

significance

quantitative research



AEOLUS Documentatie 1.0

Rapport voor Rijkswaterstaat WVL

Eindrapport | juli 2020

Stefan Grebe, Larissa Eggers, Gijs van Eck

Overzicht versies

Versie Documentatie	Versie model	Datum
1.0	AEOLUS 2018	Juli 2020

In deze technische rapportage wordt de actuele modelversie van het AEOLUS-model beschreven. In het document “Overzicht modelversies AEOLUS luchtvaartmodel” (actuele versie van Juli 2020) wordt op een systematische manier verantwoord welke keuzes bij de verschillende ontwikkeling en actualisatieprojecten zijn gemaakt en waarop die gebaseerd waren. In dit document zijn de ontwikkelingen vanaf 2003, de eerste versie van het Airport Catchment Area Competition Model (ACCM) model tot de actuele versie beknopt samengevat.

Inhoudsopgave

Afkortingen	vii
1. Inleiding	1
1.1 Beschrijving in een notendop	1
1.2 Toepasbaarheid van het model	2
1.3 Overzicht van belangrijke aannames	3
1.4 Leeswijzer	4
2. Modelopzet	6
2.1 Modules	6
2.2 Methodiek	7
2.3 Software omgeving	8
2.4 Dimensies	9
2.5 Invoer	12
2.6 Uitvoer	13
2.7 Beleidsmaatregelen	14
2.8 Elasticiteiten	15
3. Passagiersmodule	16
3.1 Opzet van de module	16
3.2 Marktaandeel in het basisjaar en prognosejaren (stap 1)	18
3.2.1 Modelstructuur	18
3.2.2 Voor- en natransport vervoerwijzekeuze	20
3.2.3 Routekeuze	25
3.2.4 Hoofdvervoerwijzekeuze	29
3.3 Aantal reizigers in het basisjaar (stap 2 en 3)	32
3.3.1 Totaal aantal reizigers	32
3.3.2 Uitsplitsing naar reisalternatieven	32
3.3.3 Eenmalige kalibratie	33
3.4 Aantal reizigers in prognosejaren (stap 4 en 5)	33
3.4.1 Totaalaantal reizigers	34
3.4.2 Uitsplitsing naar reisalternatieven	37
4. Vrachtmodule	38
4.1 Structuur van de module	38
4.2 Luchtvrachtstromen	39
4.2.1 Import- en exportstromen in het basisjaar	39
4.2.2 Import- en exportstromen in prognosejaren	39
4.3 Verdeling van luchtvracht over luchthavens	40
4.4 Verdeling over vrachtvliegtuigen en belly's van passagevliegtuigen	42

4.4.1	Vracht in Belly's	42
4.4.2	Vracht in Full Freighters	43
4.4.3	Grandfathering regel voor vrachtslots	45
4.5	Kalibratie van het basisjaar	45
5.	Vliegtuigbewegingenmodule	46
5.1	Berekening aantal passagiers per directe vliegroute	47
5.2	Berekening aantal vliegtuigbewegingen