOx	-	3332,6	3412,0	3381,9	-1%
VOS	-	315,0	316,0	329,8	4%
SO2	-	91,4	92,0	92,1	0%
PM10	-	91,4	79,0	91,6	16%

De uitgevoerde tests laten zien dat de emissietabellen juist zijn opgesteld en geïmplementeerd in AEOLUS.

²¹ De vooronderstelde technologische ontwikkeling is minder snel dan in de WLO. Het effect van dit verschil in aannames is minimaal door de korte prognosehorizon.

²² In de handhavingsrapportage worden de emissies in gram per ton maximum startgewicht gepubliceerd, maar niet de totale emissies.

HOOFDSTUK 4 **Actualisatie van het basisjaar**

Dit hoofdstuk beschrijft de belangrijkste stappen die zijn uitgevoerd om de invoerbestanden van AOLUS te actualiseren naar het nieuwe basisjaar. Deze invoerbestanden bevatten in het basisjaar waargenomen data en vormen het beginpunt voor het maken van toekomstprognoses in AEOLUS. Er is voor 2017 als nieuw basisjaar gekozen omdat dit het meest recente jaar is waarvoor de belangrijkste data beschikbaar is. Achtereenvolgens komen in dit hoofdstuk de nieuwe basismatrices (aantal passagiers), GTU verdeling (vluchten), level-of-service van het hoofdtransport, level-of-service van het voor- en natransport naar de luchthavens en meegenomen luchthavenheffingen en nationale belastingen aan bod.

4.1 **Basismatrices**

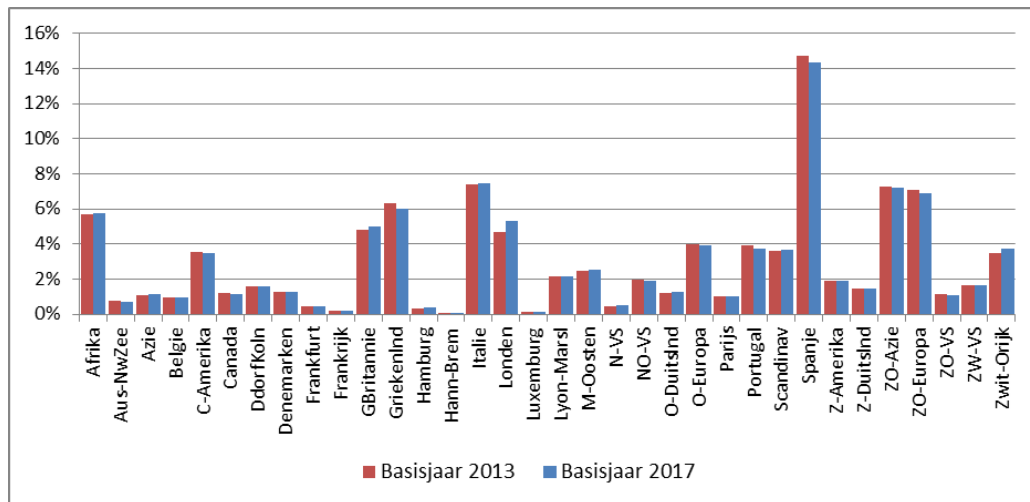
De basismatrices bevatten de waargenomen passagiersstromen van en naar Schiphol in het nieuwe basisjaar 2017. Per reismotief (zakelijk en niet-zakelijk) en de rol van de luchthaven (begin/eindpunt of overstaplocatie) staat in de basismatrices hoeveel passagiers van Schiphol gebruik hebben gemaakt om van een herkomstzone naar een bestemmingszone in AEOLUS te reizen en weer terug. In totaal zijn dus vier basismatrices afgeleid. Het onderscheid naar reismotief maakt het mogelijk verschillen in reisgedrag mee te nemen. Dit kan leiden tot andere groeicijfers en andere reacties op bijvoorbeeld beleidsmaatregelen. Voor reizen van en naar Schiphol (deze noemen we OD-reizen) wordt daarnaast een opsplitsing gemaakt tussen originating en destinating passagiers. Ook deze splitsing is voornamelijk gemaakt om verschillen in reisgedrag te kunnen modelleren. Originating passagiers (vooral Nederlanders) hebben bijvoorbeeld veelal een voorkeur om met KLM te vliegen en hebben vaker een auto ter beschikking om naar het vliegveld te reizen. Ten tweede biedt deze splitsing de mogelijkheid om passagiersaantallen met de macro-economische cijfers van hun herkomstgroei te kunnen laten ontwikkelen. Een sterke bevolkings- of inkomensgroei in bijvoorbeeld Zuidoost Azië zal ervoor zorgen dat meer reizigers uit deze regio naar Nederland reizen. Dit hoeft echter niet noodzakelijkerwijs te zorgen voor een groei van het aantal Nederlanders dat naar Azië reist.

De nieuwe basismatrices zijn afgeleid uit de Schiphol-enquête 2017. Deze enquête is gehouden onder een deel van de vertrekkende passagiers op Schiphol. De resultaten hiervan zijn vervolgens opgehoogd met weegfactoren om tot de totale daadwerkelijke passagiersaantallen te komen. Voor het afleiden van de basismatrices zijn de opgegeven herkomst- en bestemmingslanden buiten Nederland vertaald naar één van de AEOLUS zones. Binnen Nederland, waar de AEOLUS zonering aanmerkelijk fijner is, is deze

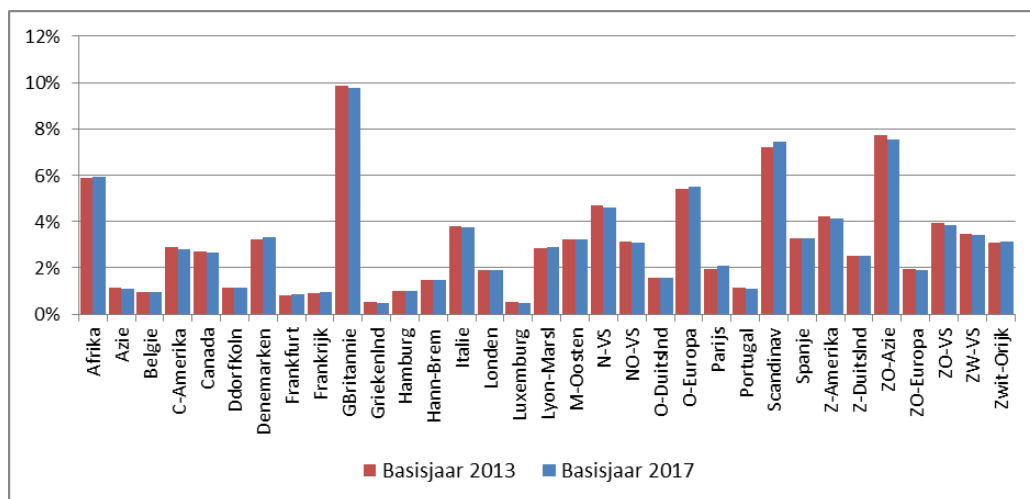
koppeling gemaakt op basis van de opgegeven herkomst- of bestemmingsgemeente. Voor Duitsland en Frankrijk is de koppeling niet triviaal, omdat deze landen uit meerdere AEOLUS zones bestaan. Voor Duitse passagiers die niet naar een Duitse luchthaven vliegen (en als originating passagiers worden geteld) gaan we ervan uit dat ze uit de buurt van de Nederlandse grens komen. Omdat Noordrijn-Westfalen (zone Düsseldorf/Keulen) een duidelijk grotere bevolking heeft dan Nedersaksen (zone Hannover/Bremen), koppelen we de Duitse passagiers aan de zone Düsseldorf/Keulen. Op basis van dezelfde redenering zijn herkomsten en bestemmingen in Frankrijk aan de zone Parijs e.o. gekoppeld. Voor landen buiten de catchment area die uit meerdere AEOLUS zones bestaan (Het Verenigd Koninkrijk, Rusland en de Verenigde Staten) is de opgegeven luchthaven gebruikt om de AEOLUS zone van bestemming te bepalen.

In de enquête hebben respondenten aangegeven of ze van of naar Schiphol reizen of er alleen overstappen. Ook de verdeling tussen de motieven zakelijk en niet-zakelijk is direct afgeleid door de opgegeven motieven te aggregeren. Van een klein deel van de passagiers is het reismotief niet bekend. Deze passagiers zijn verwijderd uit de data en vervolgens zijn alle reizen opgehoogd om het totale aantal passagiers niet te veranderen. De ratio tussen zakelijk en niet-zakelijk verandert hierbij niet. Het maken van de opsplitsing tussen originating en destinating reizigers voor OD-passagiers is in een aantal gevallen minder triviaal. Hiervoor zijn een aantal aannames gemaakt. Originating reizigers zijn inwoners van Nederland en de direct omliggende delen in het buitenland die een luchthaven in de catchment area gebruiken om ergens anders naar toe te reizen en vervolgens weer terug te keren. Omdat het onwaarschijnlijk is dat inwoners van België of Luxemburg per vliegtuig naar Nederland reizen, delen we reizigers uit deze landen altijd als originating in. Een reiziger uit Duitsland en Frankrijk die via een Nederlandse luchthaven reist, kan zowel een destinating als een originating passagier zijn. Dit is afhankelijk van hun bestemming. Duitsers tellen we als originating als ze niet naar Duitsland vliegen en Fransen worden als originating geteld als hun bestemming niet Frankrijk is. Destinating reizigers zijn alle passagiers die niet uit Nederland, Luxemburg of België komen plus alle Duitsers die terug naar Duitsland reizen en alle Fransen die terug naar Frankrijk reizen. Deze passagiers beginnen hun reis ergens op de wereld, arriveren op een luchthaven in de catchment area en reizen uiteindelijk weer richting hun herkomstzone.

De hier beschreven procedure leidt uiteindelijk tot vier basismatrices: een OD- en een transfermatrix voor beide motieven (zakelijk en niet-zakelijk). Figuur 6 laat in percentages zien hoe vaak bestemmingen vanaf Schiphol bezocht worden in het oude (2013) en in het nieuwe (2017) basisjaar. In Figuur 7 is de herkomst van passagiers die op Schiphol overstappen weergegeven. De verdeling over herkomsten en bestemmingen is relatief weinig veranderd. Wel is het totale volume van zowel OD-passagiers als transferpassagiers toegenomen ten opzichte van het oude basisjaar met respectievelijk ongeveer 40% en 15%.



Figuur 6: Aandelen van de bestemmingen die OD-reizigers vanaf Schiphol bezoeken voor het oude (2013) en het nieuwe (2017) basisjaar. Frankrijk bevat alle regio's behalve Parijs en Groot-Brittannië alle regio's behalve Londen.



Figuur 7: Aandelen van de herkomst van transfer-reizigers die overstappen op Schiphol voor het oude (2013) en het nieuwe (2017) basisjaar. Frankrijk bevat alle regio's behalve Parijs en Groot-Brittannië alle regio's behalve Londen.

4.2 GTU verdeling

De GTU bestanden bevatten de verdeling over de grootteklassen (G) en technologieklassen (T) van alle vliegbewegingen die op Schiphol en regionale luchthavens in het basisjaar hebben plaatsgevonden gedurende bepaalde tijdperioden over de dag (U). In totaal zijn er 9 grootteklassen (G1 t/m G9), 5 technologieklassen (TA t/m TE) en 4 tijdsperioden (ochtend 07:00 tot 12:00, middag 12:00 tot 19:00, avond 19:00 tot 23:00 en nacht (23:00 tot 07:00)). De hoogste technologieklasse (TE) is nieuw binnen AEOLUS. Tabel 5 geeft een overzicht van de GTU bestanden en laat zien welke verdere uitsplitsingen zijn gemaakt. De GTU bestanden bevatten geen aantallen, maar uitsluitend percentages per categorie.

Tabel 5: Overzicht van alle GTU bestanden en de verdere uitsplitsingen die daarbinnen zijn gemaakt.

Categorie	Bestandsnaam	Passagiers/Vracht	Uitsplitsingen
Grootteklasse (G)	BaseG2017.gms	Passagiers	Naar wereldregio en alliantie
	BaseG_Fr2017.gms	Vracht	Geen
Technologieklasse (T)	BaseT2017.gms	Passagiers	Naar wereldregio, alliantie en grootteklasse
	BaseT_Fr2017.gms	Vracht	Geen
Periode van de dag (U)	BaseU2017.gms	Passagiers	Naar wereldregio en alliantie
	BaseU_Fr2017.gms	Vracht	Geen
Ratio vertrekkende en aankomende vluchten	Fracepardata2017.csv	Totaal	Naar grootteklasse, technologieklasse en periode van de dag

Als basis voor deze bestanden worden de statistiekbestanden per kwartaal van Schiphol gebruikt. De bestemmingsluchthavens in dit bestand zijn gekoppeld aan AEOLUS-zones en vervolgens verder geaggregeerd tot wereldregio's. Bestemmingen zijn op deze manier onderverdeeld in West-Europa, Noord-Amerika, Latijns-Amerika, Afrika, Midden-Oosten en het verre Oosten. Op basis van de ingevulde luchtvaartmaatschappij is aan elke vlucht één van de drie onderscheiden allianties gekoppeld. Dit zijn SkyTeam, overige full service carriers (FSC) en low cost carriers (LCC²³). In het statistiekbestand is ook de tijd van herkomst of vertrek gegeven. Hieruit is rechtstreeks de periode van de dag afgeleid. Tenslotte is aan elke vlucht de bijbehorende grootte- en technologieklasse gekoppeld op basis van het vliegtuigtype.

Voor de regionale vliegvelden Rotterdam/Den Haag (RTM), Eindhoven (EIN), Groningen (GRQ) en Maastricht (MST) is geen vergelijkbare database als voor Schiphol beschikbaar. Als alternatief zijn gegevens van Eurostat²⁴ gebruikt om de verdeling over grootte- en technologieklassen bepalen. Niet voor alle vliegbewegingen in de Eurostat-data was het mogelijk grootte- en technologieklasse te koppelen. Omdat AEOLUS alleen percentages inleest en geen absolute aantallen is dit geen probleem. Eurostat geeft geen informatie over de verdeling over de perioden van de dag. Deze verdeling is daarom overgenomen uit de vorige AEOLUS versie en ter controle vergeleken met die van Schiphol.

Alle data is vervolgens gebruikt om na het maken van de uitsplitsingen percentages vliegbewegingen per grootteklasse (G), technologieklasse (T), periode van de dag (U) en richting (aankomend of vertrekkend) te berekenen. In Tabel 6 zijn de nieuwe GTU verdelingen afgezet tegen die van het oude basisjaar. Opvallend is de daling van het aandeel in technologieklasse D van 20,1 % naar 7,7% bij gelijktijdig en groei van het aandeel van technologieklasse C van 79,9% naar 90,7%. Deze trend naar een lagere technologieklasse

²³ Deze categorie bevat ook de leisure carriers.

²⁴ <https://ec.europa.eu/eurostat>

wordt vooral veroorzaakt door de vervanging van Fokker 70 toestellen door Embraer 190 vliegtuigen door de KLM. De Embraers verbruiken minder kerosine maar maken wel meer lawaai, waardoor ze in een lagere technologieklasse zijn ingedeeld.

Tabel 6: Vergelijking gemiddelde GTU verdeling tussen het oude (2013) en nieuwe (2017) basisjaar.

Uitsplitsing	Categorie	Passagiersvliegtuigen		Vrachtvliegtuigen	
		2013	2017	2013	2017
Grootteklasse (G)	G1	0,0%	0,1%	2,4%	2,4%
	G2	17,8%	12,3%	0,0%	0,0%
	G3	17,1%	17,2%	0,0%	0,2%
	G4	52,4%	55,5%	5,5%	8,7%
	G5	0,4%	0,4%	3,4%	1,9%
	G6	2,0%	4,7%	1,3%	0,7%
	G7	6,1%	5,6%	43,9%	1,4%
	G8	4,0%	4,0%	43,5%	71,8%
	G9	0,2%	0,3%	0,0%	12,9%
Technologieklasse	TA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	TB	0,0%	0,1%	3,8%	1,6%
	TC	79,9%	90,7%	69,1%	85,5%
	TD	20,1%	7,7%	27,1%	12,9%
	TE	0,0%	1,5%	0,0%	0,0%
Periode van de dag	Ochtend	32,9%	31,9%	37,6%	26,5%
	Middag	38,9%	40,4%	38,9%	38,9%
	Avond	21,6%	21,6%	11,9%	19,9%
	Nacht	6,5%	6,2%	11,6%	14,7%

4.3 Level-of-service hoofdvervoer

De keuzeset voor de hoofdvervoerwijzekeuze bestaat voor reizigers in AEOLUS uit vier alternatieven: vliegtuig, auto, reguliere trein en hogesnelheidstrein. Voor herkomst-bestemmingsparen binnen Europa zijn, afhankelijk van de beschikbaarheid van hogesnelheidstreinen, drie of vier alternatieven beschikbaar, voor intercontinentale verbindingen is alleen het vliegtuig een realistisch alternatief. De keuze tussen de beschikbare hoofdvervoerwijze wordt gesimuleerd op basis van reistijden en reiskosten. Hiervoor is voor alle vervoerwijzen de level-of-service in het nieuwe basisjaar afgeleid.

4.3.1 Luchtzijdige level-of-service

De luchtzijdige level-of-service is aangeleverd door SEO Economisch Onderzoek (SEO). In het aangeleverde bestand staan alle vliegverbindingen tussen luchthavens wereldwijd. Naast de vertrek-, aankomst, en eventueel overstapluchthaven, is voor elke verbinding de luchtvaartmaatschappij, directe reistijd, generaliseerde reistijd, frequentie, concurrentiegraad en ticketprijs gegeven. Hierbij is voor de gegeneraliseerde reistijd en de

ticketprijzen een onderscheid gemaakt naar zakelijke en niet-zakelijke reizigers. Voordat AEOLUS dit bestand in kan lezen is een aantal bewerkingen uitgevoerd.

In het SEO bestand staan de directe reistijden van herkomst naar bestemming en een gewogen generaliseerde reistijd voor de motieven zakelijk en niet-zakelijk. In deze gewogen reistijd zijn de omvliegtijd via de hub en een overstaptijd opgenomen met ieder een eigen weefactor. Daarnaast is deze gewogen reistijd vermenigvuldigd met een aangenomen value-of-time (VOT). In tegenstelling tot de oude AEOLUS versie, rekent het nieuwe model met pure reistijd. Daarom wordt de gegeneraliseerde reistijd eerst opgesplitst in de directe vliegtijd, omvliegtijd, en tijd op de hub. Op basis hiervan is vervolgens de ongewogen vliegtijd (al dan niet via een hub) berekend.

Op basis van de luchtvaartmaatschappij is voor elke verbinding de alliantie bepaald. De gemodelleerde allianties zijn SkyTeam, Star, OneWorld, overige full service carriers (FSC) en low cost carriers (LCC). Vervolgens worden alle verbindingen met dezelfde AEOLUS herkomst- en bestemming, eventueel hub-locatie en alliantie geaggregeerd. Voor herkomsten, bestemmingen en hubs buiten de catchment area wordt deze aggregatie uitgevoerd op AEOLUS zone niveau. Binnen de catchment area worden de gemodelleerde luchthavens onderscheiden. Tijdens het aggregeren worden frequenties bij elkaar opgeteld en wordt een over de frequenties gewogen gemiddelde genomen van kosten en reistijden. Ook is in het uitvoerbestand bijgehouden over hoeveel verbindingen is geaggregeerd. In Tabel 7 zijn alle variabelen weergegeven die in het nieuwe level-of-service invoerbestand voor AEOLUS staan.

Tabel 7: Variabelen in het luchtzijdige level-of-service bestand.

Variabele	Referentie stad
Orig	Herkomstzone (buiten de catchment area) of herkomstluchthaven (binnen de catchment area)
Hub	Transferzone (buiten de catchment area) of transferluchthaven (binnen de catchment area)
Dest	Bestemmingszone (buiten de catchment area) of bestemmingsluchthaven (binnen de catchment area)
Alliance	Alliantie (SkyTeam, Star, OneWorld, FCS of LCC)
Freq	Frequentie (aantal vluchten per dag)
TimeOD	Directe reistijd van herkomst naar bestemming
TimeOHD	Totale vliegtijd (via de eventuele hub)
CostB	Ticketprijs voor zakelijke reizigers
CostNB	Ticketprijs voor niet-zakelijke reizigers
HHI	Concurrentieindex
NumDest	Aantal verbindingen

4.3.2 Landzijdige level-of-service

Binnen Europa zijn auto, reguliere trein en hogesnelheidstrein de concurrerende alternatieven voor vliegen als hoofdvervoer. Hieronder wordt kort beschreven hoe de level-of-service van deze alternatieven is bepaald. Er was geen aanleiding om deze level-of-service te updaten voor het nieuwe basisjaar 2017.

Als herkomst-bestemming-paren zijn alle zones in de catchment area achterlandzones (Nederlandse zones en regio's in de buurt) met de in Tabel 8 weergegeven Europese zones in het level-of-service bestand opgenomen:

Tabel 8: AEOLUS zones en steden die in Google Maps gebruikt zijn om de afstanden en reistijden voor de landzijdige level-of-service te bepalen.

AEOLUS zone	Referentie stad
Denemarken	Kopenhagen
Frankfurt	Frankfurt
Frankrijk	Nantes
Groot-Brittannië	Leeds
Griekenland	Athene
Hamburg	Hamburg
Hannover Bremen	Hannover
Italië	Rome
Londen	London
Lyon-Marseille	Lyon
Oost Duitsland	Berlijn
Oost Europa	Warschau
Parijs	Parijs
Portugal	Lissabon
Scandinavië	Stockholm
Spanje	Madrid
Zuid Duitsland	München
Zuidoost Europa	Sofia
Zwitserland Oostenrijk	Innsbruck

Via Google-Maps zijn voor deze regio's op basis van de steden uit Tabel 8 de afstand en pure rijtijden (zonder verkeer) naar Schiphol bepaald. Voor de andere Nederlandse zones wordt een correctie toegepast. Deze correctie is gebaseerd op het oude level-of-service bestand. Voor gewone trein en hogesnelheidstrein zijn de kosten en tijden uit de afstanden en reistijden voor de auto afgeleid. Ze zijn gebaseerd op het uitkomsten van het LMS en steekproeven op daadwerkelijke verbindingen.

De parameters in het level-of-service bestand zijn als volgt afgeleid:

- Afstand auto: afstand uit Google Maps;
- Reistijd auto: reistijd uit Google Maps;
- Afstand trein: afstand auto;
- Reistijd trein: reistijd auto $\times 1,1$;
- Kosten trein: afstand trein $\times 0,16$ Euro;
- Afstand hogesnelheidstrein: afstand auto;
- Reistijd hogesnelheidstrein: reistijd trein $\times 0,6$;
- Kosten hogesnelheidstrein: kosten trein $\times 1,75$;

Bij het bepalen van de beschikbaarheid van hogesnelheidstreinen is rekening gehouden met de hogesnelheidstreinen die vanuit Nederland beschikbaar zijn (Amsterdam – Parijs, Amsterdam – Brussel, Amsterdam – Frankfurt – Basel, Amsterdam – Berlijn) en hogesnelheidslijnen in Europa. Op basis hiervan is bepaald welke verbindingen grotendeels met een hogesnelheidslijn afgelegd kunnen worden. Voor deze zones is de hogesnelheidstrein beschikbaar gemaakt.

4.4 Level-of-service voor- en natransport

Het toegangskeuzemodel in AEOLUS onderscheidt de vervoerwijzen autobestuurder, KissFly (autopassagier), trein en taxi. De keuze tussen deze alternatieven is net als voor het hoofdtransport gebaseerd op verschillen in reistijd, reiskosten²⁵ en in het nieuwe model ook afstand. Voor alle combinaties van luchthavens en AEOLUS zones zijn deze level-of-service componenten geactualiseerd. Deze sectie beschrijft eerste de level-of-service voor auto (bestuurder en passagier) en trein die is overgenomen uit het Landelijk Model Systeem (LMS). Daarna komen de LOS voor taxi en de kosten voor parkeren op de luchthaven aan bod.

4.4.1 Auto en trein

Uit het LMS kunnen voor verschillende vervoerwijzen, reismotieven en perioden van de dag reistijden, afstanden en kosten afgeleid worden tussen herkomsten en bestemmingen in Nederland en de omliggende landen. Deze LOS data zijn voor auto en trein overgenomen in AEOLUS. Hierbij is er wel rekening mee gehouden dat er drie jaar verschil zit tussen het nieuwe basisjaar van AEOLUS (2017) en het huidige basisjaar van het LMS (2014). Omdat er in deze periode relatief weinig veranderd is qua infrastructuur en hoeveelheid verkeer, is ervan uitgegaan dat reistijden en reisafstanden nog steeds representatief zijn voor 2017. De kosten voor auto en trein zijn niet direct overgenomen, maar eerst omgerekend naar prijspeil 2017. Hiervoor is gebruikt gemaakt van prijsindexcijfers van het CBS (CBS, 2017). De prijzen voor treintickets zijn tussen 2014 en 2017 met ongeveer 4% gestegen, terwijl de prijs voor Euro95 benzine met 8% gedaald is. Daarnaast is de consumenten prijsindex (CBS, 2017) toegepast om te corrigeren voor de inflatie tussen 2014 en 2017. Tabel 9 geeft een overzicht van alle variabelen die uit het LMS zijn overgenomen.

Tabel 9: Overzicht van de variabelen in de LOS bestand voor voortransport.

Beschrijving	Variabelen
Algemeen	zone, luchthaven
Auto	afstand, tijd, kosten
Trein	afstand, tijd (in trein), voortransporttijd, natransporttijd, kosten
Hogesnelheidstrein	afstand, tijd (in trein), voortransporttijd, natransporttijd, kosten

Het LMS heeft een ruimtelijke segmentatie van 1406 zones in Nederland en 159 externe zones in België, Luxemburg, Duitsland en Frankrijk. Omdat deze zonering veel fijner is

²⁵ Hierbij wordt rekening gehouden met gemiddelde bezettingsgraden.

dan de AOLUS zonering (die binnen Nederland samenvalt met de COROP indeling) is elke LMS zone in Nederland eerst gekoppeld aan een AEOLUS zone op basis van de gemeente waarin een zone ligt. Dezelfde koppeling is ook gemaakt voor LMS zones in België, Luxemburg en Duitsland. In Duitsland bevat de regio Keulen/Düsseldorf alle LMS zones in Noordrijn-Westfalen en de regio Frankfurt de zones in de deelstaat Hessen. Van de achterlandzones die in AEOLUS mee worden genomen in de berekeningen kan alleen de zone Parijs niet op deze manier gekoppeld worden. Frankrijk is maar als twee zones in het LMS geïmplementeerd en deze zijn niet geschikt om de nodige parameters voor AEOLUS af te leiden. Er is daarom voor gekozen de zone die het dichtst in de buurt van Parijs ligt als referentie te gebruiken en de parameters achteraf te corrigeren. De referentiezone bevindt zich in Wallonië (zwaartepunt 50,212 graad noord en 4,259 graad oost, 30 km zuidwest van Charleroi). De correctie op de afstanden uit het LMS is +225 km, de autoreistijden zijn met 135 minuten verhoogd en de kosten met €28,60. De precieze koppeling tussen de LMS zones en AEOLUS zones is in Tabel 10 te zien. Ook elke luchthaven in de catchment area is gekoppeld aan een LMS zone. Deze koppeling is weergegeven in Tabel 11.

Tabel 10: Koppeling van de LMS zones aan de AEOLUS zones.

LMS	AEOLUS	Land
1 - 1406	1 - 22	Nederland
1407 - 1456	23	België
1457	24	Luxembourg
1471 - 1511	25	Düsseldorf/Keulen
1526 - 1527	26	Frankfurt
1437 ²⁶	27	Parijs

Om de LOS uit het LMS vervolgens te vertalen naar de veel uitgestrektere zonering en het kleinere aantal motieven en tijdsperioden in AEOLUS zijn de volgende keuzes gemaakt:

- Om te aggregeren naar de grovere AEOLUS zonering middelen we tijden, afstanden en kosten over alle LMS zones in een AEOLUS zone. Hierbij is gewogen naar de bevolkingsomvang per LMS zone;
- Voor zakelijke reizigers is het motief zakelijk uit het LMS gekozen en voor niet-zakelijke reizigers het motief overig;
- Voor de auto worden in het LMS de reistijden voor drie periodes berekend: ochtendspits (07 tot 09 uur), avondspits (16 tot 18 uur) en restdag. We nemen aan dat 16 uur per dag mensen van en naar de luchthaven reizen en berekenen de gemiddelde tijden, afstanden en kosten door de ochtend- en avondspits elk met een factor 2/16 te wegen en de restdag met een factor 12/16;

²⁶ Zone 1437 bevindt zich in Wallonië. Voor details zie tekst.

- In de treinkosten uit het LMS zijn prijsreducties door abonnementen en kortingskaarten reeds verwerkt. Omdat deze reducties vaak niet van toepassing zijn op ritten van en naar luchthavens is hiervoor een correctie uitgevoerd. Op een aantal ruimtelijk gespreide relaties zijn de treinkosten uit het LMS vergeleken met de tarieven op de website van de NS²⁷. Op basis van de gevonden prijsverschillen zijn de treinkosten uit het LMS met een factor 1,4 (niet-zakelijke reizigers) of een factor 1,9 (zakelijke reizigers) opgehoogd.

In het LMS is de treintijd onderverdeeld in een aantal componenten. Dit zijn voorttransporttijd, in-vehicle tijd, wachttijd, overstaptijd en natransporttijd. In AEOLUS worden deze componenten bij elkaar opgeteld tot de totale reistijd.

Tabel 11: Koppeling van LMS zones aan in AEOLUS gemodelleerde luchthavens.

LMS	AEOLUS	Luchthaven
688	AMS	Schiphol (Amsterdam)
911	RTM	Den Haag /Rotterdam
1237	EIN	Eindhoven
1356	MST	Maastricht
1399	LEY	Lelystad
238	ENS	Enschede
130	GRQ	Groningen
1425	BRU	Brussel
1436	CRL	Charleroi
1511	CGN	Keulen/Bonn
1501	DUS	Düsseldorf
1526	FRA	Frankfurt
1278	NRN	Weeze
1457	LUX	Luxemburg
1437 ¹	CDG	Charles De Gaulle (Parijs)

Voor buitenlandse zones zijn voor autovervoer dezelfde gegevens beschikbaar als voor Nederlandse zones. Helaas bevat het LMS geen gegevens over de trein LOS buiten Nederland. Om de trein LOS van en naar buitenlandse zones of luchthavens te bepalen zijn daarom een aantal aannames gemaakt. Deze zijn gebaseerd op de gemiddelden voor alle relaties waarvoor de gegevens wel beschikbaar zijn. De volgende lijst geeft een overzicht van de gemaakte aannames:

- Afstand trein: afstand auto +13,8%;
- Tijd trein: tijd auto +10,3%;

²⁷ www.ns.nl

- Voortransporttijd: 21 minuten voor alle buitenlandse zones;
- Natransporttijd trein: 5 minuten voor de luchthavens Frankfurt (FRA), Düsseldorf (DUS), Keulen/Bonn (CGN), Brussel (BRU) en Charles de Gaulle (CDG). Deze luchthavens hebben net als AMS een geïntegreerd treinstation. We gebruiken dezelfde tijd als voor luchthaven Schiphol (AMS) in het LMS;
- Natransporttijd trein: 30 min voor de luchthavens Charleroi (CRL) en Luxemburg (LUX). Voor deze luchthavens is de natransporttijd overgenomen van luchthaven Eindhoven (EIN);
- Kosten trein: kosten auto + 31,3%.

Ten slotte is een aantal zones in AEOLUS en de daarbinnen gelegen luchthavens ook verbonden per hogesnelheidstrein. Dit zijn de zones Amsterdam, Rotterdam, Noord-Brabant, België, Parijs, Frankfurt, Düsseldorf/Keulen. De luchthavens die hierbinnen vallen zijn Schiphol (AMS), Den Haag/Rotterdam (RTM), Keulen/Bonn (CGN), Brussel (BRU) en Charles de Gaulle (CDG). Op basis van de gemiddelde verschillen tussen de gewone trein en de hogesnelheidstrein op de verbindingen Keulen-Frankfurt en Amsterdam-Brussel zijn correctiefactoren voor de reistijd en reiskosten berekend. De prijs van de hogesnelheidstrein is gesteld op 1,75 keer de kosten van de gewone trein en de tijd op 0,6 maal de reistijd van de gewone trein. De voortransporttijd, natransporttijd en afstand zijn als ongewijzigd aangenomen.

Tabel 12: Twee voorbeeldroutes naar Schiphol in AEOLUS.

Aeolus zone	Hilversum				Rotterdam			
	Niet-zakelijk		Zakelijk		Niet-zakelijk		Zakelijk	
Basisjaar	2013	2017	2013	2017	2013	2017	2013	2017
Autotijd (min)	33,0	33,0	33,0	32,9	50,0	52,0	50,0	51,9
Autoafstand (km)	40,0	39,8	40,0	40,0	67,0	66,1	69,0	67,8
Autokosten (€)	4,0	4,1	4,0	4,1	7,0	6,7	7,0	6,9
Treintijd (min)	46,0	54,5	46,0	54,5	59,0	72,9	60,0	72,9
Treinafstand (km)	38,0	40,5	38,0	40,5	70,0	72,5	71,0	72,5
Treinkosten (€)	7,0	7,86	9,0	10,4	17,0	14,3	20,0	18,7

Door al deze gegevens te combineren en de aannames toe te passen is level-of-service van en naar luchthavens voor auto en trein volledig bepaald. Tabel 12 geeft ter illustratie de verschillen in level-of-service op twee voorbeeldroutes (van Hilversum en Rotterdam naar Schiphol). De grootste verschillen zijn te zien in de treintijd; deze verschillen komen met name voort uit andere voor-, wacht- en natransporttijden. De verschillen tussen niet-zakelijke en zakelijke reizigers komen gedeeltelijk doordat zij andere keuzes maken zoals het wel of niet gebruik maken van toltunnels, het eerste of tweede klas reizen in de trein. Daarnaast kunnen ze gemiddeld genomen iets andere herkomsten en bestemmingen hebben binnen de fijne LMS zonerings.

4.4.2 Taxi

Naast auto (als bestuurder en passagier) en trein is taxi één van de in AEOLUS gemodelleerde vervoerwijzen om van en naar de luchthaven te reizen. Voor de reistijden is aangenomen dat deze hetzelfde zijn als voor autobestuurder. De kosten van het gebruik van een taxi zijn echter aanmerkelijk anders dan bij het gebruik van een privéauto. De gehanteerde methode om deze kosten in te schatten is gewijzigd ten opzichte van de vorige AEOLUS versie. In plaats van een lineair verband te schatten tussen taxikosten en afstand, worden de drie componenten waaruit taxitarieven zijn opgebouwd apart beschouwd. Deze tariefcomponenten zijn het starttarief (€), het kilometertarief (€/kilometer) en het tijdstarief (€/minuut). Om een goede inschatting te maken van de taxikosten zijn de volgende stappen uitgevoerd:

- In elke provincie zijn één of meerdere taxiaanbieders geselecteerd die (1) de drie tariefcomponenten op hun website vermelden en (2) daarnaast ook aanbiedingen hebben naar één of meerdere luchthavens in de catchment area. Op basis van de gevonden tarieven is een gemiddelde berekend over alle geselecteerde taxibedrijven voor elk van de drie tariefcomponenten. In Tabel 13 zijn zowel de wettelijke maximumtarieven voor 2017²⁸ als de berekende gemiddelde tarieven weergegeven;

Tabel 13: Taxitarieven.

	Wettelijk maximum ²	Berekende gemiddelde
Starttarief (€)	3,02	2,85
Kilometertarief (€/km)	2,22	2,11
Tijdstarief (€/min.)	0,37	0,34

- De berekende gemiddelde tarieven zijn vervolgens toegepast om per geselecteerde aanbieder de totale kosten te berekenen vanuit de zone van het taxibedrijf naar de luchthavens Schiphol, Rotterdam, Eindhoven, Brussel en Düsseldorf. Hiervoor zijn het kilometer- en tijdstarief toegepast op de afstanden en reistijden voor auto zoals afgeleid uit het LMS en opgeteld bij het starttarief;
- De in bovenstaande stap afgeleide taxikosten zijn vergeleken met de luchthavenaanbiedingen van de geselecteerde bedrijven. Uit deze vergelijking blijkt dat dergelijke aanbiedingen gemiddeld genomen ongeveer 45% voordeliger zijn dan de op de reguliere taxitarieven gebaseerde prijzen.

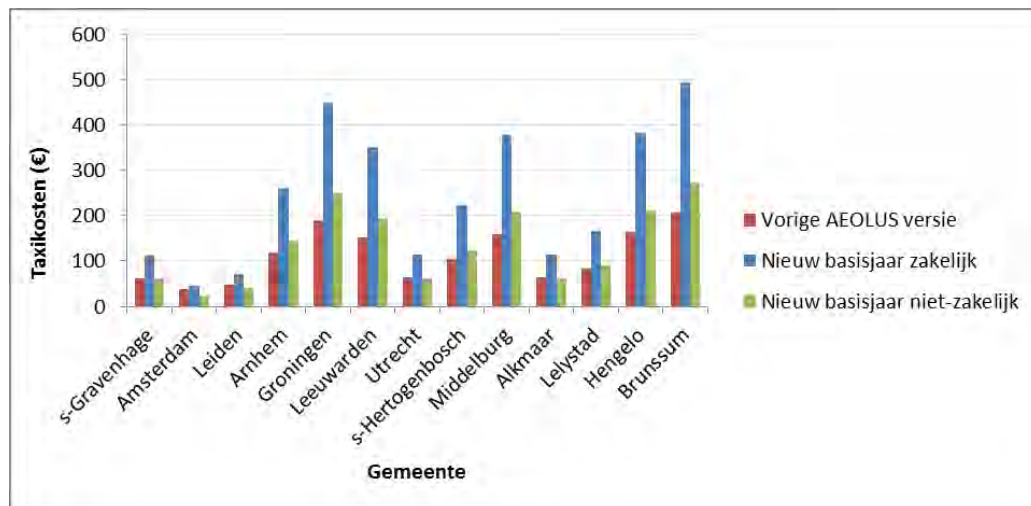
Om per zone in de catchment area de totale kosten te berekenen van of naar de gemodelleerde luchthavens, is een aanname gemaakt over het gebruik maken van speciale luchthavenaanbiedingen. Er wordt verondersteld dat originating reizigers binnen het motief niet-zakelijk hier meestal gebruik van maken. Voor deze groep passagiers zijn de taxikosten berekend door eerst de gemiddelde tarieven toe te passen op de afstanden en tijden uit het LMS. Vervolgens wordt op de totale kosten inclusief starttarief de reductie van 45% toegepast om rekening te houden met luchthavenaanbiedingen. Voor originating

²⁸ www.rijksoverheid.nl

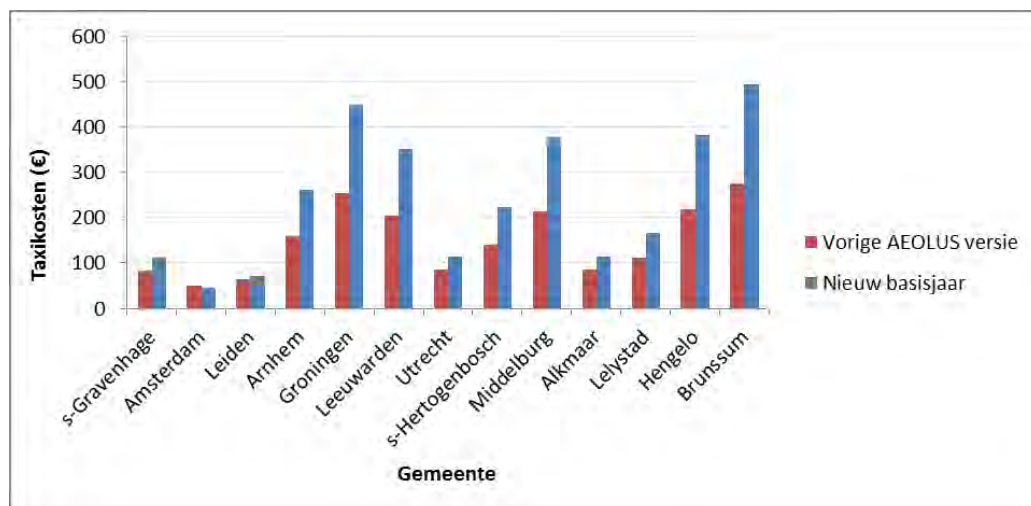
reizigers binnen het motief zakelijk en voor alle destination reizigers is deze reductie niet toegepast. Er is aangenomen dat zij meestal het reguliere taxitarief betalen. Voor zakelijke reizigers is deze aanname gemaakt omdat zij minder kostengevoelig zijn en omdat voor speciale luchthavenaanbiedingen meestal (ruim) van te voren gereserveerd moet worden. Destination reizigers zullen over het algemeen minder goed op de hoogte zijn van mogelijkheden om goedkoper met de taxi te reizen.

Error! Reference source not found. laat de taxikosten voor originating reizigers zien op en aantal relaties van en naar Schiphol. In de figuur zijn ook de kosten uit de vorige AEOLUS versie meegenomen ter vergelijking. In deze versie was er nog geen onderscheid in taxikosten naar motief. Vooral op de langere afstanden en voor het motief zakelijk zijn de meegenomen taxikosten aanmerkelijk hoger geworden. In Figuur 9 is dezelfde informatie weergegeven voor destination reizigers. Voor deze groep reizigers is er geen verschil tussen de motieven. Wel zijn de in AEOLUS meegenomen kosten hoger geworden ten opzichte van de vorige versie.

Figuur 8: Taxikosten originating reizigers van of naar luchthaven Schiphol.



Figuur 9: Taxikosten destination reizigers van of naar luchthaven Schiphol.



4.4.3 Parkeerkosten op luchthavens

Parkeerkosten spelen een belangrijke rol bij de keuze voor de vervoerwijze van en naar de luchthaven. Voor het vaststellen van de parkeerkosten op de luchthavens in de catchment area is gebruikt gemaakt van een vergelijkend onderzoek dat de ANWB heeft gepubliceerd op haar website²⁹. Hierin is onderscheid gemaakt naar parkeerduur (3 dagen, 1 week en 2 weken). Daarnaast is er een regulier tarief en een kortingstarief. In de gevonden vergelijking zijn de luchthavens Lelystad (LEY), Frankfurt (FRA), Luxemburg (LUX) en Charles de Gaulle (CDG) niet meegenomen. Voor Lelystad is hetzelfde tarief als op luchthaven Den Haag/Rotterdam verondersteld. Voor de overige drie luchthavens zijn de parkeertarieven opgezocht op de websites³⁰ van de betreffende luchthavens zelf. Tabel 14 geeft een overzicht van de gevonden prijzen voor parkeren op de gemodelleerde luchthavens in de catchment area.

Tabel 14: Parkeerkosten op luchthavens in de catchment area (€) in 2017.

Luchthaven	3 dagen parkeren, regulier tarief)	3 dagen parkeren, kortingstarief	1 week parkeren, kortingstarief	2 weken parkeren, kortingstarief
AMS	55,00	39,00	49,50	89,50
RTM	42,50	19,00	35,00	63,00
EIN	36,00	28,00	54,00	89,00
MST	35,00	35,00	55,00	74,00
LEY	42,50	19,00	35,00	63,00
BRU	34,00	34,00	54,00	77,00
CRL	42,00	42,00	70,00	105,00
DUS	39,00	39,00	58,00	77,00
NRN	36,00	36,00	45,00	60,00
CGN	54,00	29,00	29,00	58,00
FRA	49,00	87,00	49,00	64,00
LUX	55,00	40,00	50,00	90,00
CDG	93,00	70,00	158,00	206,00

Op veel luchthavens worden meerdere vormen van parkeren aangeboden tegen verschillende tarieven. Deze tarieven hangen met name af van de afstand van de parkeerplek tot de terminal en de duur van het parkeren. Omdat in AEOLUS de reisduur niet wordt gemodelleerd zijn hierover aannames gemaakt om de parkeerkosten te kunnen berekenen. Er is verondersteld dat zakelijke passagiers relatief korte verblijftijden hebben en vaker kiezen voor parkeergelegenheid op korte afstand van de terminal. De parkeerkosten voor deze groep reizigers zijn daarom per luchthaven berekend door uit te gaan van het

²⁹ www.anwb.nl

³⁰ www.frankfurt-airport.nl; www.lux-airport.lu en www.parisaeroport.fr

reguliere tarief en dit om te rekenen van 3 dagen naar 2 dagen. Voor niet-zakelijke reizigers is aangenomen dat zij meestal de voorkeur zullen geven aan goedkopere parkeerplekken. Daarom is voor deze groep het kortingstarief als uitgangspunt genomen. Er is een gemiddelde genomen van de tarieven voor een parkeerduur van 3 dagen, 1 week en 2 weken. Dit komt neer op een gemiddelde tripduur van 8 dagen.

Tabel 15: Parkeerkosten in AEOLUS (€) in 2017.

		AMS	RTM	MST	EIN	GRQ	LEY	BRU
Basisjaar 2017	Zakelijk	36,66	28,33	28,33	24,00	16,66	28,33	22,66
	Niet-zakelijk	59,33	39,00	54,66	57,00	36,66	39,00	55,00
Basisjaar 2013	Zakelijk	60,49	48,05	30,24	63,41	29,27	48,05	35,12
	Niet-zakelijk	74,63	58,54	58,05	63,74	52,36	58,54	70,57

		CRL	CGN	DUS	NRN	FRA	CDG	LUX
Basisjaar 2017	Zakelijk	28,00	36,00	26,00	24,00	32,66	62,00	36,66
	Niet-zakelijk	72,33	32,66	58,00	47,00	66,67	144,67	60,00
Basisjaar 2013	Zakelijk	28,29	52,68	64,39	35,12	58,54	62,44	39,02
	Niet-zakelijk	60,81	60,49	54,63	45,85	52,68	121,63	58,54

In Tabel 15 worden de parkeerkosten zoals geïmplementeerd in AEOLUS vergeleken met die van de vorige AEOLUS versie. Voor het motief zakelijk zijn de kosten in het nieuwe basisjaar lager. Binnen het motief niet-zakelijk wisselt het beeld per luchthaven.³¹ Naast de gewijzigde tarieven is een belangrijk verschil met de vorige versie dat voor bestemming reizigers geen parkeerkosten meer worden gemodelleerd.

4.5 Luchthavenheffingen en nationale vliegbelastingen

Om de effecten van een vliegbelasting op het vliegverkeer goed door te kunnen rekenen is het van belang bestaande heffingen en belastingen in binnen- en buitenland goed mee te nemen in het basisjaar. In de vorige AEOLUS versie was dit nog niet het geval en werd met de ticketprijzen zonder heffingen gerekend.

Tabel 16 geeft een overzicht van de luchthavenheffingen (zoals deze zijn vermeld op de vliegtickets) voor op- en overstappende passagiers. Deze heffingen bevatten beveiligingstoelagen, luchthaven servicetoelagen. Deze tarieven zijn opgezocht voor alle in AEOLUS gemodelleerde luchthavens in de catchment area. Buiten dit gebied zijn voor elke zone gemiddelde tarieven bepaald. Hierbij is de volgende werkwijze gehanteerd:

³¹Uit de lagere tarieven kan niet geconcludeerd worden dat parkeren op de luchthavens goedkoper is geworden. De manier waarop de kosten voor de verschillende tijdsduren met en zonder korting is verzameld is gewijzigd. Eerder was de informatie niet bij de ANWB beschikbaar, maar hebben we de tarieven op de websites van de individuele luchthavens opgezocht.

- Op de website van KLM³² is een vlucht vanaf een bepaalde luchthaven geselecteerd en is vervolgens de gedetailleerde specificatie van de ticketprijs bekeken. Hieruit is de hoogte van de plaatselijke luchthavenheffing afgeleid;
- De gevonden heffingen zijn vervolgens, indien beschikbaar, gecontroleerd door een vergelijking te maken met de door de luchthaven zelf gepubliceerde tarieven. Omdat deze tarieven in alle gevallen nagenoeg overeenkwamen, is aangenomen dat de website van de KLM ook een betrouwbare bron is voor luchthavens die zelf geen tarieven publiceren;
- Transferheffingen zijn alleen opgezocht voor luchthavens en zones met een belangrijke hubfunctie. Deze tarieven zijn in

³² www.klm.nl

- Tabel 16 grijs gemarkeerd. Op basis hiervan is een gemiddelde ratio tussen opstapen en transferheffingen berekend. De transferheffing op de overige luchthavens en zones is berekend door deze gemiddelde ratio toe te passen op de gevonden opstapheffing.

Voor de zones buiten de catchment area zijn op de hierboven beschreven manier voor gemiddeld drie luchthavens de heffingstarieven bepaald. Voor zones in Europa is vervolgens een naar het totale aantal vliegtuigbewegingen (Eurostat, 2017)³³ gewogen gemiddelde genomen. Voor zones buiten Europa is een ongewogen gemiddelde genomen.

4.5.1 Nationale vliegbelastingen

Voor AEOLUS zones binnen Europa worden, waar van toepassing, ook de nationale opstapbelastingen meegenomen in de nieuwe versie van AEOLUS. De hoogte van deze belastingen zijn overgenomen uit officiële bronnen. Op dit moment hebben de volgende landen een nationale vliegbelasting:

- UK : Air passenger duty³⁴;
- Frankrijk: Taxe de l'aviation civile en taxe de solidarité sur les billets d'avion³⁵;
- Duitsland: Steuersätze³⁶;
- Oostenrijk: Flugabgabe³⁷;
- Noorwegen: Air passenger taks³⁸;
- Zweden: Air passenger taks³⁹.

In AEOLUS vormt Oostenrijk een zone samen met Zwitserland. De hoogte van de belasting is voor deze zone bepaald door het aantal vliegbewegingen (Eurostat⁴⁰, 2017) van en naar de landen gewogen gemiddelde te nemen tussen de tarieven in Oostenrijk en Zwitserland. Hetzelfde geldt voor Noorwegen en Zweden, die in AEOLUS samen met Finland en IJsland onderdeel uitmaken van de zone Scandinavië.

³³ <https://ec.europa.eu/eurostat>

³⁴ <https://www.gov.uk/guidance/rates-and-allowances-for-air-passenger-duty>

³⁵ <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F34052>

³⁶ http://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Steuern/Verkehrsteuern/Luftverkehrsteuer/Grundsatz-Besteuerung/Steuersaetze/steuersaetze_node.html

³⁷ https://www.bmf.gv.at/egovernment/fon/fuer-flugplatzhalter-und-luftfahrzeughalter/BMF_Handbuch_Flugabgabe_Luftfahrzeughalter.pdf?6914f6

³⁸ <http://www.fccaviation.com/regulation/norway/air-passenger-tax>

³⁹ SFS2017_1200.pdf

⁴⁰ <https://ec.europa.eu/eurostat>

Frankrijk maakt voor “taxe de solidarité sur les billets d’avion” onderscheid tussen economy class en business class. In de UK wordt een soortgelijk onderscheid gemaakt op basis van de beschikbare stoelruimte. Voor beide landen is het laagste tarief genomen, omdat het merendeel van de passagiers economy class reist. Daarnaast wordt vaak een onderscheid gemaakt naar reisafstand; voor verder gelegen bestemmingen geldt een hoger tarief. Alleen in Noorwegen en bij de “Taxe de l’aviation civile” in Frankrijk geldt een vast tarief. In de meeste gevallen is het eenvoudig een AEOLUS zone aan een bepaalde afstandsklasse te koppelen. Uitzonderingen hierop zijn:

- Afrika: De meeste landen hanteren verschillende tarieven voor Noord-, Centraal- en Midden-Afrika terwijl dit in AEOLUS één zone is;
- Oost-Europa: Sommige landen rekenen Rusland ten westen van de Oeral net als de rest van de zone Oost-Europa tot de kortste afstandsklasse. Frankrijk en Noorwegen hanteren echter aparte tarieven voor bestemmingen in beide gebieden;
- Azië overig: Duitsland en Oostenrijk rekenen Rusland ten oosten van de Oeral tot de kortste afstandsklasse en de landen in Centraal Azië tot de middenklasse. In AEOLUS vormen deze landen echter samen de zone Azië overig.

Voor deze drie zones is de nationale heffing bepaald door een gewogen gemiddelde van de geldende tarieven te nemen. Hierbij is gewogen naar het totale aantal vluchten van- en naar deze gebieden (bron: Schipholstatistiek). De resulterende nationale heffingen die in AEOLUS worden meegenomen zijn weergegeven in Tabel 17.

Tabel 16: Luchthavenheffingen in AEOLUS (€).

Nr.	Luchthaven / AEOLUS zone	Opstapheffing	Transferheffing
1	Schiphol	23,30	11,69
2	Rotterdam-Den Haag	28,00	16,64
3	Eindhoven	19,40	11,53
4	Maastricht	23,70	14,08
5	Groningen	31,40	18,66
6	Burssel	27,76	16,89
7	Charleroi	8,33	4,95
8	Keulen	16,52	9,82
9	Dusseldorf	17,48	10,28
10	Frankfurt	35,48	14,17
11	Niederrhein	13,55	8,05
12	Luxemburg	3,79	2,25
13	Charles de Gaulle	29,09	18,78
28	Hannover-Bremen	22,19	13,18
29	Hamburg	15,61	9,28
30	Zuid Duitsland	29,11	17,64
31	Oost Duitsland	22,03	13,09
32	Londen	18,83	17,46
33	Groot Britannië overig	16,73	9,94
34	Lyon-Marsielle	21,83	12,97
35	Frankrijk overig	25,81	15,34
36	Denemarken	22,29	13,24
37	Scandinavië	13,76	8,18
38	Zwitserland-Oostenrijk	27,50	14,22
39	Spanje	20,60	14,60
40	Portugal	14,21	8,44
41	Italië	21,94	18,04
42	Griekenland	29,69	17,64
43	Zuidoost Europa	13,12	5,00
44	Oost Europa	16,89	10,03
45	VS Noordoost	8,40	4,99
46	VS Zuidoost	8,40	4,99
47	VS Noord	8,40	4,99
48	VS Zuidwest	8,40	4,99
49	Canada	29,50	17,53
50	Centraal Amerika	33,50	19,90
51	Zuid Amerika	33,40	19,85
52	Afrika	30,33	18,02
53	Midden Oosten	15,10	17,70
54	Australië-Nieuw Zeeland	53,00	31,49
55	Zuidoost Azië	17,64	10,48
56	Azië overig	25,50	15,15

Tabel 17: Nationale opstapbelastingen in AEOLUS (€).

Nr.	Luchthaven / AEOLUS zone	Europa	Oost-Europa	Canada en Amerika	Centraal en Zuid Amerika	Afrika	Midden Oosten	Oceanië	Azië
1	Schiphol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Rotterdam-Den Haag	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Eindhoven	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Maastricht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Groningen	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Burssel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	Charleroi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Keulen	7,47	7,47	41,99	41,99	26,49	23,32	41,99	39,89
9	Dusseldorf	7,47	7,47	41,99	41,99	26,49	23,32	41,99	39,89
10	Frankfurt	7,47	7,47	41,99	41,99	26,49	23,32	41,99	39,89
11	Niederrhein	7,47	7,47	41,99	41,99	26,49	23,32	41,99	39,89
12	Luxemburg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	Charles De Gaulle	5,61	6,94	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57
28	Hannover-Bremen	7,47	7,47	41,99	41,99	26,49	23,32	41,99	39,89
29	Hamburg	7,47	7,47	41,99	41,99	26,49	23,32	41,99	39,89
30	Zuid Duitsland	7,47	7,47	41,99	41,99	26,49	23,32	41,99	39,89
31	Oost Duitsland	7,47	7,47	41,99	41,99	26,49	23,32	41,99	39,89
32	Londen	14,79	14,79	85,33	85,33	62,67	85,33	85,33	85,33
33	Groot Britannië overig	14,79	14,79	85,33	85,33	62,67	85,33	85,33	85,33
34	Lyon-Marsielle	5,61	6,94	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57
35	Frankrijk overig	5,61	6,94	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57	12,57
36	Denemarken	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
37	Scandinavië	6,17	7,99	14,70	29,29	18,94	14,70	29,29	14,70
38	Zwitserland-Oostenrijk	2,36	2,36	11,82	11,82	7,19	5,07	11,82	11,24
39	Spanje	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	Portugal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
41	Italië	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42	Griekenland	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43	Zuidoost Europa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44	Oost Europa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45	VS Noordoost	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46	VS Zuidoost	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47	VS Noord	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48	VS Zuidwest	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49	Canada	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	Centraal Amerika	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51	Zuid Amerika	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52	Afrika	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53	Midden Oosten Australië-Nieuw	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54	Zeeland	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55	Zuidoost Azië	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56	Azië overig	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

HOOFDSTUK 5 **Herschating van de keuzemodellen en kalibratie**

AEOLUS simuleert de toegangs- en routekeuze van luchtvaartpassagiers door middel van een genest logit model. Op het bovenste niveau wordt de routekeuze gemodelleerd en op het niveau daaronder de toegangskeuze. De routekeuze bestaat uit de keuze van de vertrekvluchthaven, de alliantie en of direct of met een overstap op een andere vluchthaven naar de bestemming wordt gevlogen. Bij de toegangskeuze wordt het vervoersmiddel naar de vluchthaven in de catchment area gemodelleerd. Als alternatieven zijn in AEOLUS volgende opties beschikbaar: auto (inclusief parkeren bij de vluchthaven), kiss en fly (halen en brengen door derden), taxi en openbaar vervoer.

Voor het herschatten van deze keuzemodellen zijn twee databronnen gebruikt: (1) de Schiphol-enquête 2017 en (2) KiM-vliegenquête⁴¹ uit 2016. De Schiphol-data bevatten voldoende waarnemingen van zowel originating als destinating passagiers om voor beide groepen per motief (zakelijk en niet-zakelijk) toegangs- en routekeuzemodellen te schatten. In de enquête zijn alleen reizigers bevestigd die gebruik maken van de vluchthaven Schiphol. De KiM-data bevat aanzienlijk minder respondenten, waardoor het lastig is om hiermee significante coëfficiënten te schatten. Bovendien bevat het bestand alleen originating reizigers. Het voordeel van de KiM-enquête is dat data voor reizigers verzameld is die gebruik maken van alle vluchthavens in de catchment area van AEOLUS. In de vorige versie van AEOLUS werd alleen de Schiphol-data in de schattingen gebruikt, omdat in de KiM-data van 2013 niet naar de bestemming van de reis gevraagd werd en deze informatie voor de schattingen noodzakelijk is. Om de sterke punten van beide databronnen zo goed mogelijk te benutten is de herschatting als volgt uitgevoerd:

- Het toegangskeuzemodel is geschat op de Schiphol-enquête. In totaal bevat deze databron ruim 42.000 bruikbare records;
- Ook het routekeuzemodel (zonder vluchthavenkeuze) is geschat op de Schiphol-enquête. Voor deze schatting konden ongeveer 50.000 records gebruikt worden. In de vorige versie van AEOLUS waren de coëfficiënten van het routekeuzemodel vastgesteld op basis van plausibiliteit en eerdere AEOLUS-versies;
- Hierna zijn beide modellen gecombineerd en herschat op de KiM-data. Bij deze schatting is ook de vluchthavenkeuze meegenomen. Het doel van deze schatting is

⁴¹ <https://www.kimnet.nl/publicaties/onderzoekpublicaties/2018/03/22/de-vliegende-hollander>

het bepalen van de nestcoëfficiënten in de geneste modelstructuur. Alle andere coëfficiënten zijn overgenomen uit de schattingen op de Schiphol data. In de vorige AEOLUS versie waren deze nestcoëfficiënten niet geschat.

Na de herschatting is het model opnieuw gekalibreerd. Hiervoor zijn verschillende databronnen met waarnemingen uit 2017 gebruikt. Dit hoofdstuk beschrijft eerst de drie bovengenoemde schattingsstappen en gaat daarna in op de kalibratie.

5.1 Het toegangskeuzemodel

Het toegangskeuzemodel modelleert de keuze voor de vervoerwijze waarmee van of naar de luchthaven wordt gereisd. Passagiers hebben hierbij de keuze tussen auto, KissFly (autopassagier), openbaar vervoer (trein) en taxi. In het alternatief auto rijdt de reiziger (of een medereiziger) zelf naar de luchthaven en parkeert de auto daar voor de duur van de reis. In dit alternatief wordt rekening gehouden met de eenmalige reiskosten naar de luchthaven en de parkeerkosten. Bij het alternatief KissFly wordt hij of zij door iemand anders gebracht en opgehaald. In deze situatie ontstaan geen parkeerkosten, maar moet rekening gehouden worden met twee keer de reiskosten naar de luchthaven. Er zijn in totaal vier modellen geschat op de Schiphol-data. Zowel voor originating als destinating passagiers telkens een model voor zakelijke en niet-zakelijke reizigers.

Uit de Schiphol-enquête zijn alle OD-reizigers geselecteerd als basis voor het schattingsbestand. De herkomst, bestemming, het reismotief en de gekozen vervoerwijze zijn opgegeven in de enquête. De records waar één of meerdere van deze variabelen ontbreken zijn buiten het schattingsbestand gehouden. Aan elk record is vervolgens de level-of-service van het voor- en natransport voor het gekozen verkeersmiddel en de niet gekozen alternatieven gekoppeld. Deze gegevens zijn overgenomen uit de meeste recente versie van het Landelijke Model System (LMS) met basisjaar 2014. Hiermee zijn voor iedere respondent de afstanden, tijden en kosten van de vier gemodelleerde voor- en natransportvervoerwijzen bekend. Reizigers die zelf met de auto reizen, betalen ook parkeerkosten. In tegenstelling tot de vorige AEOLUS versie geldt dit niet voor destinating reizigers. Omdat autokosten vaak gedeeld kunnen worden, is voor de alternatieven auto, KissFly en taxi een bezettingsgraad aangenomen. Voor auto en taxi is deze op 1,5 gesteld voor zakelijke reizigers en op 3,0 voor niet-zakelijke reizigers. Voor KissFly zijn waarden van 1,0 voor zakelijke reizigers en 2,0 voor niet-zakelijke reizigers aangenomen.

Alle gegevens zijn gecombineerd in het schattingsbestand. Tabel 18 geeft een overzicht van de level-of-service variabelen die hierin zijn opgenomen.

Tabel 18: Reistijden, kosten en afstand voor de verschillende vervoermodi.

Alternatief	Tijd	Kosten	Afstand
Auto	CarTime	(CarCost + Parkeerkosten) / bezetting	TrainDist
KissFly	CarTime	(CarCost × 2) / bezetting	
Trein	TrainTime + PreTrainTime + AfterTrainTime	TrainCost	
Taxi	CarTime	TaxiCost / bezetting	

Het opgestelde schattingsbestand is gebruikt om vier Multinomial Logit (MNL) modellen te schatten. Er is geprobeerd om onafhankelijke tijd- en kostencoëfficiënten te schatten. Net als in de vorige AEOLUS versie was dit door de sterke correlatie tussen tijd en kosten niet mogelijk. In plaats daarvan is de value-of-time (VOT) voor vliegen⁴² gebruikt om de reistijd te monetariseren. Vervolgens zijn coëfficiënten geschat voor de gegeneraliseerde kosten. Voor zakelijke reizigers is de VOT op 38,26 €/uur gesteld en voor niet-zakelijke reizigers op 21,66 €/uur. Dit zijn dezelfde waarden als in de vorige AEOLUS versie gecorrigeerd met de consumentenprijsindex voor 2017 ten opzichte van 2014 (CBS⁴³, 2017). De gebruikte nutsfuncties hebben de volgende vorm:

$$U_m = ASC_m + \beta_{kosten} * (Kosten_m + VOT * Tijd_m) + \beta_{afstand} * afstand_m$$

Waarin:

U_m	= nut van vervoerwijze m;
ASC_m	= vervoerwijzespecifieke constante;
β	= coëfficiënten voor gegeneraliseerde kosten en afstand;
VOT	= value-of-time;
$Kosten_m$	= transportkosten vervoerwijze m;
$Tijd_m$	= transporttijd vervoerwijze m;
$Afstand_m$	= transportafstand vervoerwijze m.

⁴² Significance, VU Amsterdam, John Bates Service. (2013) Values of time and reliability in passenger and freight transport in The Netherlands, Report for the Ministry of Infrastructure and the Environment. Den Haag: Significance.

⁴³ <http://statline.cbs.nl/Statweb/>

Tabel 19: Schattingsresultaten toegangskeuzemodel

File	020seq_ove_NL_Voortransport_AEOLUSZones.F12	020seq_zak_NL_Voortransport_AEOLUSZones.F12	020seq_ove_BL_Voortransport_AEOLUSZones.F12	020seq_zak_BL_Voortransport_AEOLUSZones.F12
Model	Toegangskeuzemodel AEOLUS	Toegangskeuzemodel AEOLUS	Toegangskeuzemodel AEOLUS	Toegangskeuzemodel AEOLUS
Type reiziger	Originating	Originating	Destinating	Destinating
Motief	Niet-zakelijk	Zakelijk	Niet-zakelijk	Zakelijk
Converged	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
Observations	17226	5451	12191	7161
Final log (L)	-7268963.2	-2226053.7	-4116872.6	-2326739.7
D.O.F.	8	8	5	5
Rho ² (0)	0.135	0.108	0.274	0.168
Rho ² (c)	0.042	0.035	0.052	0.035
Estimated	43174	43174	43174	43174
Scaling	1	1	1	1
Constante autobestuurder	-2.428 (-280.2)	-1.407 (-72.7)	-3.545 (-1037.0)	-1.921 (-673.2)
Constante autopassagier	-1.407 (-216.9)	-1.728 (-119.5)	-2.075 (-999.1)	-1.609 (-645.6)
Constante trein	0 (*)	0 (*)	0 (*)	0 (*)
Constante taxi	-2.017 (-301.6)	-1.433 (-100.9)	-0.3168 (-207.3)	0.2550 (116.2)
Treinafstand	0.01470 (154.8)	0.01306 (62.1)	3.20e-4 (13.7)	-9.63e-4 (-39.1)
Kosten autobestuurder	-0.07139 (-173.3)	-0.03479 (-74.2)		
Kosten autopassagier	-0.09248 (-279.3)	-0.04235 (-114.5)		
Kosten taxi	-0.1030 (-369.9)	-0.05277 (-138.3)		
Kosten trein	-0.06878 (-379.3)	-0.02766 (-180.3)		
Kosten all vervoerwijzen			-0.05474 (-402.8)	-0.01329 (-327.1)

De resultaten van de finale schattingen zijn weergegeven in Tabel 19. Uit de coëfficiëntwaarden blijkt dat zakelijke reizigers minder kostengevoelig zijn dan niet-zakelijke reizigers (kleinere kostencoëfficiënt in absolute waarde). Daarnaast is er een duidelijk verschil tussen de kostencoëfficiënten van de verschillende vervoerwijzen voor originating reizigers. De vervoerwijze-specifieke constanten laten zien dat originating reizigers een sterkere voorkeur hebben voor auto en KissFly dan destinating reizigers. Dit is aannemelijk omdat destinating reizigers minder vaak een auto tot hun beschikking zullen hebben op Schiphol en ook minder makkelijk door bekenden gehaald of gebracht kunnen worden. Deze groep reizigers heeft daarom een sterkere voorkeur voor taxi. Dit geldt ook voor zakelijke reizigers (zowel originating als destinating) ten opzichte van niet-zakelijke reizigers. Bijna alle reizigers vinden trein een aantrekkelijke reisoptie. Trein is in het model de referentie en bijna alle overige vervoerwijzen hebben een negatieve constante. Alleen voor destinating reizigers binnen het motief zakelijk is de voorkeur voor taxi iets groter.

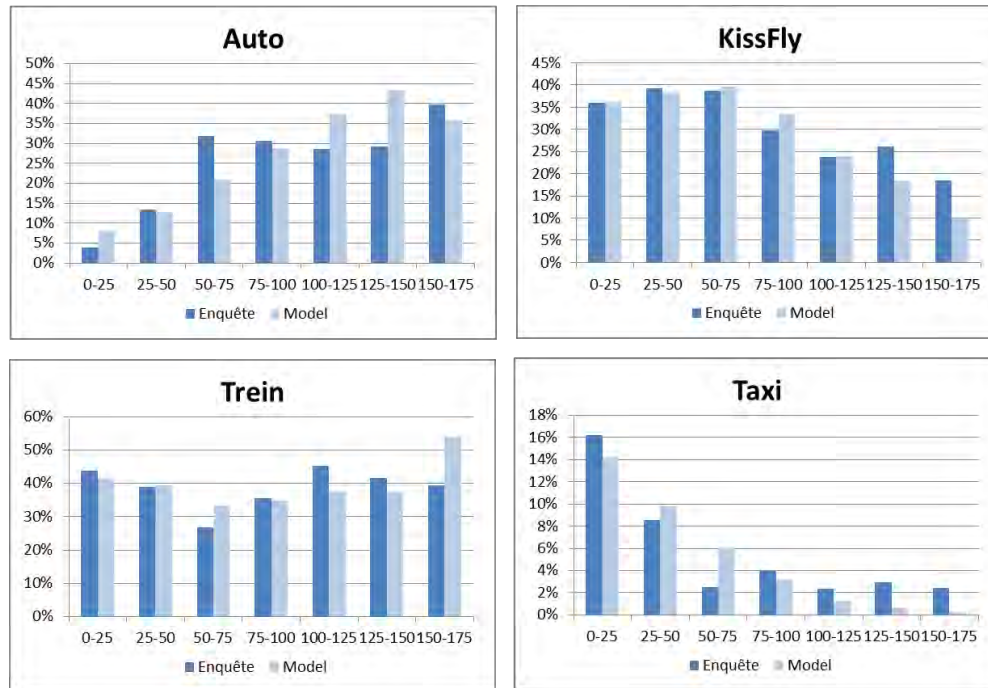
Het nieuwe toegangskeuzemodel wijkt op een aantal punten af van de vorige AEOLUS versie:

- Er worden geen parkeerkosten meegenomen voor destinating reizigers;
- Voor originating reizigers zijn aparte kostencoëfficiënten geschat voor de vier vervoerwijzen (auto, KissFly, trein en taxi). Voor buitenlandse reizigers wordt nog steeds een enkele coëfficiënt geschat;
- Voor de vervoerwijze trein wordt een aparte afstandcoëfficiënt geschat.

De eerste aanpassing is gemaakt omdat reizigers die de catchment area bezoeken gedurende hun verblijf geen auto parkeren op de luchthaven. De overige twee aanpassingen hebben als doel om per afstandsklasse een betere fit met de data te krijgen. **Error! Reference source not found.** laat de vervoerwijze-aandelen per afstandsklasse zien voor originating reizigers binnen het motief niet-zakelijk voor zowel de enquête-data als het toegepaste model. De gemodelleerde aandelen per vervoerwijze per afstandsklasse komen nu goed

overeen met de geobserveerde data. De luchthavenkeuze in het gecombineerde model (Paragraaf 5.3) en daarmee het eventuele uitwijkgedrag naar andere luchthavens zullen hierdoor beter gemodelleerd worden.

Figuur 10: Vervoerwijzeaandelen per afstandklasse voor originating reizigers binnen het motief niet-zakelijk.



Een deel van de luchthavens die in AEOLUS gemodelleerd worden is ook met een hogesnelheidstrein bereikbaar. Voor Schiphol is dat bijvoorbeeld de Thalys vanuit Antwerpen. Omdat in de Schiphol-enquête niet vermeld is of treinreizigers met een “gewone trein” of een hogesnelheidstrein naar de luchthaven gereisd zijn, kan deze keuze niet geschat worden. Om in AEOLUS wel rekening te houden en ook om de invloed van toekomstige ontwikkelingen te kunnen simuleren is een genest logit model voor treinen in AEOLUS geïmplementeerd. Tussen hogesnelheidstreinen en reguliere treinen zit een nesting-coëfficiënt van 0,5. Dit is ongewijzigd in deze actualisatie.

5.2 Routekeuzemodel

Het routekeuzemodel modelleert de keuze tussen de verschillende vliegverbindingen van herkomst naar bestemming. Een vliegroute wordt bepaald door de gekozen luchthaven in de catchment area, de alliantie (SkyTeam, Star, OneWorld, overige FSC of LCC) en AEOLUS zone waar eventueel wordt overgestapt, dus ook de keuze direct vliegen versus vlucht met overstap. In deze stap, waarin routekeuzemodellen geschat worden op de Schiphol-enquête, is de luchthavenkeuze nog niet meegenomen. Net als bij het toegangskeuzemodel worden vier modellen geschat. Er is onderscheid gemaakt naar motief (zakelijk en niet-zakelijk) en richting (originating en destinating reizigers).

Het opgezette schattingsbestand bevat alle respondenten die van of naar Schiphol gereisd zijn. Van deze respondenten zijn de herkomst, bestemming en eventuele hub-locatie bekend. Op basis van de in sectie 4.1 beschreven methodiek is een onderscheid gemaakt tussen originating en destinating reizigers. De opgegeven luchtvaartmaatschappij is gebruikt om vast te stellen met welke alliantie is gevlogen. Op basis van de herkomst- en bestemmingszone zijn voor elke respondent de beschikbare vliegverbindingen bepaald. Dit zijn de verbindingen uit de luchtzijdige level-of-service (zie sectie 4.3.1). De meegenomen eigenschappen van deze alternatieven zijn de ongewogen reistijd (vliegtijd, zonder wachttijd op een hub bij indirecte vluchten), de frequentie, de concurrentiegraad en het aantal bestemmingen (luchthavens) in de bestemmingszone.

Ook hier was het door de sterke correlatie niet mogelijk onafhankelijke tijds- en kostencoëfficiënten te schatten. Er zijn daarom gegeneraliseerde kosten berekend waarbij VOT waarden van 52,20 €/uur (niet-zakelijk) en 95,24 €/uur (zakelijk) zijn gebruikt. Deze waarden zijn overgenomen uit de vorige AEOLUS versie en gecorrigeerd met de consumenten prijsindex voor 2017 ten opzichte van 2014 (CBS, 2017). De gebruikte nutsfuncties hebben de volgende vorm:

$$U_r = ASC_{\text{alliantie}} + \beta_{\text{kosten}} * (\text{Kosten}_m + \text{VOT} * \text{Tijd}_m) + \beta_{\text{frequentie}} * \log_{10}(\text{Frequentie})$$

Waarin:

U_r	= nut van vliegroute r;
$ASC_{\text{alliantie}}$	= alliantiespecifieke constante;
β	= coëfficiënten voor gegeneraliseerde kosten en frequentie;
VOT	= value-of-time;
Kosten_r	= kosten vliegroute r;
Tijd_r	= vliegtijd vliegroute r;
Frequentie_r	= frequentie op vliegroute r.

Ook de concurrentiegraad en het aantal bestemmingen zijn getest als verklarende variabelen, maar dit leverde geen significante coëfficiënten op. De coëfficiënt voor de frequentie is op 2,3 gesteld, zodat deze variabele functioneert als een size-variabele. In Tabel 20 zijn de geschatte coëfficiënten weergegeven. Uit de schattingsresultaten volgt dat vlieggkosten zwaarder wegen voor reizigers binnen het motief niet-zakelijk dan voor zakelijk reizigers. Bovendien spelen kosten een grotere rol op verbindingen binnen Europa. Dit geldt met name voor niet-zakelijke reizigers. Er is geen groot verschil in de waardering van kosten tussen originating en destinating reizigers. De voorkeur voor SkyTeam is sterker voor originating reizigers. Daarnaast laten de geschatte alliantiespecifieke constanten zien dat niet-zakelijke reizigers een voorkeur hebben voor low cost carriers (LCC); dit is niet het geval voor zakelijke reizigers.

Tabel 20: Schattingsresultaten routekeuzemodel

File	022_seq_ove_NL_Routekeuze.F 12	022_seq_zak_NL_Routekeuze.F 12	022_seq_ove_BL_Routekeuze.F 12	022_seq_zak_BL_Routekeuze.F 12
Title	Routekeuzemodel AEOLUS	Routekeuzemodel AEOLUS	Routekeuzemodel AEOLUS	Routekeuzemodel AEOLUS
Type reiziger	Originating	Originating	Destinating	Destinating
Motief	Niet-zakelijk	Zakelijk	Niet-zakelijk	Zakelijk
Converged	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
Observations	20514	6051	16447	8972
Final log (L)	-9793392.7	-2990168.4	-8818909.2	-4052964
D.O.F.	6	6	6	6
Rho ² (0)	0.501	0.383	0.335	0.305
Rho ² (c)	-0.154	-0.148	-0.132	-0.15
Estimated	43180	43180	43180	43180
Scaling	1	1	1	1
Log(frequentie)	2.303 (*)	2.303 (*)	2.303 (*)	2.303 (*)
Constante Sky	0 (*)	0 (*)	0 (*)	0 (*)
Constante Star	-1.362 (-841.3)	-1.864 (-708.3)	-1.041 (-645.1)	-1.048 (-495.7)
Constante OneWorld	-0.6269 (-296.5)	-1.055 (-315.0)	-0.3851 (-195.1)	-0.2236 (-92.0)
Constante overige FSC	0.3646 (249.2)	-0.6468 (-236.4)	0.1963 (132.9)	-0.03387 (-15.9)
Constante LCC	1.182 (1157.8)	-0.6749 (-336.5)	0.9303 (847.1)	-0.2836 (-158.9)
Vlieggkosten binnen Europa	-0.01516 (-1262.0)	-0.00714 (-615.3)	-0.01310 (-956.7)	-0.00733 (-743.4)
Vlieggkosten van/naar Europa	-0.01243 (-1993.0)	-0.00708 (-1099.0)	-0.01254 (-1761.0)	-0.00717 (-1163.0)

In de vorige versie van AEOLUS konden geen plausible coëfficiënten geschat worden voor het routekeuzemodel. Daarom is er destijds voor gekozen om deze te bepalen op basis van expert judgement. De oorzaak voor de (extreem) kleine kostencoëfficiënten die toen geschat werden lag in de correlatie tussen de gewogen reistijd en de dummy voor directe verbindingen (zonder overstap). Om dit probleem op te lossen zijn de schattingen voor deze actualisatieronde op de volgende manier aangepast:

- In plaats van de gewogen reistijd (met daarin de directe vliegtijd, omvliegtijd en overstaptijd elk met een eigen weegfactor) is de werkelijke vliegtijd meegenomen;
- Er is geen dummy voor directe verbindingen geschat.

Met deze aanpassingen is het voor de nieuwe AEOLUS versie wel gelukt om plausible kostencoëfficiënten te schatten.

5.3 Gecombineerd model

In de vorige versie van AEOLUS werden het toegangskeuzemodel en het routekeuzemodel aan elkaar gekoppeld op basis van expert judgement. Omdat de KiM-data meerdere vertrekluchthavens bevat (en in de nieuwe versie ook de bestemming is gevraagd) zijn deze data echter erg geschikt voor het koppelen van beide modellen in een geneste structuur en het schatten van nestcoëfficiënten. Omdat in de KiM-data alleen originating passagiers zitten, is dit niet gedaan voor destinating passagiers. Voor deze groep reizigers wordt dezelfde nestcoëfficiënt aangenomen als voor originating passagiers. Wel is in het gecombineerde model onderscheid gemaakt tussen zakelijke en niet-zakelijke reizigers.

Het schattingsbestand is op dezelfde manier opgezet als bij de routekeuze, maar dan op basis van de KiM-data. Het aantal alternatieven dat beschikbaar is voor elke respondent is echter aanzienlijk groter omdat (1) reizigers nu ook kunnen kiezen tussen de gemodelleerde luchthavens in de catchment area en (2) elk routealternatief voorkomt met auto, KissFly, trein en taxi als voor- en natransportwijze. In de schatting zijn de nutsfunctie van het toegangskeuze- en het routekeuzemodel gecombineerd en uitgebreid met dummies voor de luchthavens. Daarnaast is een coëfficiënt toegevoegd voor het kiezen van een luchthaven over de landsgrens. Voor deze dummy zijn geen coëfficiënten geschat. In plaats daarvan is een waarde berekend op basis van de door SEO gemaakte aanname dat het overschrijden van de grens gelijk staat aan 100 kilometer extra reisafstand. In KiM (2014)⁴⁴ is de onderliggende aanname hiervan toegelicht. De volledige nutsfunctie is nu als volgt:

$$\begin{aligned}
 U_{r,m} &= \beta_{\text{kosten},r} * (\text{Kosten}_r + \text{VOT} * \text{Tijd}_r) \\
 &+ \beta_{\text{frequentie}} * \log_{10}(\text{Frequentie}) \\
 &+ ASC_{\text{alliantie}} \\
 &+ ASC_{\text{luchthaven}} \\
 &+ ASC_{\text{grens}} \\
 &+ ASC_m \\
 &+ \beta_{\text{kosten},m} * (\text{Kosten}_m + \text{VOT} * \text{Tijd}_m) \\
 &+ \beta_{\text{afstand}} * \text{afstand}_m
 \end{aligned}$$

Waarin:

$U_{r,m}$	= nut van vliegroute r en voor- en natransportwijze m;
β	= coëfficiënten voor generaliseerde kosten en frequentie en afstand;
$ASC_{\text{alliantie}}$	= alliantiespecifieke constante;
$ASC_{\text{luchthaven}}$	= luchthavenspecifieke constante;
ASC_{grens}	= dummy voor luchthavens over de grens;
ASC_m	= vervoerwijzespecifieke constante
VOT	= value-of-time;
Kosten_r	= kosten vliegroute r;

⁴⁴ <https://www.kimnet.nl/publicaties/onderzoekpublicaties/2015/06/25/determinanten-vlieggeneigdheid-luchthavenkeuze>

Tijd _r	= vliegtijd vliegroute r;
Kosten _m	= transportkosten vervoerwijze m;
Tijd _m	= transporttijd vervoerwijze m;
Afstand _m	= transportafstand vervoerwijze m.

In Tabel 21 zijn de geschatte coëfficiënten van het gecombineerde model weergegeven. De geschatte nestcoëfficiënten hebben de waarden 0,41 (niet-zakelijke reizigers) en 0,51 (zakelijke reizigers). Deze waarden zijn vergelijkbaar met de waarden in de vorige AEOLUS versie, maar zijn in deze actualisatie bepaald op basis van waargenomen reisgedrag.

Tabel 21: Schattingsresultaten gecombineerd toegangs- en routekeuzemodel.

File	022kim_ove_NL_Compleet.F12	022kim_zak_NL_Compleet.F12
Title	Routekeuzemodel AEOLUS	Routekeuzemodel AEOLUS
Type reiziger	Originating	Originating
Motief	Niet-zakelijk	Zakelijk
Converged	TRUE	TRUE
Observations	4004	235
Final log (L)	-29696.4	-1527.3
D.O.F.	10	9
Rho ² (0)	0.159	0.222
Rho ² (c)	-0.326	-0.65
Estimated	43180	43180
Scaling	1	1
Constante autobestuurder	-2.428 (*)	-1.407 (*)
Constante autopassagier	-1.407 (*)	-1.728 (*)
Constante trein	0 (*)	0 (*)
Constante taxi	-2.017 (*)	-1.433 (*)
Treinafstand	0.01470 (*)	0.01306 (*)
Kosten autobestuurder	-0.07139 (*)	-0.03479 (*)
Kosten autopassagier	-0.09248 (*)	-0.04235 (*)
Kosten taxi	-0.1030 (*)	-0.05227 (*)
Kosten trein	-0.06878 (*)	-0.02766 (*)
Kosten all vervoerwijzen	2.303 (*)	2.303 (*)
Constante Sky	0 (*)	0 (*)
Constante Star	-1.362 (*)	-1.864 (*)
Constante OneWorld	-0.6269 (*)	-1.055 (*)
Constante overige FSC	0.3646 (*)	-0.6468 (*)
Constante LCC	1.182 (*)	-0.6749 (*)
Vlieggkosten binnen Europa	-0.01516 (*)	-0.00714 (*)
Vlieggkosten van/naar Europa	-0.01243 (*)	-0.00708 (*)
ASC Schiphol	0 (*)	0 (*)
ASC Rotterdam	-1.148 (-4.4)	-2.481 (-1.7)
ASC Eindhoven	-0.2923 (-1.6)	0.2892 (0.5)
ASC Maastricht	-1.400 (-1.9)	0 (*)
ASC Brussel-Zaventem	-0.8057 (-5.4)	-0.4512 (-0.8)
ASC Charleroi	0.5233 (2.6)	0.7948 (1.0)
ASC Dusseldorf	-0.4558 (-3.0)	-0.01072 (-0.0)
ASC Niederrhein	0.9334 (3.6)	-0.2902 (-0.2)
ASC Keulen	0.3662 (1.9)	1.565 (2.5)
ASC Frankfurt	0.5826 (1.9)	2.102 (2.4)
ASC Luxemburg	0 (*)	0 (*)
ASC Charles de Gaulle	0 (*)	0 (*)
ASC Buitenlandse luchthaven	-2.210 (*)	-1.906 (*)
Nestcoefficient	0.4087 (91.0)	0.5116 (21.8)

5.4 Kalibratie van het basisjaar

De invoer van alle nieuwe coëfficiënten en het actualiseren van het basisjaar maakt een volledige kalibratie van het model nodig. In de kalibratie worden de alternatief specifieke constanten (ASCs) zo afgesteld dat de berekende aantallen in het basisjaar met de

daadwerkelijke cijfers overeenkomen. De meeste waargenomen aantallen komen uit de Eurostat⁴⁵ database en de Schiphol-enquête 2017. De kalibratie van het basisjaar is in stappen uitgevoerd. In iedere stap worden correctiefactoren voor de nutsfuncties bepaald. De genomen stappen zijn:

- Aantal OD-passagiers: Na de kalibratie komen de aantallen OD passagiers op alle luchthavens in Nederland en België met de waargenomen aantallen overeen. De maximale afwijking is -4,07%. De afwijking op Schiphol is 0,00% en de gemiddelde afwijking -0,94%;
- Aantal transferpassagiers: Voor de hubs⁴⁶ Amsterdam, Brussel, Frankfurt en Parijs is de gemiddelde afwijking -0,11% met een maximale afwijking voor Schiphol van -0,41%. Deze resultaten zijn zeer goed.
- Percentage passagiers op AMS dat via een hub naar de eindbestemming vliegt: Uit de Schiphol-enquête weten we dat 15,6% van alle passagiers van Schiphol indirect hun bestemming bereikt. Dit percentage wordt naar de kalibratie met -0,01% heel licht onderschat. Dit resultaat is bijna perfect;
- Marktaandeel allianties op Schiphol: Het gemiddelde verschil in marktaandeel op Schiphol is 0,00%. De grootste afwijking is bij de low cost carriers met +0,16%. De afwijking voor SkyTeam is 0,00%;
- Aanbrengen van schaalfactoren opdat in het basisjaar het aantal passagiersvliegtuigbewegingen bij de Nederlandse luchthavens correct zijn. De gemiddelde afwijking is -0,64% met een maximale afwijking voor Maastricht met -2,0%. De afwijking op Schiphol is 0,00%;
- Afstellen van de ASC's voor de voortransportkeuze voor de vier reizigersgroepen (zakelijk/niet-zakelijk en originating/destinating). We vergelijken voor alle reizigers naar Schiphol met welk van de vijf voortransport modes (auto, kiss-fly, taxi, trein, hogesnelheidstrein) ze naar de luchthaven reizen. In totaal zijn er $4 * 5 = 20$ ASCs. De ASCs zijn zo ingesteld dat de data uit de Schiphol enquête goed beschreven wordt. Alleen de uitsplitsing van treinen in hogesnelheidstreinen en reguliere treinen kan op basis van de Schiphol data niet gekalibreerd worden omdat deze splitsing in de data ontbreekt. De gemiddelde afwijking na de kalibratie is 0,02% en de maximale afwijking is 0,92% voor zakelijke originating passagiers die als voortransport mode voor de trein hebben gekozen.

⁴⁵ Op het moment van de modelkalibratie waren op de website van Eurostat (<https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>) de data voor de eerste drie kwartalen van 2017 beschikbaar. Op basis van de ontwikkeling in de eerste drie kwartalen is een inschatting gemaakt voor het laatste kwartaal van 2017. De voor de kalibratie gebruikte data wijkt daarom licht af van de finale Eurostat cijfers die op moment van publicatie van deze rapportage beschikbaar zijn. Bovendien gebruikt Eurostat andere definities als het CBS en Schiphol. Dit heeft als gevolg dat deze bronnen niet 100% overeenstemmen.

⁴⁶ In AEOLUS worden de transferaantallen in Amsterdam, Brussel, Parijs en Frankfurt gekalibreerd, maar niet op Londen. Dit komt omdat Brussel, Parijs en Frankfurt binnen de catchment area van Schiphol liggen en Londen niet. Het achterland van de luchthavens in Londen wordt niet in detail meegenomen, en daarom wordt het aantal OD-passagiers daar niet gekalibreerd. Daarom heeft het ook niet veel zin om het transferaantal op die luchthaven te kalibreren.

- Door het aanbrengen van schaalfactoren komen de LTO-emissies precies met de waargenomen waardes uit de handhavingsrapportage van Schiphol overeen.

In de afgelopen actualisaties van AEOLUS is veel aandacht gegeven aan het verbeteren van de modellering van het keuzegedrag van passagiers. Bij deze actualisaties is de modellering van luchtvracht niet aangepast. Alleen de hoeveelheid luchtvracht en het aantal vrachtvliegtuigen zijn tijdens basisjaaractualisaties op de waargenomen aantallen gecorrigeerd.

In de huidige actualisatie is de modellering van de luchtvracht wel herzien. Hiervoor hebben we een literatuuranalyse uitgevoerd, luchtvaartdata uit het basisjaar en de afgelopen decennia geanalyseerd en expert interviews gevoerd met vertegenwoordigers van Air Cargo Netherlands, KLM en Schiphol Group. Op basis van deze informatie is de methodiek van de vrachtmodellering herzien en zijn nieuwe aannames voor de scenario's Hoog en Laag geformuleerd. In dit hoofdstuk worden de nieuwe inzichten en de wijzigingen in de vrachtmodellering in AEOLUS toegelicht. De resultaten worden in HOOFDSTUK 9 gepresenteerd.

6.1 **Literatuurstudie, data analyse en expert interviews**

6.1.1 **Literatuurstudie elasticiteiten**

In de vrachtmodellering van AEOLUS wordt voor de ontwikkeling van de luchtvracht gebruik gemaakt van twee elasticiteiten: de handselasticiteit en de kostenelasticiteit. De handselasticiteit beschrijft hoe sterk de vraag naar luchtvaart stijgt bij een verandering van de internationale handel. Voor de ontwikkeling van de internationale handel zijn in de WLO-scenario's aannames geformuleerd. Deze zijn te vinden in <https://www.wlo2015.nl/wp-content/uploads/pbl-2016-wlo-achtergronddocument-mobiliteit-luchtvaart-2373.pdf>. De waarde van de handselasticiteit tot nu toe was 0,5.

De tweede elasticiteit, beschrijft hoe snel de luchtvracht bij schaarste op een luchthaven verdwijnt. Omdat in AEOLUS geen keuzemodel voor luchtvracht bestaat, beschrijft deze elasticiteit een combinatie van uitwijken naar andere luchthavens en dempen van de hoeveelheid luchtvracht. Tot nu toe wordt voor de kostenelasticiteit (beter gezegd: schaarste-elasticiteit) een elasticiteit van -5,0 gehanteerd. Voor de literatuuranalyse zijn volgende bronnen bestudeerd:

- Van Riet et al. (2007), Drivers for freight transport demand and their policy implications, Building blocks for sustainable transport, Chapter 5, pp. 73-102

- Kasarde and Green (2005), Air cargo as an economic development engine: a note on opportunities and constraints, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 11, No. 6, pp. 459-462
- IATA (2018), Forecasting air freight demand, International Air Transport Association, IATA Economics
- European Commission (2017), Annual analyses of the EU air transport market 2016, Report of the European Commission
- Kuljanin et al. (2015), An overview of European air cargo transport: the key drivers and limitations, presented at the 2nd Logistics International Conference, Serbia, 2015
- Lo et al. (2015), Empirical estimation of price and income elasticities of air cargo demand: the case of Hong Kong
- Chi and Baek (2013), Dynamic relationship between air transport demand and economic growth in the United States: a new look, *Transport Policy*, Vol. 29, pp. 257-260

De resultaten van de literatuuranalyse worden nu beknopt samengevat.

Handselasticiteit

In de literatuur worden elasticiteiten ten opzichte van de GDP-ontwikkeling en ten opzichte van handelontwikkeling met het buitenland beschreven. Omdat de handel meestal sterker groeit dan het GDP zijn handselasticiteiten in het algemeen lager dan GDP-elasticiteiten. Bovendien zal een elasticiteit op tonkilometers in het algemeen groter zijn dan de elasticiteit in ton.

Op basis van Van Riet et al. (2007) ligt de GDP-elasticiteit van vrachtvervoer in tonkilometers in ontwikkelde landen iets onder de 1 (met uitzondering van West-Europa) en in ontwikkelingslanden iets boven 1. Vrachtluchtvaart is echter gevoeliger voor veranderingen in het GDP dan andere vervoerwijzen. Dit wordt ondersteund door Kasarda en Green (2005); zij presenteren cijfers van de Wereldbank waaruit blijkt dat de handel tussen 1980 en 2000 wereldwijd met 132% is gestegen, terwijl de vrachtluchtvaart met 302% toenam. Dit suggereert een handselasticiteit van 2,3. Hierbij moet rekening gehouden worden dat de sterke groei van de vrachtluchtvaart in deze periode ook grotendeels het gevolg is geweest van kostenverminderingen en een toename van het belang van snelle levering. Voor vrachtluchtvaart binnen de VS wordt voor de periode tussen 1992 en 2002 een elasticiteit van 1,46 gerapporteerd. Hierbij is als maat voor de hoeveelheid vracht de vervoerde waarde gebruikt.

In IATA (2018) zijn het GDP, de handel en de hoeveelheid vrachtluchtvaart in tonkilometers geanalyseerd voor de periode 2012-2017. Op basis hiervan kan een handselasticiteit van 1,52 afgeleid worden. Daarnaast is een voorspelling gedaan voor de periode 2017-2022. Het verschil in de voorspelde groei van de vrachtluchtvaart en de wereldhandel is voor deze periode een factor 1,25. Een rapport van de Europese Commissie (2017) laat cijfers zien waaruit blijkt dat tussen 2007 en 2015 de groei in wereldhandel en de vrachtluchtvaart ongeveer gelijk opgaan; dit suggereert een handselasticiteit van rond de 1. Tegelijkertijd wordt er wel op gewezen dat de handel in dure en tijdsgevoelige goederen waarschijnlijk sneller zal toenemen. Kuljanin et al. (2015)

vinden op basis van een regressieanalyse voor de periode 2004-2013 een handelselecticiteit (in tonkilometers) van 1,14 voor luchtvracht in Europa.

Kostenelasticiteit

Over de kostenelasticiteit van vrachtluchtvaart is er weinig te vinden in de literatuur. De bronnen die wel te vinden zijn worden genoemd in Lo et al. (2015), zie onderstaande tabel. Lo et al. (2015) zelf rapporteert kostenelasticiteiten in de bandbreedte van -0,81 tot -0,36 (voor 2008) en van -1,48 tot -0,94 (na 2008) voor HongKong. De grootste elasticiteit komt uit Chi en Baek (2012) voor binnenlandse vrachtluchten in de VS. Deze hoge waarde is waarschijnlijk te verklaren door het grote aantal luchthavens (en dus door het grote aantal uitwijkmogelijkheden) in de VS.

Demand elasticities for air cargo transport.

	Price elasticity	Income elasticity	Market	Study period
Wang et al. (1981)	-2.50 to -0.84	1.35 to 2.74	US domestic	1950-1977 annual data
Talley and Schwarz-Miller (1988)	-1.32	-	US domestic	1983 cross sectional data
Oum et al. (1990) ^a	-1.60 to -0.82	-	-	-
Jiang et al. (2003)	-	1.54	Markets served by Chinese carriers	1990-2002 annual data
Hwang and Shiao (2011)	-0.26 to -0.21	-0.22	36 international routes of Taiwan	2004-2007 annual data
Chi and Baek (2012b)	-5.60 (long-run)	9.35 (long-run)	US domestic	1996-2010 quarterly data
Yao and Yang (2012)	-	0.77 (short-run); 1.12 (long-run)	31 provinces in China	1995-2006 annual data

^a Oum et al. (1990) provides a range of price elasticity of aggregated air cargo demand by conducting a literature survey including studies conducted by Talley and Schwarz-Miller (1988) and Wang et al. (1981).

6.1.2 Expertinterviews

Tijdens het project zijn drie expertinterviews gevoerd:

- Air Cargo Netherlands (Ben Radstaak)
- Schiphol Group (Wendeline Candel-Vergroesen, Ferry van der Ent, Thijs van Hittersum, Berend Onnes)
- KLM (Pieter Cornelisse, Marcel Mazereeuw, Marcel de Nooijer, Wico Santbulte)

De belangrijkste inzichten uit deze interviews zijn dat de aanpak van de modellering van luchtvracht in AEOLUS in hoofdlijnen logisch zijn, maar een duidelijke versimpeling van de werkelijkheid zijn. In alle drie gesprekken werd genoemd dat luchtvracht veel gedetailleerder gemodelleerd zou moeten worden met onder anderen een onderscheiding naar verschillende soorten luchtvracht. Voor de handelselecticiteit en de kostenelasticiteit konden de experts geen precieze inschattingen geven, maar er werd wel bevestigd dat de kostengevoeligheid van luchtvracht extreem hoog is en dat makkelijk gebruik gemaakt wordt van concurrerende luchthavens in Europa als luchtvracht via deze goedkoper vervoerd kan worden (hoge negatieve kostenelasticiteit). Ook wordt verwacht dat de vraag naar luchtvracht verder gaat groeien, maar er worden ook bedreigingen genoemd die ervoor kunnen zorgen, dat de handelselecticiteit in de toekomst gaat dalen (bijvoorbeeld het wegvallen van een deel van het bloemenstroom naar Nederland door een digitale bloemenveiling). Bij de handelselecticiteit wordt een waarde van rond 1 als realistisch gezien.

Wanneer beladingsgraden op basis van gewicht worden gebruikt (dus: gewicht vracht gedeeld door maximaal gewicht vracht) dan lijkt het alsof zowel belly's als full freighters

vaak relatief leeg rondvliegen. De schijnbaar relatief lage beladingsgraden van ongeveer 60% zijn echter vaak te verklaren door beperkingen van het volume. Daarnaast zijn er ook beperkingen op het gebied van de verdeling van de massa in een vliegtuig, afmetingen van de luchtvracht en de vraag op een bepaald moment.

Momenteel wordt op Schiphol ongeveer 40% van de vracht in belly's en 60% in full freighters vervoerd. Hoe dit percentage in de toekomst gaat ontwikkelen is heel onzeker. Eén van de experts verwacht dat deze verhouding in de toekomst richting de belly gaat verschuiven en noemt voor 2050 een verhouding van 2/3 belly-vervoer als realistisch. Een andere partij noemt het belang van de full-freighters voor het hele luchtvrachtsysteem op Schiphol en denkt dat full-freighters ook in de toekomst heel belangrijk zijn en hun aandeel constant blijft of ligt gaat afnemen. Met deze inschatting houden we rekening door de beladingsgraden van belly's tot 2050 iets sterker te laten stijgen dan die van full freighters.

Een ander punt dat genoemd werd, is dat bij schaarste het mechanisme van de vraagreductie via schaarstekosten geen rekening houdt met de regels rond slotallocatie op Schiphol. De "grandfathering regel" betekent dat luchtvaartmaatschappijen hun slots mogen houden als deze voldoende gebruikt worden. Als in AEOLUS (tot deze aanpassing) schaarste optreedt, werd het aantal full-freighters (ook op korte termijn) door de hoge kostenelasticiteit voor vracht duidelijk sterker gereduceerd dan het aantal passagierstoestellen. De in AEOLUS vooronderstelde marktwerking wordt als niet realistisch gezien, omdat de slots door de schaarste niet duurder mogen worden. In GAMS, de software van het AEOLUS model is het niet mogelijk de "grandfathering regel" te modelleren. Desondanks is in de aangepaste vrachtmodellering een nieuw mechanisme ingebouwd, waardoor rekening gehouden kan worden met deze regel.

6.1.3 Data analyse

Uit de literatuuranalyse en de expertinterviews kan geconcludeerd worden dat een handselasticiteit van 0,5 heel laag is en dat verwacht wordt dat deze in de orde van 1 of net boven 1 zou moeten liggen. Daarom zijn doorrekeningen met AEOLUS uitgevoerd om de effecten van een aanpassing van de handselasticiteit voor luchtvracht van 0,5 naar 1,1 te testen. De resultaten van de doorrekeningen worden in Tabel 22 met de prognoses van Boeing en Airbus en de werkelijkheid vergeleken. Bij een handselasticiteit van 1,1 groeit de vraag naar luchtvracht op Schiphol per jaar tussen 6,4% en 7,2%, bij een handselasticiteit van 0,5 is de groei tussen 2,9% en 3,3%. De groeifactoren bij een handselasticiteit van 0,5 zijn veel beter in lijn met de prognoses van Boeing en Airbus en de ontwikkeling tussen 2005 en 2015. Uit deze vergelijking kan geconcludeerd worden dat een handselasticiteit 1,1 in AEOLUS leidt tot een onrealistische sterke groei in de vraag naar luchtvracht. Dit verschil tussen de literatuurelasticiteit van ca. 1,1 en de AEOLUS elasticiteit van 0,5 kan verklaard worden door effecten die de vraag naar luchtvracht remmen en die niet worden gemodelleerd in AEOLUS, bijvoorbeeld prijsverhogingen voor luchtvracht.

Tabel 22: Vergelijking van de vraagontwikkeling (jaarlijkse groei) voor luchtvracht in AEOLUS afhankelijk van de handel弹asticiteit met de prognoses van Boeing en Airbus en de werkelijke ontwikkeling in de afgelopen 10 jaar.

	Ontwikkeling 2005–2015	Boeing forecast 2015–2035	Airbus forecast 2017–2037	AEOLUS 2017 - 2030 (Laag, elast = 1,1)	AEOLUS 2017 - 2030 (Hoog, elast = 1,1)	AEOLUS 2017 - 2030 (Laag, elast = 0,5)	AEOLUS 2017 - 2030 (Hoog, elast = 0,5)
World	2,0%	4,2%					
Intra-Europe	1,6%	2,2%	2,3%				
West Europa				6,0%	6,2%	2,7%	2,8%
Oost-Europa				6,2%	6,8%	2,8%	3,1%
Europe - CIS			2,5%				
Europe - Middle East	3,6%	3,9%	3,2%	6,3%	6,4%	2,9%	2,9%
Europe - Asia	2,1%	4,6%		7,3%	8,5%	3,3%	3,8%
Europe - South Asia	3,5%	5,0%					
Europe - Advanced Asia			2,6%				
Europe - Emerging Asia			4,5%				
Europe - PRC			3,7%				
Europe - Indian Subcontinent			5,3%				
Europe - Japan			0,9%				
Europe - Pacific			1,9%				
Europe - North America	0,4%	2,4%	3,0%	5,4%	6,3%	2,4%	2,9%
Europe - Latin America	3,3%	3,8%		5,9%	6,4%	2,7%	2,9%
Europe - South America			2,5%				
Europe - Central America			1,4%				
Europe - Africa	0,4%	3,8%	3,9%	6,8%	7,0%	3,1%	3,2%
Schiphol totaal				6,4%	7,2%	2,9%	3,3%

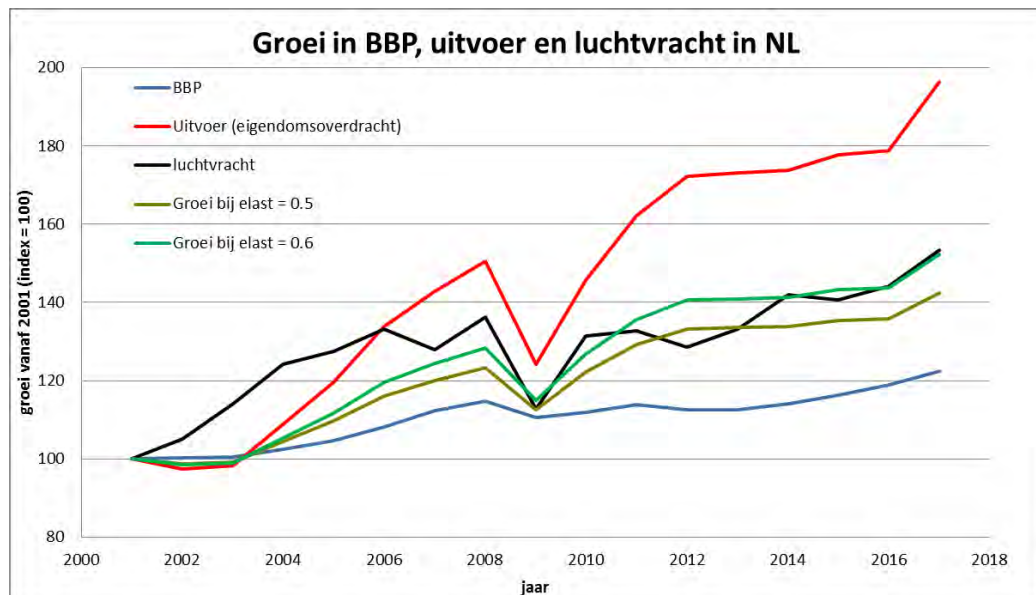
Hierboven zijn de effecten van verschillende handel弹asticiteiten op de AEOLUS prognoses vergeleken met de prognoses van Boeing en Airbus. Maar het is ook mogelijk de data over luchtvrachtontwikkeling en handelontwikkeling uit het verleden te analyseren. In AEOLUS wordt de vraagontwikkeling gemodelleerd door het toepassen van de handel弹asticiteit op de handelsgroei (afgeleid uit de verwachting van de ontwikkeling voor de export, zie WLO achtergronddocument goederenvervoer⁴⁷).

Vanaf 2001 publiceert het CBS de data voor de BBP-, uitvoer- en luchtvrachtontwikkeling (zie Figuur 11). Het is duidelijk te zien dat de uitvoer vanuit Nederland (met eigendomsoverdracht) duidelijk sneller stijgt dan de BBP en dat de percentuele groei van de luchtvracht zich gemiddeld bevindt tussen de groeipercentages van de BBP en de handel. Uit deze analyse blijkt dat een elasticiteit van 1 op de handelsgroei (zonder een

⁴⁷<https://www.wlo2015.nl/wp-content/uploads/pbl-2016-wlo-achtergronddocument-mobiliteit-goederenvervoer-en-zeehavens-1774.pdf>

remmende factor) leidt tot een onrealistisch hoge groei. In Figuur 11 zijn twee hypothetische groeicurves voor de luchtvracht ingetekend die bij een elasticiteit van 0,5 en 0,6 horen. De groei van 0,6 beschrijft het beste de gemiddelde groei tussen 2001 en 2017. Uit deze analyse kan geconcludeerd worden dat het hanteren van een handelselecticiteit van 1 of hoger tot een onrealistisch hoge luchtvrachtgroei zou leiden. Uit deze analyse kan echter niet de waarde van de elasticiteit berekend worden, omdat de handelsgroei in Figuur 11 ook de handel met Europa inhoudt (en deze wordt bijna nooit als luchtvracht vervoerd) en omdat de elasticiteit afhangt van de periode waarover hij wordt berekend.

Figuur 11: Ontwikkeling van de BBP, de uitvoer en de luchtvracht in Nederland (bron: CBS).



De literatuuranalyse en de expertinterviews gaven aanleiding te denken dat de handelselecticiteit rond 1 zou moeten liggen. In de vergelijking met de Boeing en Airbus prognoses en de analyse van de CBS data zagen we dat de elasticiteit beter 0,5 kan zijn. Een elasticiteit van 1 zou leiden tot een onrealistisch hoge groei van de vraag naar luchtvracht. Dus we concluderen dat een handelselecticiteit van 0,5 (zoals deze tot nu toe in AEOLUS) is geïmplementeerd plausibel is. Daarom wordt deze in de nieuwe versie overgenomen.

6.2 Aangepaste vrachtmodellering

Deze paragraaf beschrijft de verbeteringen in de vrachtmodellering.

6.2.1 Actuele import- en exportstromen

Als eerste stap is een verouderde tabel voor de wereldwijde import- en exportstromen vervangen door geobserveerde luchtvrachtstromen (bron: Eurostat) tussen Europa en de andere werelddelen in 2017. In deze data worden de import- en exportstromen apart weergegeven, waardoor in de modellering rekening gehouden kan worden met de asymmetrie in deze stromen. In de voorgaande versies werd dit onderscheid niet gemaakt. Tabel 23 geeft het overzicht van de luchtvrachtstromen in het basisjaar.

Tabel 23: Overzicht van de wereldwijde luchtvrachtstromen van en naar Europa in het basisjaar 2017.

Werelddeel	Import (ton)	Export (ton)
W-Europa	2.517.667	2.524.383
O-Europa	818.825	680.012
N-Amerika	1.418.099	2.002.744
L-Amerika	312.503	403.300
Afrika	497.700	442.219
M-Oosten	1.053.423	1.167.417
Ver-Oosten	1.449.622	1.554.690

Voor toekomstjaren ontwikkelen deze stromen met de handelontwikkeling en de bijhorende elasticiteit. Bij de handelontwikkeling wordt het gemiddelde berekend tussen de zone W-Europa en de individuele werelddelen om de handelontwikkeling tussen werelddelen te berekenen. Met deze groeifactoren worden zowel de import- als de exportstromen vermenigvuldigd. De asymmetrie in de stromen uit het basisjaar blijft door deze aanpak behouden.

6.2.2 Luchthaven Maastricht

Tot nu toe werd in AEOLUS de luchtvracht berekend voor de luchthavens van Amsterdam, Frankfurt en Parijs. Van het luchtvrachtvervoer in Nederland wordt ongeveer 95% van de vracht via Schiphol verzonden en 5% via Maastricht. Voor de luchthaven van Maastricht is het vrachtvervoer een substantieel aandeel aan het totaal aantal vliegbewegingen. Om realistische prognoses voor de luchtvracht in Nederland en voor de vliegbewegingen voor Maastricht airport op te stellen, is het belangrijk ook de luchtvracht voor Maastricht te modelleren. Daarom is de luchthaven van Maastricht toegevoegd bij de vrachtluchthavens. Alle berekeningen worden op dezelfde manier uitgevoerd als voor de andere drie vrachtluchthavens.

Een toevoegen van andere belangrijke Europese vrachtluchthavens zoals Luik of Leipzig is in AEOLUS niet noodzakelijk. Bij luchtvracht wordt in tegenstelling tot de modellering van passagiers, de ontwikkeling niet met behulp van discrete keuzemodellen gemodelleerd. In de gebruikte methodiek is het daarom ook niet van belang om expliciet rekening te houden met concurrentie van andere luchthavens.

6.2.3 Verdeling van luchtvracht over luchthavens

In het basisjaar is per wereldregio en vervoersrichting (import en export) bepaald welk marktaandeel ieder van de vier luchthavens heeft. Door het toepassen van deze marktaandelen reproduceert AEOLUS in het basisjaar de waargenomen luchtvrachtstromen per luchthaven. Voor de toekomst kunnen per periode van tien jaar groei of krimpfactoren ingesteld worden die dit marktaandeel per werelddeel en per vervoersrichting verhogen of verlagen. Bij deze factoren gaan het om het bepalen van de totale vraag naar luchtvracht. Wanneer de vraag (passagiers en luchtvracht) groter is dan de capaciteit op een luchthaven, dan worden schaarstekosten berekend, die ervoor zorgen dat de vraag naar luchtvracht en passagiers gereduceerd wordt tot het niveau waar vraag en aanbod in evenwicht zijn.

6.2.4 **Verdeling van luchtvracht over belly's van passagierstoestellen en full freighters**

Bij de verdeling van luchtvracht tussen belly's van passagiersvliegtuigen en full freighters wordt in AEOLUS de aanname gemaakt dat eerst de belly's gevuld worden en pas daarnaar full freighters worden ingezet. Deze aanname hebben we in de expert interviews getoetst en deze is realistisch voor het luchtvrachtvervoer.

Low Cost Carriers vervoeren momenteel bijna geen vracht in de belly's van hun passagiersvluchten omdat de returntijden op de luchthavens te krap zijn voor het laden en lossen van luchtvracht. Om hiermee rekening te houden wordt in AEOLUS de beladingsgraad van belly's voor LCCs in het basisjaar op nul gezet.

Door de verbeteringen die zijn beschreven in secties 6.2.1 en 6.2.3 is het mogelijk de berekening van de verdeling over belly's en full freighters per luchthaven voor alle combinaties van wereldregio's en vervoersrichtingen te berekenen, in plaats van gemiddeld over alle vluchten van en naar een bepaalde luchthaven. Door dit verhoogde detailleringniveau worden de prognoses realistischer, omdat bijvoorbeeld de bellycapaciteit naar iedere wereldregio realistisch groeit met de passagiersontwikkeling op de betreffende routes en rekening gehouden kan worden met de verschillen in het basisjaar (gemiddelde beladingsgraad van belly's is voor Europese vluchten lager dan voor intercontinentale vluchten).

In het basisjaar zijn de aantallen vrachtluchten per luchthaven naar wereldregio gekalibreerd door het instellen van de beladingsgraden van belly's en full freighters. Dit zijn communicerende vaten, waarbij een te hoge beladingsgraad in één van de twee door een te lage beladingsgraad in het andere gecompenseerd wordt. We hebben geen data kunnen vinden om beide beladingsgraden per wereldregio volledig onafhankelijk van elkaar te kunnen kalibreren.

Voor de toekomstprognoses kunnen per periode van 10 jaar aannames gemaakt worden over de veranderingen in volgende parameters:

- BellyFreightLoadFacAlliance: verminderd vrachtvervoer in belly's bij bepaalde allianties. Momenteel is deze op 1 ingesteld voor FSCs en op 0 voor LCCs;
- BellyFreightLoadFac: aanpassing van de beladingsgraad van belly's in passagiersvliegtuigen per luchthaven en wereldregio;
- FreighterLoadFac: aanpassing van de beladingsgraad van full freighters per luchthaven en wereldregio.

Op deze manier kan rekening worden gehouden met potentiële veranderingen in de businessmodellen van LCCs (en FSCs) en kunnen efficiëntiewinsten zowel bij het bellyvervoer als bij de full freighters meegenomen worden. In de standaardinstelling voor beide scenario's wordt voorondersteld dat LCCs ook in toekomst geen luchtvracht vervoeren. Voor de groei van de beladingsgraden van full freighters en belly's van passagierstoestellen hebben de auteurs geen externe prognose kunnen vinden. Als beste inschatting wordt de volgende ontwikkeling voorondersteld voor de periode tussen 2020 en 2050:

Tabel 24: Aannames over de groei van de beladingsgraad in belly's en full freighters.

	Laag scenario	Hoog scenario
Full freighters	+3%	+6%
Belly's	+10%	+20%

Naast de veranderingen in de beladingsgraden kan de vervanging en uitbreiding van de vloot voor een verandering in de gemiddelde belading per vlucht zorgen. Het hiervoor geïmplementeerde mechanisme is in deze actualisatie niet gewijzigd.

6.2.5 Grandfathering regel voor vrachtslots

Een van de kritiekpunten op de eerdere versies van AEOLUS was, dat het model geen rekening houdt met de “grandfathering” regel voor slots op Schiphol. Deze regel betekent dat luchtvaartmaatschappijen hun slots behouden als ze deze in de afgelopen periode voldoende gebruikt hebben. Dat betekent dat ook bij schaarste geen volledige marktwerking om de slots ontstaat. In eerdere versies van AEOLUS werd deze voorondersteld⁴⁸. Door de hogere kostenelasticiteit van luchtvracht ten opzichte van passagiers, werden bewegingen van full freighters in AEOLUS bij schaarste sterker gereduceerd dan bewegingen van passagiersvluchten.

In deze versie is voor de gebruiker de mogelijkheid geïmplementeerd om een deel van de vrachtluchten in het basisjaar uit de marktwerking te halen. Het resulterende aantal vrachtluchten wordt dus bij schaarste niet gereduceerd, of in andere woorden de slots worden behouden. Het overblijvende aandeel van de vrachtluchten concurreert met de passagiersvluchten om de beschikbare slots. Door deze aanpassing aan het model kunnen vooral bij korte en middellange termijn doorrekeningen veel realistischer prognoses opgesteld worden⁴⁹.

Als default instellingen wordt aangenomen dat het aandeel vrachtslots op Schiphol, dat volgens de “grandfathering” regel wordt behouden tot 2020 constant bij 95% ligt en dan met 2% per jaar daalt. Dit aandeel wordt voorondersteld even groot te zijn op vliegbewegingen naar alle werelddelen. Voor de andere luchthavens wordt deze regel niet toegepast.

⁴⁸ In het ACCM model (het voorganger model van AEOLUS) bestond de mogelijkheid met de “grandfathering” regel of met het vrije verhandelen van slots te rekenen. Door de keuze het AEOLUS model in GAMS te ontwikkelen, was het niet mogelijk deze optie te behouden, omdat de GAMS-Software niet geschikt is om de grandfathering regel te modelleren.

⁴⁹Voor passagiersvluchten is het niet nodig om een grandfathering regel te implementeren. Het aantal passagiersvluchten is met 96% van alle vliegbewegingen zo veel groter dan het aantal full freighters dat de full freighters zouden kunnen verdubbelen bij een behoud van 95% van de passagiersslots.

Tabel 25: Standaardinstellingen voor de variabele "KeepFreighterSlots", waarmee ingesteld kan worden hoeveel procent van de vrachtslots uit het basisjaar in een bepaald zichtjaar volgens de "grandfathering" regel worden behouden.

luchthaven	Jaar	Laag scenario	Hoog scenario
AMS	2017 - 2020	95%	95%
AMS	2030	75%	75%
AMS	2050	35%	35%
MST, CDG, FRA	2017 - 2050	0%	0%

6.3 Kalibratie van het basisjaar

In eerdere versies werd alleen de totale hoeveelheid vracht en het aantal vrachtvliegtuigen op de luchthavens met vrachtvervoer gekalibreerd. Door de aanpassingen is dit niet meer voldoende en worden nu per luchthaven de vrachtstromen per wereldregio en hun verdeling over belly's en full freighters in het basisjaar ingesteld.

Door het berekenen van marktaandelen per luchthaven en wereldregio zijn de vrachtstromen naar wereldregio en luchthaven exact gekalibreerd. Het aantal vrachtvliegtuigen is een resultaat van de genoemde beladingsgraden. In Tabel 26 worden de verschillen tussen het model en de werkelijkheid getoond. De verschillen zijn gemiddeld 0,24% met een maximale afwijking van 0,67% voor de relatie Frankfurt – Latijns-Amerika. Deze resultaten zijn zeer goed.

Tabel 26: Afwijking van het aantal vrachtvliegtuigen per luchthaven en wereldregio tussen AEOLUS en de werkelijkheid.

	O-Europa	Afrika	M-Oosten	W-Europa	N-Amerika	L-Amerika	Ver-Oosten
AMS	-0,26%	-0,10%	0,45%	0,46%	-0,11%	-0,11%	0,01%
MST	-0,17%	0,55%	-0,04%	0,36%	-0,26%	-0,05%	-0,28%
FRA	0,18%	0,34%	-0,30%	-0,13%	-0,02%	0,67%	0,29%
CDG	0,46%	-0,17%	-0,40%	-0,09%	-0,12%	0,12%	0,18%

HOOFDSTUK 7 CO₂ berekeningen

In het kader van dit project is ook een update uitgevoerd van de module die de CO₂-uitstoot gedurende de vlucht berekent. SEO Economisch Onderzoek heeft op basis van BADA (Base of Aircraft Data, een database ontwikkeld door EUROCONTROL) een serie tabellen opgesteld waarbij per vliegtuigcategorie (conform de AEOLUS indeling) en per fase (stijgen, cruise, dalen) de CO₂-uitstoot per minuut wordt gegeven. Ook heeft SEO tabellen opgesteld waarbij voor elke route is aangegeven hoe lang elk van deze fases duurt.

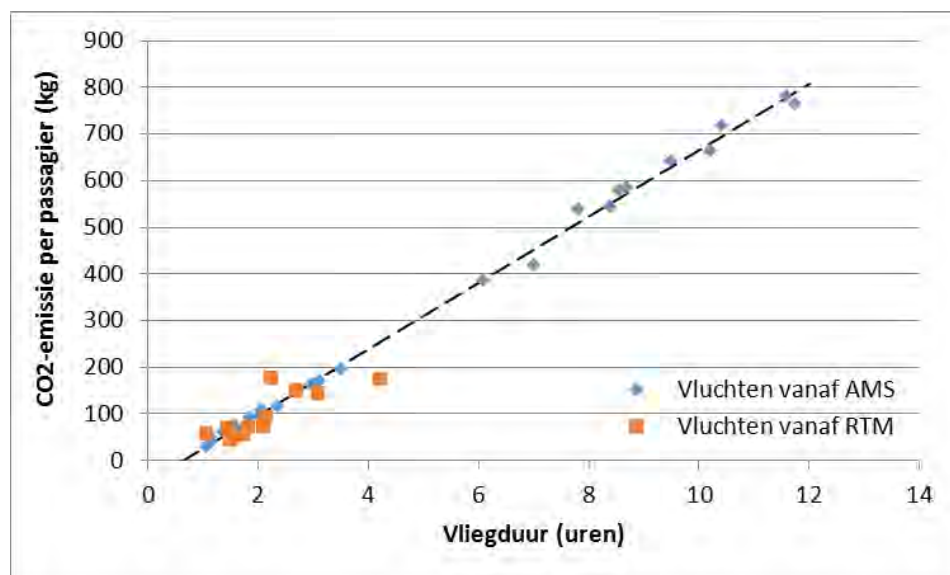
Met behulp van deze tabellen en de verdeling over vliegtuigcategorieën die AEOLUS berekent, kan de CO₂-uitstoot per vliegtuig (en per passagier) worden berekend. Echter, AEOLUS berekent alleen voor Nederlandse luchthavens de verdeling over vliegtuigcategorieën. Voor andere vliegvelden/zones worden alleen de passagiersaantallen berekend en niet de verdeling over vliegtuigcategorieën. Om toch een wereldwijde CO₂-uitstoot te kunnen bepalen is het nodig om een relatie te vinden tussen CO₂-uitstoot per passagiers en de vliegtijd. Voor directe vluchten vanaf Nederlandse luchthavens kunnen we met behulp van de nieuwe invoertabellen deze relatie afleiden voor 2017, 2030 en 2050. Figuur 12 laat deze relatie zien voor 2017.

Deze gegevens zijn gebruikt voor de berekening van de effecten van de vliegbelasting⁵⁰. AEOLUS berekent de wereldwijde⁵¹ uitstoot tijdens de cruise fase en het stijgen en dalen⁵².

⁵⁰ M. Kouwenhoven, S. Grebe, Effecten van een vliegbelasting op het vliegverkeer, Kwantitatieve doorrekening, rapport Significance (2018) Den Haag.

⁵¹ Strikt genomen berekent AEOLUS alleen de uitstoot tussen twee zones die voor Schiphol relevant zijn. Dat wil zeggen dat Schiphol van alle reizigers die tussen deze twee zones reizen een marktaandeel heeft van ten minste 0,5%. Vluchten tussen Zuid Amerika en Australië zitten bijvoorbeeld niet inbegrepen, en vluchten binnen Afrika evenmin.

⁵² AEOLUS berekent niet de uitstoot tijdens de LTO-fase.

Figuur 12: De relatie tussen CO₂ uitstoot per passagier en de vliegtijd voor 2017.

In een rapport van CE Delft en VU (2014)⁵³ is eerder de totale CO₂-uitstoot van passagiersvliegtuigbewegingen van en naar Nederland berekend voor 2010. Deze uitstoot bedraagt 6,7 Mton. Als dit cijfer wordt gecorrigeerd voor de toename van het aantal vluchten tussen 2010 en 2017 met ongeveer 30%, komt dit op 8,7 Mton in 2017. In de referentie voor het berekenen van de vliegbelastingen geeft AEOLUS een totale CO₂-uitstoot van 8,3 Mton in 2017. Als er rekening mee gehouden wordt dat de vloot iets schoner is geworden in deze jaren, laat deze vergelijking zien dat het totale niveau van de uitstoot dat AEOLUS berekent, plausibel is.

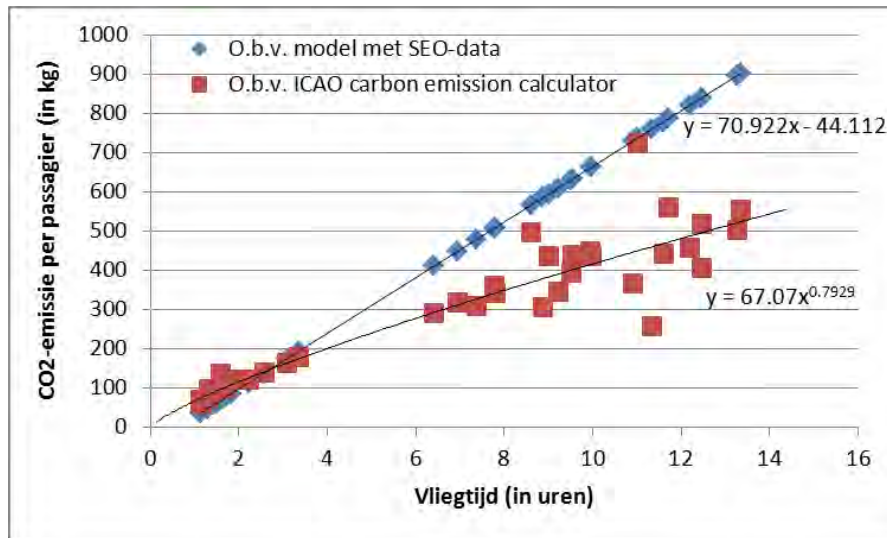
In het kader van een studie van het PBL van de effecten van het klimaatbeleid op luchtvaart⁵⁴ is een nadere analyse uitgevoerd van de CO₂-uitstoot. Hierbij is gekeken naar de relatie tussen uitstoot en afstand van een vlucht, zoals in de Figuur 1 is weergegeven. In de discussie bleek dat het gevonden lineaire verband tussen uitstoot en vliegduur niet ondersteund wordt door andere bronnen. Die bronnen zeggen dat de uitstoot op korte afstanden relatief groter is. Een van de bronnen hiervoor was de informatie uit de ICAO CO₂ Emissions Calculator⁵⁵. We hebben de bijbehorende App gedownload en voor een aantal routes de CO₂-uitstoot per passagier uitgerekend. Figuur 13 toont hiervan het resultaat. Op korte vluchten geeft de ICAO calculator een iets hogere uitstoot per passagier, op langere vluchten juist een lagere uitstoot.

⁵³ CE Delft en VU (2014), Externe en infrastructuurkosten, een overzicht voor Nederland in 2010.

⁵⁴ G.C.M. Uitbeijerse, H.D. Hilbers, Effects of international climate policy on aviations, ETC-proceedings (2018) Dublin, Ireland.

⁵⁵ <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>

Figuur 13: Vergelijking model met SEO data en o.b.v. ICAO carbon emission calculator.



Er zijn meerdere redenen waarom er verschillen zitten tussen beide bronnen. De AEOLUS-berekeningen (op basis van SEO-data) zijn geaggregeerd over verschillende vliegtuigtypes en gebruiken een gemiddelde vliegtuiggrootte en bezettingsgraad. Bovendien wordt de uitstoot per vliegtuig verdeeld over alle passagiers, maar wordt deze niet deels toegedeeld aan de vracht die mogelijk in hetzelfde vliegtuig zit. De ICAO calculator is veel specifieker voor een route / luchtvaartmaatschappij en deelt wel een deel van de uitstoot toe aan de vracht. Voor AEOLUS is de SEO-systematiek veel bruikbaar omdat deze ook gebruikt kan worden voor prognoses. De ICAO-berekeningen zijn alleen maar beschikbaar voor de huidige mix van ingezette vliegtuigen. Echter, de (afvlakkende) afstandsafhankelijkheid uit de ICAO-calculator wordt wel als plausibeler gezien, terwijl het totale niveau zoals berekend met de SEO-systematiek als beter wordt beschouwd.

Daarom is er in het kader van het PBL-project een andere CO₂-berekening gebruikt waarbij de afstandsafhankelijkheid van de ICAO-calculator wordt gebruikt, maar dat deze berekende uitstoot wel wordt opgehoogd tot hetzelfde niveau (in 2017) dat de SEO-berekening levert. Deze ophoging is uitgevoerd op basis van alle passagiers die van en naar Amsterdam vliegen.

Tabel 27 laat de totale CO₂-uitstoot volgens beide methoden zien van passagiers met Amsterdam als herkomst of eindbestemming. In het basisjaar is de totale uitstoot (zoals uit de methodiek volgt) hetzelfde. In de toekomstjaren 2030 en 2050 levert de PBL-rekenmethode een iets lagere uitstoot op.

Tabel 27: CO₂-uitstoot van alle passagiers met Amsterdam als herkomst of eindbestemming in het Hoog scenario voor beide rekenmethodes (Mton/jaar).

Scenario	Huidige AEOLUS rekenmethode	Rekenmethode zoals gebruikt in PBL-project	Relatief verschil
2017	10,5	10,5	-
2030	14,9	14,5	-2,4%
2050	19,1	18,2	-4,7%

We kunnen daarom concluderen dat de aangepaste CO₂-berekeningswijze zoals deze in de PBL-studie wordt gebruikt:

- in het basisjaar dezelfde CO₂-uitstoot berekent als de voorheen. Dit niveau is vergelijkbaar met het niveau dat uit andere studies volgt.
- in de prognosejaren ongeveer dezelfde CO₂-uitstoot berekent. Het verschil tussen beide methodes is slechts enkele procenten,

Beide berekeningsmethodes zijn dus vergelijkbaar, maar de PBL-methode heeft als voordeel dat afstandsafhankelijkheid beter klopt met andere bronnen (op korte vluchten wordt relatief meer CO₂ uitgestoten). Daarom is deze methode voor nu ingebouwd in de nieuwe versie van AEOLUS. Het is voorzien om bij de verdere doorontwikkeling van het AEOLUS model de berekening van de CO₂ nog gedetailleerder te analyseren en verder te verbeteren.

HOOFDSTUK 8 **Aangepaste aannames voor prognoses tot 2050**

De ontwikkeling van een snel veranderende sector zoals de luchtvaart over een periode van meer dan 30 jaar is heel onzeker. Een deel van deze onzekerheid wordt uitgedrukt door de verschillen tussen twee toekomstscenario's. In de WLO2015 zijn aannames voor de WLO scenario's Hoog en Laag tot 2050 gedefinieerd. Deze staan beschreven in het achtergronddocument mobiliteit luchtvaart⁵⁶. Door de aanpassingen in het model (in het bijzonder het meenemen van de limiet op het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour in plaats van de limiet op de TVG) is het nodig om enkele aannames nieuw te definiëren of te herzien. In dit hoofdstuk worden alleen die aannames beschreven, die afwijken van de WLO 2015.

Om de aannames en de resultaten van de geactualiseerde luchtvaartprognoses correct te interpreteren is het belangrijk om de werkwijze van het AEOLUS model te kennen. In HOOFDSTUK 1 wordt het model beknopt beschreven en wordt een overzicht gegeven voor welke toepassingen het model gebruikt kan worden.

8.1 **Aannames capaciteitsbeleid Schiphol**

De (herziene) aannames over het capaciteitsbeleid op Schiphol zijn:

- Jaarlijks limiet van 500.000 vliegbewegingen t/m 2020
- Jaarlijks limiet voor de periode 2021 t/m 2050 wordt berekend op basis van de 50/50 regel. De berekeningsmethode wordt beschreven in sectie 8.2.
- Met de vierde baan regel wordt verwacht dat er bijna geen groei mogelijk is van het aantal vliegtuigbewegingen op Schiphol. Prognoses met de vierde baan regel zouden daarom t/m 2050 in de scenario's Laag en Hoog niet duidelijk boven de grens van 500.000 vluchten uitkomen en heel sterk lijken op de gevoeligheidsruns met 500.000 vliegtuigbewegingen constant t/m 2050, die ook zijn uitgevoerd in dit onderzoek. Daarom is in de scenario's Laag en Hoog ervoor gekozen de vierde baanregel in de zichtjaren 2030 en 2050 modelmatig uit te schakelen. Over de hele periode wordt aangenomen dat nog steeds gevlogen wordt met 2+1

⁵⁶ <https://www.wlo2015.nl/wp-content/uploads/pbl-2016-wlo-achtergronddocument-mobiliteit-luchtvaart-2373.pdf>

baangebruik, maar is er geen beperking meer voor het aantal bewegingen op de vierde baan.

- Jaarlijks limiet van maximaal 32.000 vliegbewegingen in de nacht over de hele periode t/m 2050.
- Baancapaciteit bij 2+1 afhandelingssysteem:

Tot en met 2020 is deze:

	Aantal landingen per uur	Aantal starts per uur	Totaal
Landingspiek	68	38	106
Startpiek	36	74	110

Tot en met 2030 stijgt deze lineair tot:

	Aantal landingen per uur	Aantal starts per uur	Totaal
Landingspiek	74	40	114
Startpiek	36	78	114

Tot en met 2050 stijgt deze lineair tot:

	Aantal landingen per uur	Aantal starts per uur	Totaal
Landingspiek	86	40	126
Startpiek	40	86	126

- Opvulfactor piekpatroon
Door de afwisseling van start- en landingspieken kan de baancapaciteit niet continu tijdens een dagdeel worden vol gevlogen. De aanname voor de maximale “opvul”-factor wordt:

	Opvulfactor
2017 – 2030	95%
2031 – 2050	95%

- Aannames voor de ontwikkeling van hinderbeperkingen
 - Verhouding aantal vluchten per week tussen de zomer- en winterdienstregeling. Deze zijn nodig om realistische berekeningen van het geluid en het aantal bewegingen op de banen uit te voeren⁵⁷.
De aanname wordt:

⁵⁷ Aanpassing AEOLUS i.v.m. nieuwe normen en regels, Significance rapport (2017), Den Haag.

	Verhouding vluchten per week zomer/winter
2016	1,22
2020	1,16
2030	1,15
2050	1,15

met lineaire daling in de tussengelegen jaren.

- Variatie (= standaarddeviatie) van het aantal vluchten per dagdeel tussen dagen. Deze variabele beschrijft de waargenomen variatie in het aantal vluchten tussen de verschillende dagen van het seizoen.

Deze is nu:

		Ochtend	Middag	Avond	Nacht
Vertrek	Winter	13	20	18	5
Aankomst	Winter	13	19	18	5
Vertrek	Zomer	10	14	13	5
Aankomst	Zomer	10	14	12	5

De aanname is dat deze proportioneel zal groeien met het totaal aantal vluchten.

- Geluidsbijdrage per vliegtuigbeweging:
Verondersteld wordt dat de routes en de start- en landingsprocedures (inclusief CDA's) tot 2050 ongewijzigd blijven ten opzichte van de Concept MER (stand 2015), zodat de geluidsberekening per woning ongewijzigd blijft (uitgezonderd het effect van het stiller worden van vliegtuigen door vernieuwing van de vloot).

8.2 Berekening van de jaarlimieten voor Schiphol

Tot en met 2020 is voor Schiphol een limiet van 500.000 vliegbewegingen per jaar afgesproken. Deze limiet wordt ook in AEOLUS gehanteerd. Daarna worden de jaarlimieten met behulp van de 50/50-regel berekend. In deze paragraaf wordt de methode zoals ingebouwd in AEOLUS beschreven en worden de jaarlimieten voor de geactualiseerde luchtvaartprognoses gepresenteerd.

In AEOLUS wordt verondersteld dat het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour het meest knellende criterium van de gelijkwaardigheidscriteria is en daarom de groei het meeste beperkt. Om de groei ruimte te berekenen wordt de 50/50 toegepast op het aantal woningen. Met behulp van Tabel 28 wordt de berekening toegelicht.

Volgens de Concept MER (stand 2015) genereren de 500.000 vluchten in 2020 een zodanige hoeveelheid geluid dat 11.000 woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour vallen⁵⁸. Op deze waarde is AEOLUS in 2020 gekalibreerd. Echter is dat niet helemaal mogelijk omdat AEOLUS voor 2020 twee verschillende prognoses berekent (hoog en laag), die zich door verschillen in de macro-economische ontwikkeling en de technologische ontwikkeling van de vloot tussen 2017 en 2020 onderscheiden. Hierdoor berekent AEOLUS voor het hoge en lage scenario een ander aantal woningen dat hoort bij de 500.000 vliegbewegingen. Het gemiddelde van de twee is gekalibreerd op 11.000.

Om de capaciteitslimiet voor 2030 te berekenen is een serie testruns voor beide scenario's nodig. Ten eerste moet bepaald worden hoeveel vluchten in 2020 nodig zouden zijn om de 50/50 van alle wettelijk toegestane woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour te bereiken. De wettelijke limiet is thans vastgesteld op 13.600 woningen en dit is het 100%-punt. Het 0%-punt is het werkelijke aantal woningen binnen de contour in 2020, dus dit zijn de 11.000 woningen die in de Concept MER zijn berekend. De 50/50 op het aantal woningen correspondeert daarom met 12.300 woningen. Uit een testrun met AEOLUS blijkt dat dit aantal woningen in beide scenario's bereikt wordt bij ongeveer 540.000 vluchten. Dit zou de capaciteitslimiet zijn voor 2021, echter speciaal voor 2021 geldt een strengere limiet op basis van een aanname. Het wordt als niet realistisch gezien dat tussen 2020 en 2021 de limiet sterk stijgt.

In de volgende stap wordt voor beide scenario's berekend hoeveel woningen zich binnen de geluidscontour bevinden als de 540.00 vluchten de limiet zou zijn voor 2030. Dat zijn 10.324 woningen in het lage scenario en 9.718 woningen in het hoge scenario. Dat is het nieuwe "0%-punt". Het 100%-punt blijft liggen op de wettelijke limiet van 13.600. De helft van de geluidswinst over de periode 2020 t/m 2030 mag nu voor extra vliegbewegingen gebruikt worden. Dat betekent dat de 50/50-limiet op het aantal woningen in het lage scenario bij 11.312 woningen is (gemiddelde van 10.324 en 12.300) en in het hoge scenario bij 11.017 woningen is (gemiddelde van 9.718 en 12.300). Uit AEOLUS testruns blijkt dat hier 630.000 vluchten in het scenario Laag en 645.000 vluchten in het scenario Hoog bij horen. Het verschil tussen de twee scenario's komt door aangenomen verschillen op welk moment nieuwe technologieklassen van vliegtuigen beschikbaar komen (zie achtergronddocument WLO luchtvaart¹⁶) en het aandeel dat ze krijgen in de totale vloot door vlootvervanging en vlootuitbreiding. Door deze aannames zijn vliegtuigen in het scenario Hoog in 2030 gemiddeld stiller dan in het scenario Laag.

De limieten voor 2030 zijn:

⁵⁸ In 2018 zijn nieuwe berekeningen voor de Concept MER uitgevoerd, die leiden tot een ander aantal woningen. Met deze actualisatie is nog geen rekening gehouden in deze AEOLUS versie. De experts van To70, die de berekeningen hebben uitgevoerd, verwachten slechts kleine effecten op de AEOLUS doorrekeningen.

Tabel 28: Berekening van de jaarlimiet op Schiphol voor 2030 op basis van de 50/50 regel.

50/50 op aantal woningen				
Jaar	Scenario	Vluchten	Woningen	Toelichting
2017	HI & LO	498500	11009	gekalibreerd basisjaar
2020	LO	500000	10987	Concept MER
2020	HI	500000	11013	Concept MER
2020	LO	540000	12300	50% in 2020 (11000 en 13600 woningen)
2020	HI	540000	12300	50% in 2020 (11000 en 13600 woningen)
2030	LO	540000	10324	0%, bij limiet van 2020 toegepast in 2030
2030	HI	540000	9718	0%, bij limiet van 2020 toegepast in 2030
2030	LO	630000	11312	50% in 2030 (12300 en 10324 woningen)
2030	HI	645000	11017	50% in 2030 (12300 en 9718 woningen)

In 2050 zijn de limieten die op basis van de 50/50-regel gedefinieerd zouden worden in beide scenario's hoger dan de aangenomen baancapaciteit op Schiphol. Daarom is de baancapaciteit zowel het hoge als het lage scenario de meest knellende limiet in 2050. De limieten voor Schiphol worden samengevat in Tabel 29.

Tabel 29: Limieten op het aantal vliegbewegingen per jaar op Schiphol. In de tussenjaren van 2021 naar 2030 en 2030 naar 2050 wordt een lineaire groei voorondersteld.

Jaar	Laag scenario	Hoog scenario
2017 - 2020	500.000	500.000
2021	510.000	510.000
2030	630.000	645.000
2050	731.000	731.000

8.3 Aannames capaciteitsbeleid regionale luchthavens

Voor de regionale luchthavens zijn de aannames over de ontwikkeling van de capaciteit duidelijk eenvoudiger dan voor Schiphol. Voor deze luchthavens worden jaarlimieten aangenomen en voor Lelystad zijn additionele aannames gemaakt over de uitplaatsing van vluchten vanaf Schiphol. Voor 2030 wordt uitgegaan van 10% ontwikkelruimte binnen de geluidsnormen als gevolg van stillere vliegtuigen. Hiermee wordt niet vooruitgelopen op toekomstige besluiten. De ontwikkeling van de regionale luchthavens wordt gezien in de Luchtvaartnota en specifiek voor Eindhoven Airport in de Proefcasus Eindhoven. Op basis van deze trajecten zal besluitvorming volgen over de toekomst van de luchthavens, waarbij naar alle relevante aspecten (economie, milieu, draagvlak etc) wordt gekeken. Over de ontwikkeling van luchthaven Lelystad zijn reeds afspraken gemaakt die in de prognoses worden gehanteerd.

- Lelystad: Opening in 2020 met 4000 vluchten. In 2021 groeit het aantal vluchten tot 7000. Tot 2030 worden per jaar vluchten van AMS naar LEY uitgeplaatst. In het scenario Hoog zijn dat in totaal 45.000 en in het scenario Laag 25.000.
- In het groeiscenario Hoog zijn in 2030 voor Eindhoven en Rotterdam hogere capaciteitslimieten gesteld. Vanwege de verwachte hoge economische ontwikkeling in 2030 van de regio's rond Eindhoven en Rotterdam is verondersteld dat op die luchthavens meer vraag kan worden geacommodeerd dan in het lage scenario.
- Limiet op aantal vliegbewegingen per jaar volgens Tabel 30.

Tabel 30: Capaciteitsplafonds per luchthaven voor de zichtjaren 2030 en 2050 voor de scenario's hoog en laag.

	Laag-2030	Hoog-2030	Laag-2050	Hoog-2050
Eindhoven	47.300	70.000	Geen limiet	Geen limiet
Lelystad	25.000	45.000	25.000	45.000
Rotterdam	22.000	25.000	Geen limiet	Geen limiet
Maastricht	17.500	17.500	Geen limiet	Geen limiet
Groningen	17.500	17.500	Geen limiet	Geen limiet

8.4 Overige aangepaste aannames

De bevolkingsgroei, de ontwikkeling van de inkomens, de groei van de wereldhandel en de verandering in de ticketprijzen zijn de belangrijkste aandrijvende krachten voor de ontwikkeling van de vraag naar luchtvaart. In de WLO-studie uit 2015 zijn er aannames gedaan hoe deze grootheden zich ontwikkelen tot 2030 en 2050 (zie het eerder genoemde achtergronddocument over mobiliteit luchtvaart). Het doel van de nu uitgevoerde studie was niet om het scenario voor 2030 en 2050 aan te passen (behalve als dat nodig was gezien nieuwe regelgeving), maar alleen om deze prognose te maken vanuit een nieuw basisjaar.

Omdat deze variabelen in de vorm van jaarlijkse groeicijfers in AEOLUS worden gebruikt, moet deze invoer wel aangepast worden. Immers, de bevolking, de wereldhandel en de inkomens zijn tussen 2013 en 2017 ook veranderd en deze ontwikkeling was niet altijd conform de verwachting van de WLO. Als de groeicijfers in AEOLUS niet aangepast zouden worden, zouden we op andere niveaus voor de bevolking etc. uitkomen in 2030 en dat is niet de bedoeling. Daarom zijn deze groeicijfers aangepast.

Echter, de ontwikkeling van de ticketprijzen is op een iets andere wijze behandeld. Immers, de olieprijs is tussen 2013 en 2017 met ongeveer 40% gedaald. Echter, dit zien we niet terug in lagere ticketprijzen. De WLO neemt echter wel aan dat een wijziging in de olieprijs doorberekend wordt in de ticketprijs. Daarom is aangenomen dat de daling van de olieprijs tussen 2013 en 2017 slechts voor de helft al is doorberekend en dat in de komende periode de andere helft nog zal worden doorberekend (evenals de effecten van een verdere daling of juist groei van de olieprijs, conform de WLO-aannames voor 2030).

HOOFDSTUK 9 **Geactualiseerde luchtvaartprognoses tot 2050**

In dit hoofdstuk worden geactualiseerde luchtvaartprognoses voor de WLO scenario's hoog en laag t/m 2050 beschreven. Dit gebeurt aan de hand van de volgende variabelen:

- Aantal passagiers (OD, transfer, totaal) op Schiphol;
- Aantal passagiers op de regionale luchthavens Eindhoven, Rotterdam, Groningen, Maastricht en Lelystad;
- Hoeveelheid luchtvracht op Schiphol en op de luchthaven Maastricht;
- Aantal vliegbewegingen (passagierstoestellen en full freighters) voor alle Nederlandse luchthavens.

Gepresenteerd worden de ongerestricteerde doorrekeningen, die de vraag naar luchtvaart beschrijven, en de gerestricteerde berekeningen, die laten zien wat binnen capaciteitslimieten gerealiseerd kan worden. De geactualiseerde prognoses worden vergeleken met de gepubliceerde WLO-prognoses uit 2015. Het uitgangspunt van de prognoses was toen het jaar 2013 en is nu 2017. De zichtjaren van zowel de WLO prognoses uit 2015 als de geactualiseerde luchtvaartprognoses zijn de jaren 2030 en 2050.

We beginnen met een beschrijving van de resultaten van de ongerestricteerde berekeningen (sectie 9.1) en laten in een tweede stap de gerestricteerde berekeningen zien (secties 9.2 en 9.3). Een samenvatting van de belangrijkste resultaten voor 2017, 2030 en 2050 in vorm van overzichtstabellen wordt gepresenteerd in 9.4.

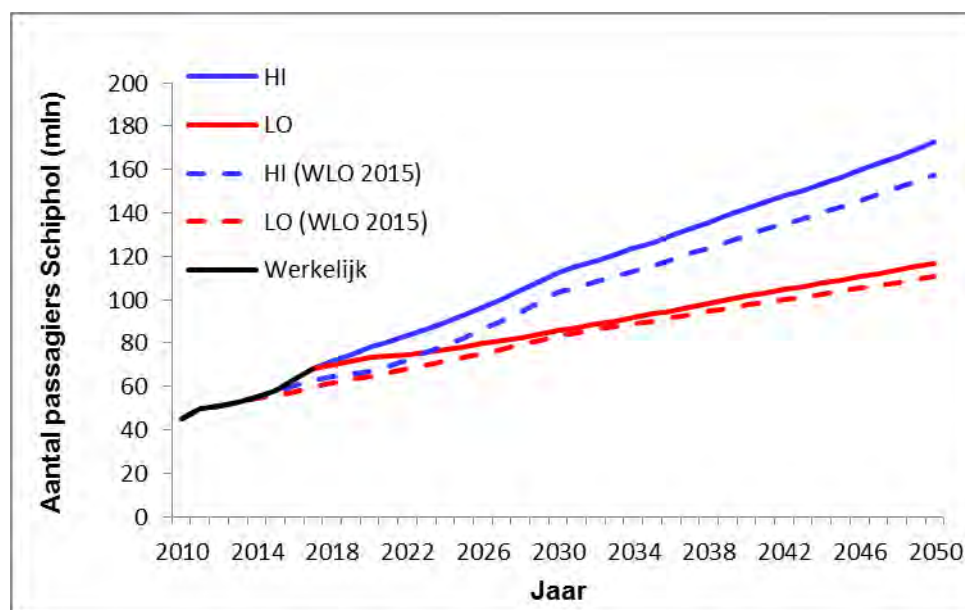
9.1 **Vraag naar luchtvaart in Nederland in 2030 en 2050**

9.1.1 **Passagiers**

In 2017 verwerkte Schiphol 69 miljoen passagiers. In het scenario Laag (LO) neemt de vervoersvraag vanaf Schiphol toe naar 89 miljoen passagiers in 2030 en 121 miljoen in 2050. In het scenario Hoog (HI) stijgt de vraag in 2030 naar 120 miljoen en in 2050 naar 181 miljoen passagiers. Dit komt neer op een gemiddelde jaarlijkse groei van 1,6% tot 2030 en 1,5% tussen 2030 en 2050 voor het scenario Laag. Voor het scenario Hoog is de gemiddelde groei tot 2030 3,4% en daarna 2,1%. Voor Schiphol ontwikkelt de vraag in lijn met de prognoses uit 2015 (zie Figuur 14). Door de sterke groei in de afgelopen jaren van 55 miljoen passagiers in 2014 naar 68 miljoen in 2017 is het startpunt van de geactualiseerde luchtvaartprognoses in 2017 hoger dan de prognoses uit 2015 voor

hetzelfde jaar. Het hogere aantal passagiers in het basisjaar vertaalt zich naar een hogere vraag in de zichtjaren.

Figuur 14: Vraag naar personenvervoer via Schiphol.



9.1.2 Vracht

De vraag naar luchtvracht groeit van 1,8 miljoen ton naar 3,4 miljoen ton in het scenario Laag en 3,9 miljoen ton in het scenario Hoog in 2050, zie Figuur 15. De groei is duidelijk lager dan in de prognoses van 2015. Deze waren heel hoog door een niet correct gekalibreerde ontwikkeling van transfervracht op Schiphol. Tijdens een aantal modelactualisaties in het verleden is alleen de totale hoeveelheid luchtvracht in het basisjaar gekalibreerd maar niet de individuele componenten. Hierdoor zijn bepaalde componenten in het basisjaar maar ook in de zichtjaren veel te groot geworden en andere veel te klein, met het uiteindelijke effect dat de prognose van de totale hoeveelheid luchtvracht onrealistisch werd. In deze modelactualisatie is de hele vrachtmodule opnieuw ontwikkeld en is het probleem verholpen.

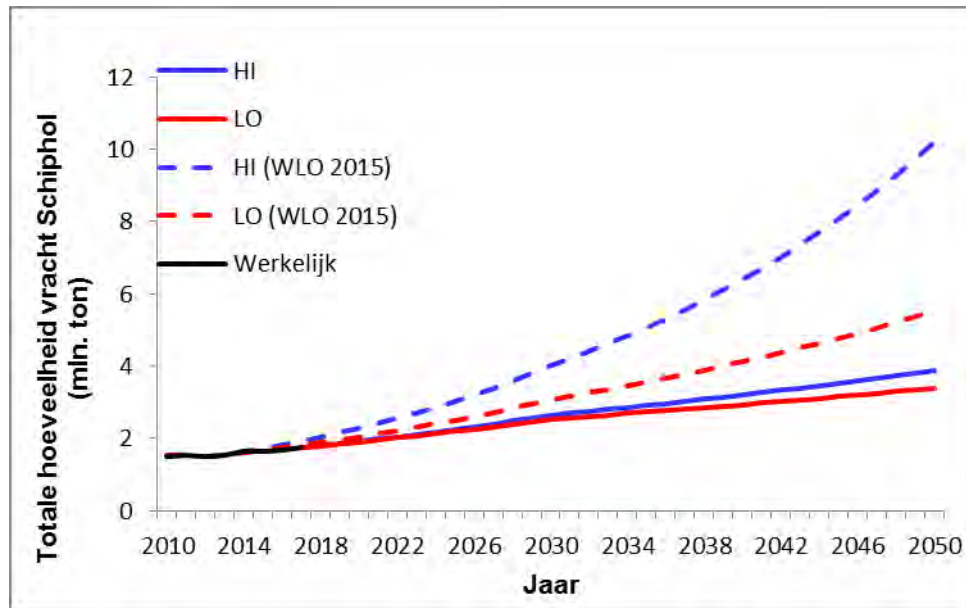
Tabel 31: Groei in de vraag naar luchtvracht in het hoge scenario voor de vrachtluchthavens in AEOLUS.

		AMS	FRA	CDG	MST
WLO 2015	2017-2030	129%	45%	29%	
	2030-2050	482%	103%	81%	
Geactualiseerde luchtvaartprognoses	2017-2030	51%	48%	51%	48%
	2030-2050	123%	116%	121%	114%

In Tabel 31 worden de groeipercentages voor de vrachtluchthavens uit de AEOLUS versies voor en na de vrachtactualisatie met elkaar vergeleken. Voor de actualisatie groeide de vraag naar luchtvracht op Schiphol duidelijk sterker dan in Frankfurt en Parijs. Tot 2050 was een groei van bijna 500% voorspeld. Dat is onrealistisch. Door de volledige actualisatie

van de vrachtdata is deze onrealistische groei voor Schiphol gecorrigeerd en is de verwachting voor de groei van de vraag naar luchtvracht in dezelfde orde van grootte voor alle vrachtvluchthavens in AEOLUS.

Figuur 15: Vraag naar luchtvracht via Schiphol.

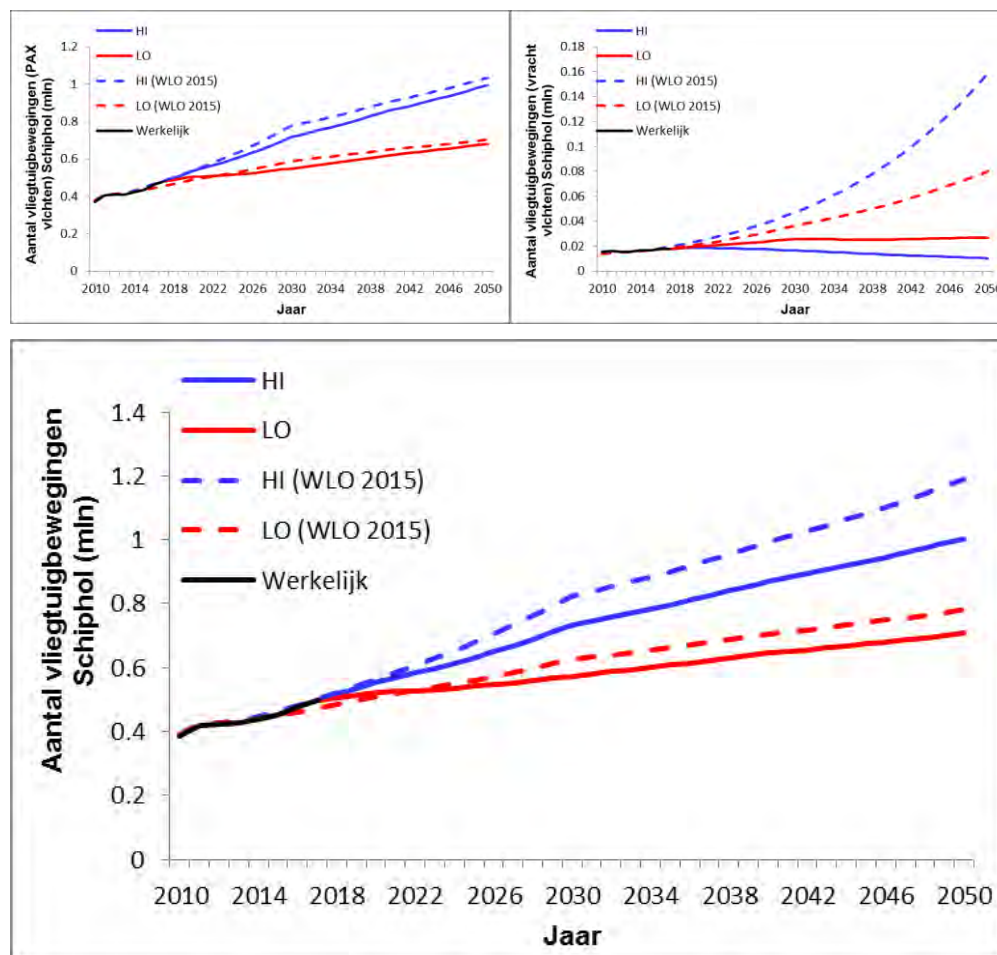


9.1.3 Vliegtuigbewegingen

De vraag naar vervoer voor passagiers en vracht bepaalt de vraag naar vliegtuigbewegingen op Schiphol. In 2017 was deze bijna 500.000 bewegingen in totaal, waarvan ongeveer 4% bewegingen van vrachtvliegtuigen. In Figuur 16 worden de WLO prognoses uit 2015 en de geactualiseerde luchtprognoses voor de vraag naar passagiersvluchten, vrachtvluchten en voor alle vluchten vergeleken.

In totaal stijgt de vraag naar vliegbewegingen op Schiphol in het scenario Laag in 2030 naar 596 duizend vluchten en in 2050 naar 731 duizend bewegingen. In het scenario Hoog is de vraag met 782 duizend bewegingen in 2030 en 1,06 miljoen bewegingen in 2050 duidelijk groter. Beide prognoses zijn echter lager dan de corresponderende prognoses in de WLO 2015. Dit komt door minder vraag naar zowel passagiersvluchten als vrachtvluchten. Voor de vrachtvluchten is de lagere vraag naar luchtvracht (zie Figuur 15) de hoofdreden. Bovendien wordt in de geactualiseerde prognoses aangenomen dat de beladingsgraden voor vrachtvervoer (in de belly van passagierstoestellen en in full freighters) gaan stijgen. In de WLO 2015 was de impliciete aanname gemaakt dat de beladingsgraden constant blijven. Bij de passagierstoestellen wordt de lagere vraag vooral verklaard door een hogere gemiddelde bezettingsgraad in het basisjaar. Ondanks de hogere passagiersaantallen in het basisjaar ten opzichte van de prognoses uit 2015 (zie Figuur 14) komt het aantal vliegbewegingen in 2017 goed overeen met de eerdere prognose.

Figuur 16: Vraag naar vliegbewegingen voor personenvervoer (boven links), vrachtvervoer (boven rechts) en totaal (beneden) vanaf Schiphol.



Dat betekent dat de bezettingsgraad van de vliegtuigen in de afgelopen 4 jaren sterker is toegenomen dan in de 2015 werd aangenomen. Omdat de ontwikkeling van de bezettingsgraden niet is aangepast resulteert dit ook in hogere bezettingsgraden in de zichtjaren.

Samenvattend kan gezegd worden dat de geactualiseerde prognoses voor de vraag naar personenvervoer (passagiers en vliegbewegingen) in lijn zijn met de luchtvaartprognoses uit 2015. De vraag naar luchtvracht (tonnen en bewegingen van full freighters) is duidelijk naar beneden gecorrigeerd.

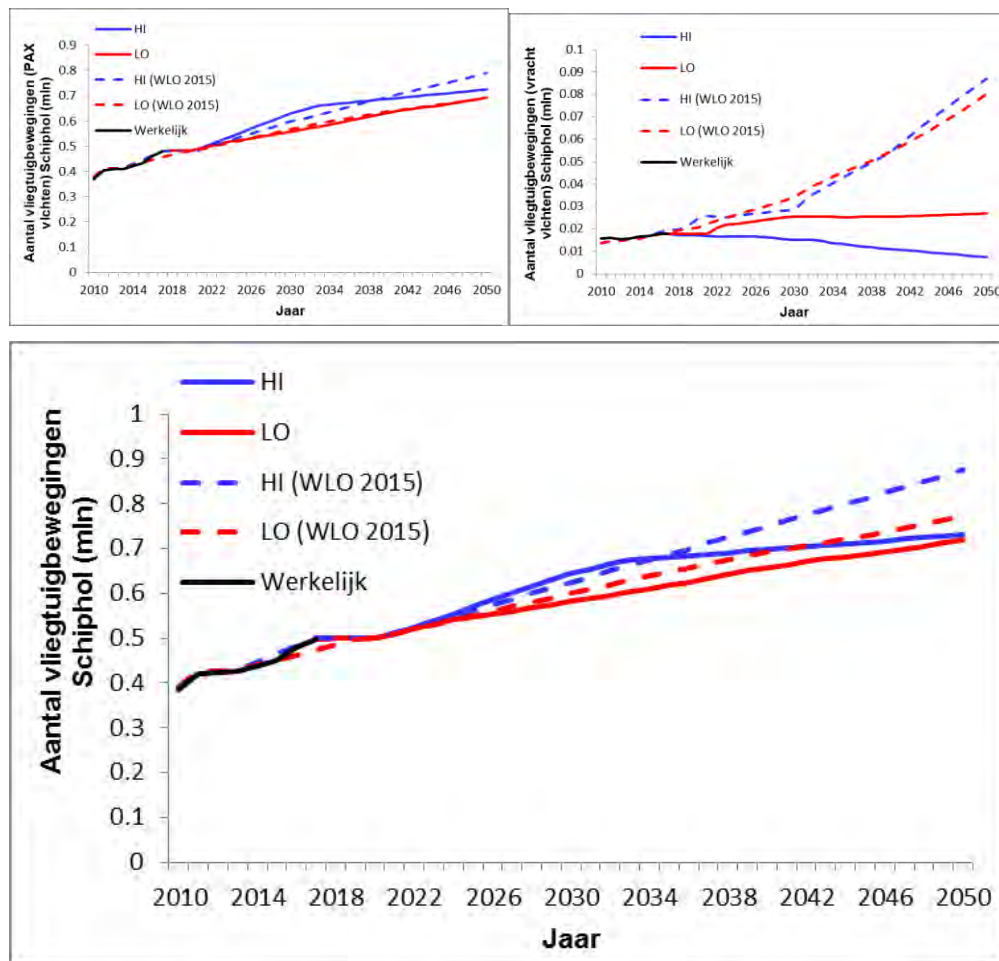
9.2 Ontwikkeling luchtvaart met restricties tot 2030 en 2050 op Schiphol

In de vorige paragraaf is de ontwikkeling van de vraag naar luchtvaart beschreven. Hoeveel van de vraag op de Nederlandse luchthavens gerealiseerd kan worden, hangt af van de (toegestane) capaciteit aan vliegbewegingen. De capaciteiten kunnen worden beperkt door fysieke limieten van de luchthavens en door regelgeving. In HOOFDSTUK 8 zijn de

capaciteitslimieten voor de zichtjaren 2030 en 2050 beschreven. In dit HOOFDSTUK 9 worden voor de prognoses ook alle tussenjaren getoond. Voor de capaciteitsrestricties is verondersteld dat deze in de tussenjaren lineair gaan ontwikkelen. In deze paragraaf worden de resultaten voor Schiphol beschreven, in de volgende gaan we in op de regionale luchthavens.

Voor Schiphol is op korte termijn het capaciteitsplafond van 500 duizend jaarlijkse vluchten t/m 2020 de belangrijkste regel voor de ontwikkeling van de luchtvaart. Daarna wordt in dit onderzoek verondersteld dat de maximale groei met behulp van de 50/50-regel wordt berekend (zie aannames en berekening van de jaarlímielen in HOOFDSTUK 8). Deze regel betekent dat de geluidswinst, die wordt gerealiseerd door stiller wordende vliegtuigen voor 50% gebruikt mag worden voor additionele vliegbewegingen boven de grens van 500 duizend. De andere 50% is winst voor de omwonenden, die profiteren van minder geluidsoverlast.

Figuur 17: Aantal vliegbewegingen voor passagierstoestellen (boven links), full freighter (boven rechts) en totaal (beneden) voor Schiphol.

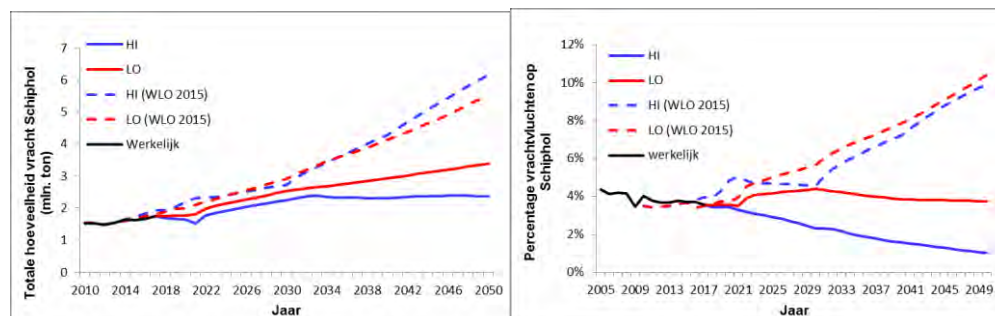


Figuur 17 toont de prognoses voor de vliegtuigbewegingen voor Schiphol. In 2030 worden in het scenario Laag (LO) 580 duizend vluchten gerealiseerd terwijl dat aantal in het scenario Hoog (HI) groeit tot 645 duizend. Dat betekent dat het scenario Laag ongerestricteerd is (de limiet is 630 duizend vluchten, zie Tabel 29) en het scenario Hoog door de veronderstelde 50/50-regel wordt gerestricteerd. Ondanks de gewijzigde methodiek om de limieten te berekenen, liggen de prognoses in 2030 in lijn met de prognoses uit 2015.

In 2033 wordt in het hoge scenario de baancapaciteit bereikt. Voor de baancapaciteit is aangenomen dat deze tussen de zichtjaren 2030 en 2050 lineair gaat groeien. Hierdoor kan het aantal vluchten ook naar 2033 nog een klein beetje groeien maar blijft de baancapaciteit tot 2050 de meest beperkende limiet en beperkt het aantal vluchten in 2050 op 731 duizend vluchten. Het scenario Laag kan over de hele periode ongerestricteerd groeien en bereikt in 2050 717 duizend vluchten. De aannames over de ontwikkeling van de baancapaciteit zijn pessimistischer dan in 2015 en dit resulteert in de lagere prognoses voor 2050.

De prognose van passagiersvliegtuigen geeft hetzelfde beeld als de totale prognose. Bij de vrachtvliegtuigen zijn de nieuwe prognoses duidelijk lager dan in de prognoses uit 2015. Dit komt omdat de vraag significant naar beneden is bijgesteld. Opvallend is dat het aantal vrachtvliegtuigen vanaf 2020 in het scenario Laag hoger is dan in het scenario Hoog. Door de ongerestricteerde groei kan in het scenario Laag de volledige vraag naar luchtvracht geacommodeerd worden. Dat betekent dat in het scenario Laag het aantal full freighters constant rond ongeveer 4% blijft en in het scenario Hoog daalt naar ca. 1% in 2050⁵⁹ (zie Figuur 18). Hierdoor kan in het scenario Hoog ook niet de volledige vraag naar luchtvracht geacommodeerd worden. Hier zien we hetzelfde beeld als bij de vrachtvliegtuigen, meer vracht in het scenario Laag dan in het scenario Hoog. Bij de vergelijking met de prognoses uit 2015 is weer het effect van de duidelijk naar beneden gecorrigeerde vraag naar luchtvracht op Schiphol zichtbaar.

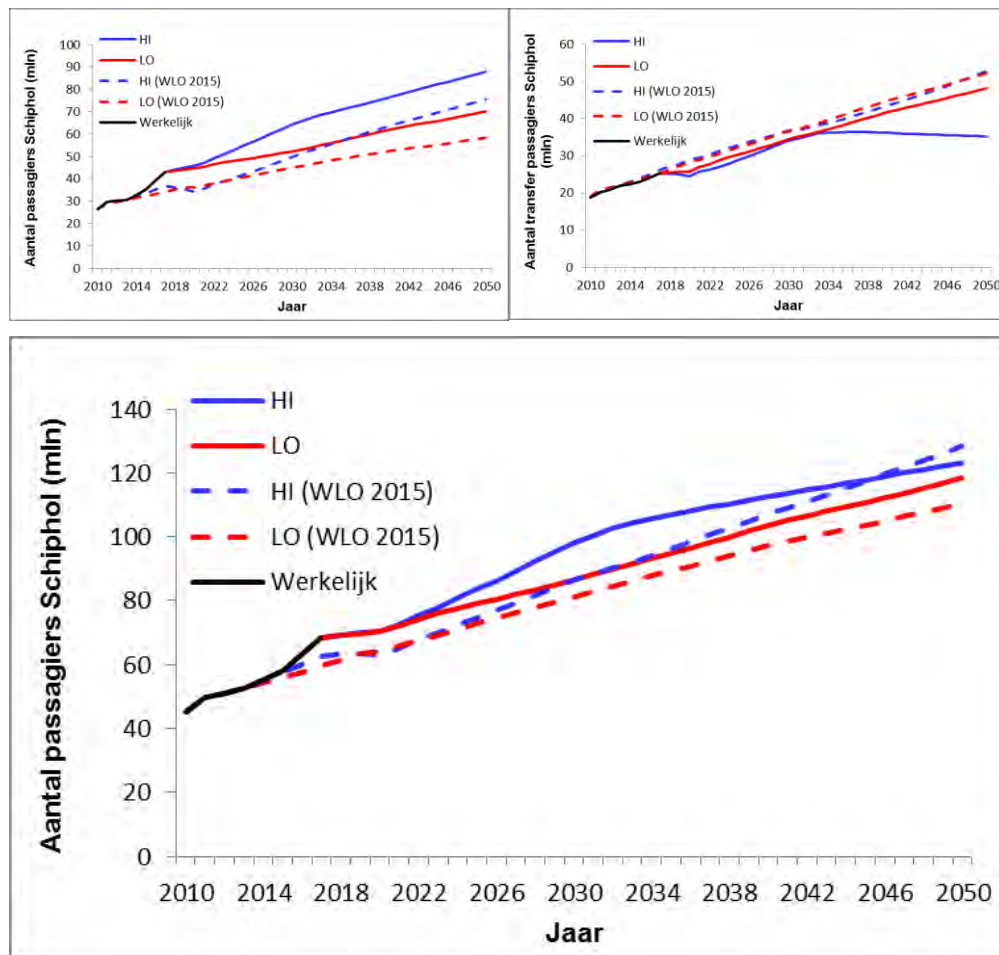
Figuur 18: Ontwikkeling van de hoeveelheid luchtvracht (links) en het aandeel vrachtvliegtuigen (rechts) op Schiphol.

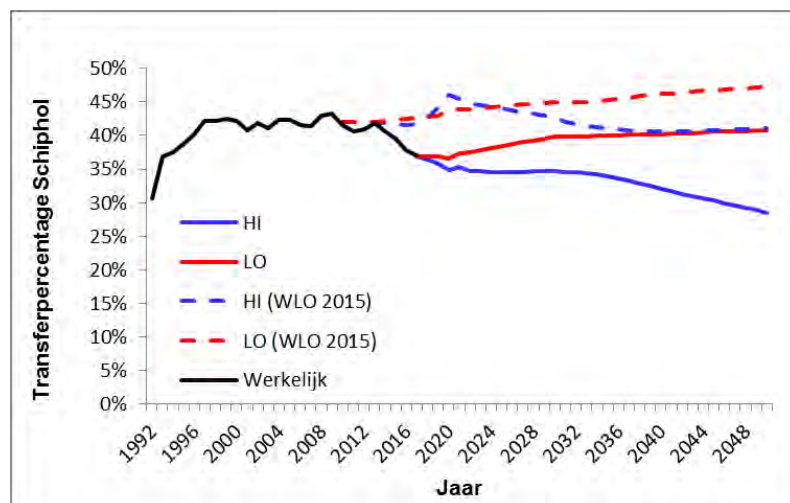


⁵⁹ Zonder het modelleren van de grandfathering regel verdwijnen vrachtvliegtuigen in het hoge scenario bijna helemaal. In 2050 blijven iets meer vrachtvluchten over dan 35% van de slots uit 2018, die door de aannames behouden blijven. In het scenario Laag beïnvloedt het wel of niet rekening houden van de grandfathering regel de resultaten niet.

Het aantal passagiers stijgt in het scenario Laag in 2030 tot 87 miljoen passagiers en in het scenario Hoog tot 98 miljoen. In beide scenario's groeit het aantal verder en bereikt in 2050 119 miljoen (Laag) en 123 miljoen (Hoog). Figuur 19 toont de ontwikkeling. Ondanks de heel verschillende aannames in de beide scenario's is het aantal passagiers in 2050 bijna identiek. Maar Figuur 19 laat ook zien dat de samenstelling in de scenario's wel verschillend is. Het aantal OD-passagiers groeit in beide scenario's met een verschillend tempo, met een hogere groei in het scenario Hoog. Bij de transferpassagiers is de ontwikkeling in beide scenario's bijna identiek t/m 2033. Daarna zorgen de restricties in het scenario Hoog voor een lichte daling in het aantal transferpassagiers, terwijl deze in het scenario Laag verder toenemen. Dat resulteert in het scenario Hoog in een daling van het transferpercentage op Schiphol in 2050 naar 28,5%. In het scenario Laag blijft het aandeel bij 40% (zie Figuur 20).

Figuur 19: Aantal OD-passagiers (boven links), transferpassagiers (boven rechts) en totaal (beneden) voor Schiphol.



Figuur 20: Aandeel transferpassagiers aan het totale aantal passagiers op Schiphol.

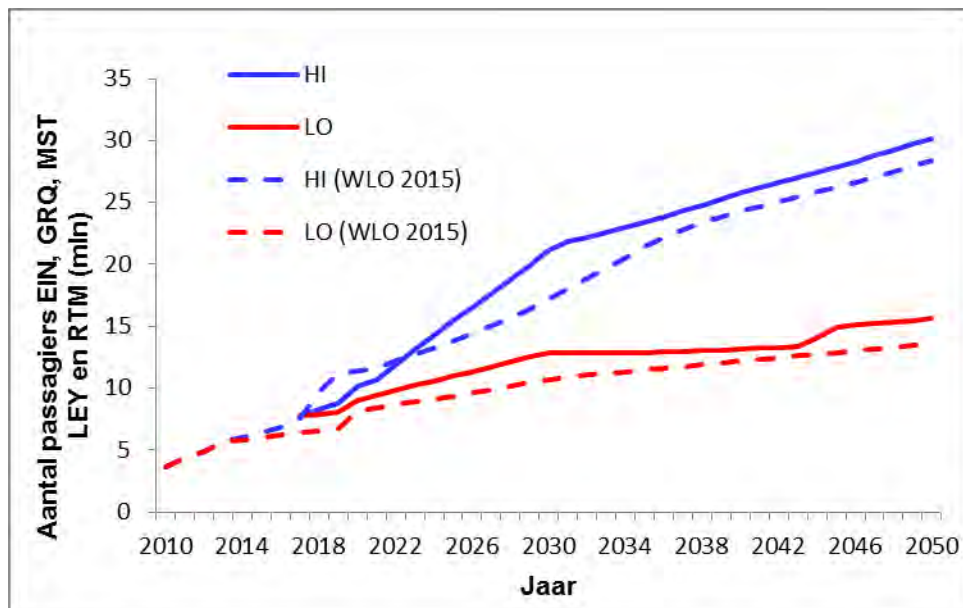
Samenvattend lijken de verschillen tussen de oude en de nieuwe prognoses voor Schiphol op hoofdlijnen (aantal passagiers en vliegbewegingen) beperkt. Bij de samenstelling van de passagiers en de vliegbewegingen verschillen de prognoses significant van elkaar. In de nieuwe prognoses is het transferpercentage en het aantal vrachtvliegtuigen lager. Luchtvracht groeit duidelijk langzamer dan in de prognoses uit 2015.

9.3 Ontwikkeling luchtvaart met restricties tot 2030 en 2050 op de regionale luchthavens

In de berekeningen van de luchtvaart op de regionale luchthavens wordt het aantal passagiers en vliegbewegingen voor passagierstoestellen berekend voor de luchthavens van Eindhoven, Rotterdam, Lelystad, Maastricht en Groningen. In AEOLUS wordt ervan uitgegaan dat alleen OD-passagiers gebruik maken van deze luchthavens en geen transferpassagiers. In de berekeningen wordt rekening gehouden met een opening van luchthaven Lelystad in 2020. Naast de prognose voor passagiers is in deze versie voor Maastricht ook een prognose toegevoegd voor de hoeveelheid luchtvracht en het aantal vrachtvliegtuigbewegingen.

In 2017 maken 7,8 miljoen passagiers gebruik van de regionale luchthavens. In het scenario Laag (LO) groeit het aantal passagiers in 2030 tot bijna 13 miljoen en in 2050 tot 15,6 miljoen passagiers. In het scenario Hoog (HI) worden in 2030 21,2 miljoen passagiers voorspeld en in 2050 30,2 miljoen. Beide prognoses zijn iets hoger dan de oude prognoses (zie Figuur 21).

Figuur 21: Aantal passagiers op de regionale luchthavens van Rotterdam, Eindhoven, Lelystad, Maastricht en Groningen.



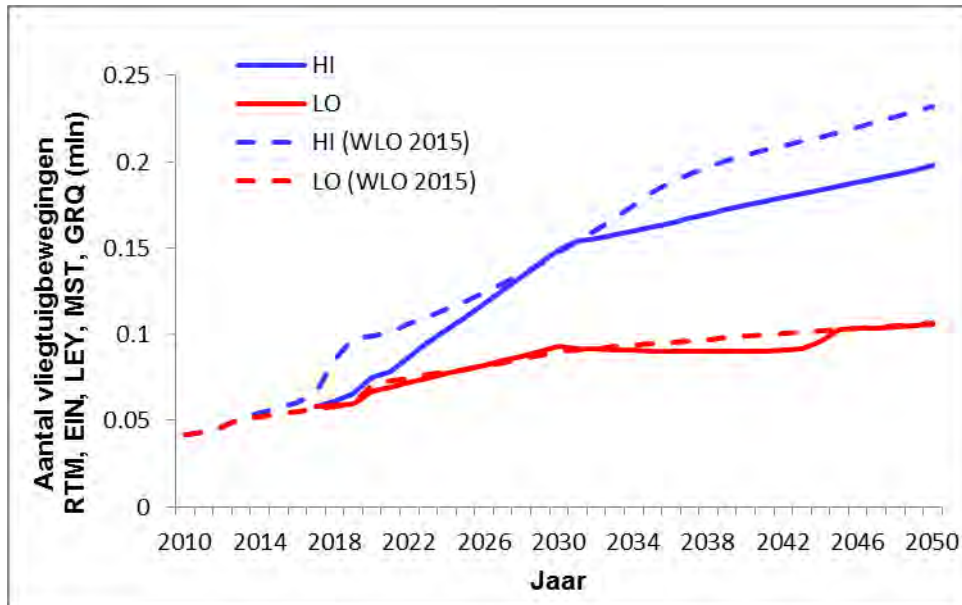
Bij het aantal vluchten wordt ook een stijging verwacht (Figuur 22). Het aantal stijgt van 58 duizend in 2017 naar 93 duizend (2030) en 106 duizend (2050) in het scenario Laag en tot 149 duizend (2030) en 198 duizend (2050) in het scenario Hoog. In 2030 en in 2050 Laag komen de prognoses bijna overeen met de prognoses uit 2015. In het scenario Hoog is het aantal vluchten in 2050 lager dan in de prognoses uit 2015.

In Figuur 23 wordt het aantal vluchten per luchthaven voor de zichtjaren 2030 en 2050 voor de WLO prognoses uit 2015 en de geactualiseerde luchtvaartprognoses getoond. Door de aanpassingen is geen eenduidige trend voor de regionale luchthavens te herkennen. Dat heeft te maken met de verbeterde modellering van het uitwijkgedrag bij schaarste. Dat leidt bijvoorbeeld in Eindhoven tot een correctie naar boven van de prognoses in het scenario Hoog en naar beneden voor het scenario Laag. Opvallend is het grote verschil voor de luchthaven van Maastricht. Omdat vrachtvliegtuigen en passagiersvliegtuigen door de aanpassing apart gemodelleerd kunnen worden, kan een veel realistischer prognose voor de passagierstoestellen voor deze luchthaven berekend worden.

Door het toevoegen van Maastricht aan de lijst van vrachtluchthavens, kan ook voor het eerst met AEOLUS een vrachtprognose voor Maastricht berekend worden. De ontwikkeling van de luchtvracht en de hoeveelheid vrachtvliegtuigen wordt getoond in

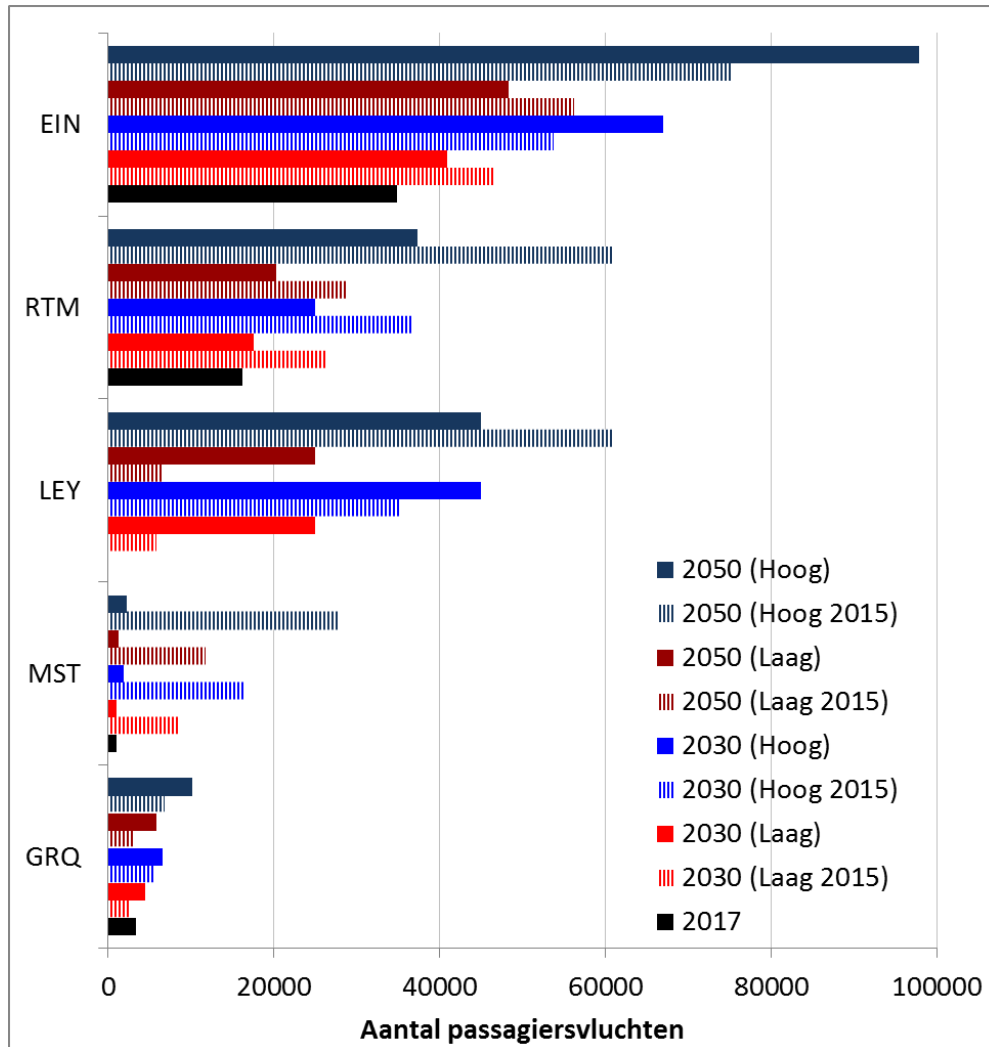
Figuur 24.

Figuur 22: Aantal vliegbewegingen voor passagierstoestellen op de regionale luchthavens van Rotterdam, Eindhoven, Lelystad, Maastricht en Groningen.

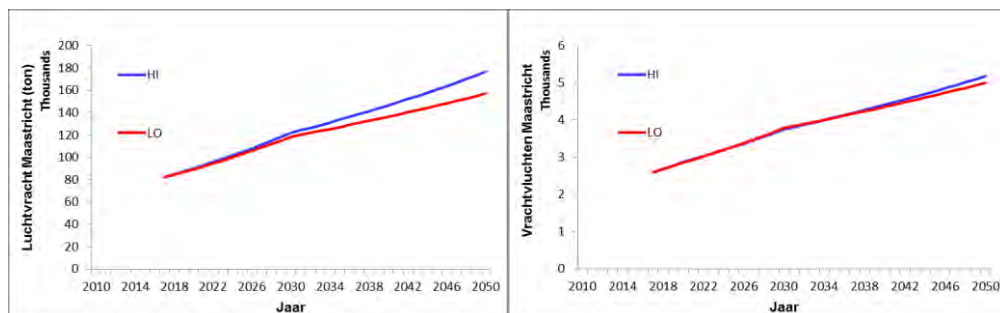


Samenvattend: Voor de regionale luchthavens leidt de actualisatie tot redelijk vergelijkbare prognoses. Het verwachte aantal passagiers voor de zichtjaren wordt licht naar boven gecorrigeerd terwijl het aantal vluchten goed overeenkomt met de prognoses uit 2015 (met uitzondering van hoog 2050). Bovendien is voor het eerst een vrachtprognose voor Maastricht met AEOLUS opgesteld.

Figuur 23: Aantal passagiersvluchten voor de regionale luchthavens in het basisjaar 2017 en voor de zichtjaren 2030 en 2050.



Figuur 24: Hoeveelheid luchtvracht (links) en aantal vrachvluchten (rechts) vanaf luchthaven Maastricht.



9.4 **Samenvatting resultaten van de geactualiseerde luchtvaartprognoses**

In de volgende vier overzichtstabellen worden de resultaten voor de nieuwe luchtvaartprognoses voor de scenario's Hoog (HI) en Laag (LO) samengevat. Twee tabellen presenteren de vraag naar luchtvaart in een situatie zonder restricties (unres.) en twee tabellen de resultaten met restricties (restricted). Getoond worden de uitkomsten voor het basisjaar 2017 en de twee zichtjaren 2030 en 2050.

In het basisjaar zijn de door AEOLUS berekende cijfers in de tabellen opgenomen. In AEOLUS worden in het basisjaar niet de gerealiseerde cijfers ingelezen, maar het basisjaar wordt gekalibreerd. In deze kalibratie worden de alternatieve specifieke constanten in de discrete keuzemodellen zo afgesteld dat het model de waargenomen cijfers reproduceert. Als referentie dienen de statistieken van Eurostat⁶⁰, omdat deze voor alle luchthavens beschikbaar zijn. Na deze kalibratie voorspelt AEOLUS voor het basisjaar “ongeveer” de in werkelijkheid gerealiseerde cijfers. Een perfecte kalibratie van het basisjaar is niet noodzakelijk. Het doel van AEOLUS is nauwkeurige prognoses voor de toekomstjaren te berekenen. Als de onnauwkeurigheden van de kalibratie in het basisjaar duidelijk kleiner zijn dan andere onzekerheden die de prognose bepalen, is dat voor de toekomstprognoses voldoende. Aan deze eis voldoet de kalibratie van AEOLUS.

⁶⁰ Op het moment van de modelkalibratie waren op de website van Eurostat (<https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>) de data voor de eerste drie kwartalen van 2017 beschikbaar. Op basis van de ontwikkeling in de eerste drie kwartalen is een inschatting gemaakt voor het laatste kwartaal van 2017. De voor de kalibratie gebruikte data wijken daarom licht af van de finale Eurostat cijfers die op moment van publicatie van deze rapportage beschikbaar zijn. Bovendien gebruikt Eurostat andere definities dan het CBS en Schiphol. Dit heeft als gevolg dat deze bronnen niet 100% overeenstemmen.

LO-unres.		2017	Absolute prognose		Jaarlijkse groeifactor	
			2030	2050	2030	2050
Totaal passagiers	(mln)	68.3	89.4	121.3	1.6%	1.5%
OD totaal	(mln)	43.1	54.7	73.0	1.4%	1.4%
OD Skyteam	(mln)	15.7	20.7	27.8	1.7%	1.5%
OD FSC	(mln)	11.9	16.1	22.2	1.8%	1.6%
OD Low Cost	(mln)	15.5	17.9	23.0	0.8%	1.3%
OD binnen Europa	(mln)	31.6	39.1	50.6	1.3%	1.3%
OD Intercontinentaal	(mln)	11.5	15.6	22.3	1.9%	1.8%
Transfer totaal	(mln)	25.2	34.7	48.3	1.9%	1.7%
Zakelijk (OD + TR)	(mln)	19.9	31.7	43.9	2.8%	1.6%
Niet-zakelijk (OD+TR)	(mln)	48.4	57.7	77.4	1.0%	1.5%
Marktaandeelen	Skyteam	57.7%	59.7%	60.3%		
	ov. FSC	19.1%	19.9%	20.2%		
	Low cost	23.2%	20.5%	19.5%		
Transfer perc		36.9%	38.8%	39.8%		
AMS vracht	(mln ton)	1.74	2.53	3.38	2.2%	1.5%

AMS bewegingen	(x1000)	497	596	732	1.1%	1.0%
Passagiersbew egingen	(x1000)	481	574	707	1.0%	1.1%
Vracht	(x1000)	16	23	25	1.9%	0.5%
Nachtbew egingen	(x1000)	41	47	59	0.9%	1.1%

Woningen 58dB	AMS	11444	12390	8416	0.5%	-1.9%
G-gem		4.14	4.34	4.48		
T-Gem		3.08	4.04	5.09		
PAX/bew eging	(x1000)	137.4	150.0	165.7	0.5%	0.5%

Reg. Luchthavens						
Passagiers Rotterdam	(mln)	1.73	2.01	2.63	0.9%	1.4%
Passagiers Eindhoven	(mln)	5.69	6.65	8.28	0.9%	1.1%
Passagiers Maastricht	(mln)	0.16	0.17	0.23	0.1%	1.6%
Passagiers Groningen	(mln)	0.20	0.28	0.40	2.0%	1.8%
Passagiers Lelystad	(mln)	0.00	0.00	0.00		

Reg. Luchthavens						
Bew egingen Rotterdam	(x1000)	16.23	16.96	19.66	0.3%	0.7%
Bew egingen Eindhoven	(x1000)	34.90	39.49	46.74	0.7%	0.8%
Bew egingen Maastricht	(x1000)	0.96	0.95	1.22	-0.1%	1.3%
Bew egingen Groningen	(x1000)	3.40	4.37	5.71	1.5%	1.3%
Bew egingen Lelystad	(x1000)	0.00	0.00	0.00		

LO-unres.		2017	Absolute prognose		Jaarlijkse groeifactor	
			2030	2050	2030	2050
Totaal passagiers	(mIn)	68.3	89.4	121.3	1.6%	1.5%
OD totaal	(mIn)	43.1	54.7	73.0	1.4%	1.4%
OD Skyteam	(mIn)	15.7	20.7	27.8	1.7%	1.5%
OD FSC	(mIn)	11.9	16.1	22.2	1.8%	1.6%
OD Low Cost	(mIn)	15.5	17.9	23.0	0.8%	1.3%
OD binnen Europa	(mIn)	31.6	39.1	50.6	1.3%	1.3%
OD Intercontinentaal	(mIn)	11.5	15.6	22.3	1.9%	1.8%
Transfer totaal	(mIn)	25.2	34.7	48.3	1.9%	1.7%
Zakelijk (OD + TR)	(mIn)	19.9	31.7	43.9	2.8%	1.6%
Niet-zakelijk (OD+TR)	(mIn)	48.4	57.7	77.4	1.0%	1.5%
Marktaandeel	Skyteam	57.7%	59.7%	60.3%		
	ov. FSC	19.1%	19.9%	20.2%		
	Low cost	23.2%	20.5%	19.5%		
Transfer perc		36.9%	38.8%	39.8%		
AMS vracht	(mIn ton)	1.74	2.53	3.38	2.2%	1.5%

AMS bewegingen	(x1000)	497	596	732	1.1%	1.0%
Passagiersbew egingen	(x1000)	481	574	707	1.0%	1.1%
Vracht	(x1000)	16	23	25	1.9%	0.5%
Nachtbew egingen	(x1000)	41	47	59	0.9%	1.1%

Woningen 58dB	AMS	11444	12390	8416	0.5%	-1.9%
G-gem		4.14	4.34	4.48		
T-Gem		3.08	4.04	5.09		
PAX/bew eging	(x1000)	137.4	150.0	165.7	0.5%	0.5%

Reg. Luchthavens						
Passagiers Rotterdam	(mIn)	1.73	2.01	2.63	0.9%	1.4%
Passagiers Eindhoven	(mIn)	5.69	6.65	8.28	0.9%	1.1%
Passagiers Maastricht	(mIn)	0.16	0.17	0.23	0.1%	1.6%
Passagiers Groningen	(mIn)	0.20	0.28	0.40	2.0%	1.8%
Passagiers Lelystad	(mIn)	0.00	0.00	0.00		

Reg. Luchthavens						
Bew egingen Rotterdam	(x1000)	16.23	16.96	19.66	0.3%	0.7%
Bew egingen Eindhoven	(x1000)	34.90	39.49	46.74	0.7%	0.8%
Bew egingen Maastricht (PAX)	(x1000)	0.96	0.95	1.22	-0.1%	1.3%
Bew egingen Maastricht (FF)	(x1000)	2.59	3.79	5.00	2.3%	1.4%
Bew egingen Groningen	(x1000)	3.40	4.37	5.71	1.5%	1.3%
Bew egingen Lelystad	(x1000)	0.00	0.00	0.00		

HI-unres.		2017	Absolute prognose		Jaarlijkse groeifactor	
			2030	2050	2030	2050
Totaal passagiers	(m ln)	68.3	119.8	181.3	3.4%	2.1%
OD totaal	(m ln)	43.1	75.0	110.3	3.3%	1.9%
OD Skyteam	(mln)	15.7	27.0	40.0	3.2%	2.0%
OD FSC	(mln)	11.9	20.5	31.7	3.3%	2.2%
OD Low Cost	(mln)	15.5	27.5	38.5	3.4%	1.7%
OD binnen Europa	(mln)	31.6	53.6	74.6	3.1%	1.7%
OD Intercontinentaal	(mln)	11.5	21.5	35.7	3.8%	2.6%
Transfer totaal	(m ln)	25.2	44.7	71.1	3.4%	2.3%
Zakelijk (OD + TR)	(mln)	19.9	36.7	54.4	3.7%	2.0%
Niet-zakelijk (OD+TR)	(mln)	48.4	83.0	126.9	3.2%	2.1%
Marktaandeel	Skyteam	57.7%	57.6%	58.9%		
	ov. FSC	19.1%	18.9%	19.3%		
	Low cost	23.2%	23.4%	21.8%		
Transfer perc		36.9%	37.4%	39.2%		
AMS vracht	(m ln ton)	1.74	2.64	3.89	2.5%	2.0%

AMS bewegingen	(x1000)	497	782	1059	2.7%	1.5%
Passagiersbew egingen	(x1000)	481	765	1046	2.8%	1.6%
Vracht	(x1000)	16	16	13	-0.1%	-1.0%
Nachtbew egingen	(x1000)	41	66	89	2.9%	1.5%

Woningen 58dB	AMS	11444	15711	11023	1.9%	-1.8%
G-gem		4.14	4.30	4.45		
T-Gem		3.08	4.19	5.33		
PAX/bew eging	(x1000)	137.4	153.2	171.2	0.6%	0.6%

Reg. Luchthavens						
Passagiers Rotterdam	(mln)	1.73	3.02	4.33	3.3%	1.8%
Passagiers Eindhoven	(mln)	5.69	10.40	15.53	3.6%	2.0%
Passagiers Maastricht	(mln)	0.16	0.29	0.37	3.6%	1.2%
Passagiers Groningen	(mln)	0.20	0.39	0.62	4.0%	2.4%
Passagiers Lelystad	(mln)	0.00	0.00	0.00		

Reg. Luchthavens						
Bew egingen Rotterdam	(x1000)	16.23	25.52	32.42	2.7%	1.2%
Bew egingen Eindhoven	(x1000)	34.90	61.72	87.61	3.4%	1.8%
Bew egingen Maastricht (PAX)	(x1000)	0.96	1.69	2.02	3.4%	0.9%
Bew egingen Maastricht (FF)	(x1000)	2.59	3.76	5.19	2.2%	1.6%
Bew egingen Groningen	(x1000)	3.40	6.13	8.92	3.5%	1.9%
Bew egingen Lelystad	(x1000)	0.00	0.00	0.00		

LO-restricted		2017	Absolute prognose		Jaarlijkse groeifactor	
			2030	2050	2030	2050
Totaal passagiers	(m ln)	68.3	86.7	118.5	1.4%	1.6%
OD totaal	(m ln)	43.1	52.2	70.2	1.1%	1.5%
OD Skyteam	(m ln)	15.7	21.3	28.4	1.8%	1.5%
OD FSC	(m ln)	11.9	16.3	22.2	1.9%	1.6%
OD Low Cost	(m ln)	15.5	14.6	19.5	-0.4%	1.5%
OD binnen Europa	(m ln)	31.6	37.2	49.0	1.0%	1.4%
OD Intercontinentaal	(m ln)	11.5	15.0	21.2	1.6%	1.8%
Transfer totaal	(m ln)	25.2	34.5	48.3	1.9%	1.7%
Zakelijk (OD + TR)	(m ln)	19.9	30.8	42.9	2.6%	1.7%
Niet-zakelijk (OD+TR)	(m ln)	48.4	55.9	75.6	0.9%	1.5%
Marktaandeel	Skyteam	57.7%	62.0%	62.3%		
	ov. FSC	19.1%	20.7%	20.7%		
	Low cost	23.2%	17.4%	17.0%		
Transfer perc		36.9%	39.8%	40.7%		
AMS vracht	(m ln ton)	1.74	2.53	3.38	2.2%	1.5%

AMS bewegingen	(x1000)	497	580	717	0.9%	1.1%
Passagiersbew egingen	(x1000)	481	557	692	0.9%	1.1%
Vracht	(x1000)	16	23	25	2.0%	0.5%
Nachtbew egingen	(x1000)	32	32	32	0.0%	0.0%

Woningen 58dB	AMS	10967	10589	7327	-0.2%	-1.8%
G-gem		4.14	4.33	4.48		
T-Gem		3.08	4.03	5.09		
PAX/bew eging	(x1000)	137.4	149.5	165.2	0.5%	0.5%

Reg. Luchthavens						
Passagiers Rotterdam	(m ln)	1.73	2.07	2.71	1.1%	1.3%
Passagiers Eindhoven	(m ln)	5.69	6.89	8.55	1.1%	1.1%
Passagiers Maastricht	(m ln)	0.16	0.17	0.24	0.4%	1.6%
Passagiers Groningen	(m ln)	0.20	0.28	0.41	2.1%	1.8%
Passagiers Lelystad	(m ln)	0.00	3.48	3.74		0.4%

Reg. Luchthavens						
Bew egingen Rotterdam	(x1000)	16.23	17.55	20.27	0.5%	0.7%
Bew egingen Eindhoven	(x1000)	34.90	40.92	48.27	0.9%	0.8%
Bew egingen Maastricht (PAX)	(x1000)	0.96	0.98	1.27	0.1%	1.3%
Bew egingen Maastricht (FF)	(x1000)	2.59	3.79	5.00	2.3%	1.4%
Bew egingen Groningen	(x1000)	3.40	4.46	5.80	1.6%	1.3%
Bew egingen Lelystad	(x1000)	0.00	25.00	25.00		0.0%

HI-restricted		2017	Absolute prognose		Jaarlijkse groeifactor	
			2030	2050	2030	2050
Totaal passagiers	(m ln)	68.3	98.3	123.0	2.2%	1.1%
OD totaal	(m ln)	43.1	64.2	88.0	2.4%	1.6%
OD Skyteam	(mln)	15.7	23.0	24.5	2.3%	0.3%
OD FSC	(mln)	11.9	20.8	32.5	3.4%	2.3%
OD Low Cost	(mln)	15.5	20.4	31.0	1.6%	2.1%
OD binnen Europa	(mln)	31.6	44.6	58.1	2.0%	1.3%
OD Intercontinentaal	(mln)	11.5	19.6	29.9	3.2%	2.1%
Transfer totaal	(m ln)	25.2	34.1	35.0	1.8%	0.1%
Zakelijk (OD + TR)	(mln)	19.9	30.8	38.6	2.6%	1.1%
Niet-zakelijk (OD+TR)	(mln)	48.4	67.4	84.4	2.0%	1.1%
Marktaandelen	Skyteam	57.7%	56.0%	46.7%		
	ov. FSC	19.1%	22.8%	27.7%		
	Low cost	23.2%	21.2%	25.6%		
Transfer perc		36.9%	34.7%	28.5%		
AMS vracht	(m ln ton)	1.74	2.26	2.40	1.6%	0.3%

AMS bewegingen	(x1000)	497	645	731	1.5%	0.6%
Passagiersbew egingen	(x1000)	481	630	723	1.6%	0.7%
Vracht	(x1000)	16	15	8	-0.6%	-2.8%
Nachtbew egingen	(x1000)	32	32	32	0.0%	0.0%

Woningen 58dB	AMS	10967	10981	6578	0.0%	-2.5%
G-gem		4.14	4.29	4.40		
T-Gem		3.08	4.18	5.34		
PAX/bew eging	(x1000)	137.4	152.4	168.2	0.6%	0.5%

Reg. Luchthavens						
Passagiers Rotterdam	(mln)	1.73	2.95	4.99	3.2%	2.7%
Passagiers Eindhoven	(mln)	5.69	11.26	17.32	4.1%	2.2%
Passagiers Maastricht	(mln)	0.16	0.32	0.41	4.1%	1.3%
Passagiers Groningen	(mln)	0.20	0.42	0.71	4.5%	2.7%
Passagiers Lelystad	(mln)	0.00	6.20	6.75		0.4%

Reg. Luchthavens						
Bew egingen Rotterdam	(x1000)	16.23	24.94	37.34	2.6%	2.0%
Bew egingen Eindhoven	(x1000)	34.90	66.91	97.84	3.9%	1.9%
Bew egingen Maastricht (PAX)	(x1000)	0.96	1.83	2.25	3.9%	1.0%
Bew egingen Maastricht (FF)	(x1000)	2.59	3.76	5.19	2.2%	1.6%
Bew egingen Groningen	(x1000)	3.40	6.59	10.15	4.0%	2.2%
Bew egingen Lelystad	(x1000)	0.00	45.00	45.00		0.0%

9.5 **Gevoeligheidsanalyses met een jaarlimiet van 500.000 vluchten**

Aanvullend aan de geactualiseerde luchtvaartprognoses zijn twee gevoeligheidsruns uitgevoerd. Voor zowel het scenario Hoog (HI) als het scenario Laag (LO) is een doorrekening uitgevoerd met een jaarlimiet op Schiphol van 500.000 vliegbewegingen over de hele periode van 2017 t/m 2050. Behalve deze limiet zijn de aannames van deze doorrekeningen identiek aan de geresliceerde versies van de geactualiseerde luchtvaartprognoses. De resultaten van deze twee doorrekeningen worden in de volgende twee tabellen gepresenteerd.

LO-500k		2017	Absolute prognose		Jaarlijkse groeifactor	
			2030	2050	2030	2050
Totaal passagiers	(m ln)	68.3	74.6	81.7	0.5%	0.5%
OD totaal	(m ln)	43.1	48.2	58.8	0.7%	1.0%
OD Skyteam	(mln)	15.7	17.8	16.5	0.7%	-0.4%
OD FSC	(mln)	11.9	16.2	23.1	1.9%	1.8%
OD Low Cost	(mln)	15.5	14.2	19.3	-0.5%	1.5%
OD binnen Europa	(mln)	31.6	33.9	39.8	0.4%	0.8%
OD Intercontinentaal	(mln)	11.5	14.3	19.0	1.3%	1.4%
Transfer totaal	(m ln)	25.2	26.5	22.9	0.3%	-0.7%
Zakelijk (OD + TR)	(mln)	19.9	27.0	30.6	1.8%	0.6%
Niet-zakelijk (OD+TR)	(mln)	48.4	47.7	51.1	-0.1%	0.3%
Marktaandelen	Skyteam	57.7%	57.2%	46.5%		
	ov. FSC	19.1%	23.4%	29.5%		
	Low cost	23.2%	19.5%	23.9%		
Transfer perc		36.9%	35.4%	28.0%		
AMS vracht	(m ln ton)	1.74	2.10	2.00	1.1%	-0.2%

AMS bewegingen	(x1000)	497	500	500	0.0%	0.0%
Passagiersbew egingen	(x1000)	481	481	485	0.0%	0.0%
Vracht	(x1000)	16	19	15	0.8%	-1.2%
Nachtbew egingen	(x1000)	32	32	32	0.0%	0.0%

Woningen 58dB	AMS	10967	9426	4025	-0.9%	-4.2%
G-gem		4.14	4.32	4.42		
T-Gem		3.08	4.01	5.10		
PAX/bew eging	(x1000)	137.4	149.3	163.3	0.5%	0.5%

Reg. Luchthavens						
Passagiers Rotterdam	(mln)	1.73	2.19	3.04	1.4%	1.7%
Passagiers Eindhoven	(mln)	5.69	7.17	9.36	1.4%	1.3%
Passagiers Maastricht	(mln)	0.16	0.18	0.25	0.6%	1.8%
Passagiers Groningen	(mln)	0.20	0.30	0.46	2.5%	2.2%
Passagiers Lelystad	(mln)	0.00	3.48	3.73		0.3%

Reg. Luchthavens						
Bew egingen Rotterdam	(x1000)	16.23	18.50	22.76	0.8%	1.0%
Bew egingen Eindhoven	(x1000)	34.90	42.61	52.90	1.2%	1.1%
Bew egingen Maastricht (PAX)	(x1000)	0.96	1.01	1.37	0.3%	1.5%
Bew egingen Maastricht (FF)	(x1000)	2.59	3.79	5.00	2.3%	1.4%
Bew egingen Groningen	(x1000)	3.40	4.73	6.62	2.0%	1.7%
Bew egingen Lelystad	(x1000)	0.00	25.00	25.00		0.0%

HI-500k		2017	Absolute prognose		Jaarlijkse groeifactor	
			2030	2050	2030	2050
Totaal passagiers	(mIn)	68.3	76.1	83.6	0.6%	0.5%
OD totaal	(mIn)	43.1	54.8	69.3	1.4%	1.2%
OD Skyteam	(mIn)	15.7	16.5	11.4	0.3%	-1.8%
OD FSC	(mIn)	11.9	19.7	31.7	3.0%	2.4%
OD Low Cost	(mIn)	15.5	18.5	26.2	1.0%	1.7%
OD binnen Europa	(mIn)	31.6	36.7	43.3	0.9%	0.8%
OD Intercontinentaal	(mIn)	11.5	18.1	26.0	2.7%	1.8%
Transfer totaal	(mIn)	25.2	21.4	14.3	-1.0%	-2.0%
Zakelijk (OD + TR)	(mIn)	19.9	24.6	27.1	1.2%	0.5%
Niet-zakelijk (OD+TR)	(mIn)	48.4	51.6	56.5	0.4%	0.5%
Marktaandeelen	Skyteam	57.7%	48.1%	29.7%		
	ov. FSC	19.1%	27.2%	38.7%		
	Low cost	23.2%	24.7%	31.5%		
Transfer perc		36.9%	28.1%	17.1%		
AMS vracht	(mIn ton)	1.74	1.66	1.18	-0.3%	-1.7%
AMS bewegingen	(x1000)	497	500	500	0.0%	0.0%
Passagiersbew egingen	(x1000)	481	487	494	0.1%	0.1%
Vracht	(x1000)	16	13	6	-1.4%	-3.7%
Nachtbew egingen	(x1000)	32	32	32	0.0%	0.0%
Woningen 58dB	AMS	10967	8893	1642	-1.2%	-8.1%
G-gem		4.14	4.31	4.39		
T-Gem		3.08	4.11	5.35		
PAX/bew eging	(x1000)	137.4	152.3	167.3	0.6%	0.5%
Reg. Luchthavens						
Passagiers Rotterdam	(mIn)	1.73	2.95	5.75	3.2%	3.4%
Passagiers Eindhoven	(mIn)	5.69	11.78	19.47	4.4%	2.5%
Passagiers Maastricht	(mIn)	0.16	0.35	0.47	4.6%	1.5%
Passagiers Groningen	(mIn)	0.20	0.46	0.81	5.1%	2.8%
Passagiers Lelystad	(mIn)	0.00	6.20	6.73		0.4%
Reg. Luchthavens						
Bew egingen Rotterdam	(x1000)	16.23	24.99	43.03	2.6%	2.8%
Bew egingen Eindhoven	(x1000)	34.90	70.00	110.04	4.2%	2.3%
Bew egingen Maastricht (PAX)	(x1000)	0.96	1.98	2.52	4.4%	1.2%
Bew egingen Maastricht (FF)	(x1000)	2.59	3.76	5.19	2.2%	1.6%
Bew egingen Groningen	(x1000)	3.40	7.29	11.53	4.6%	2.3%
Bew egingen Lelystad	(x1000)	0.00	45.00	45.00		0.0%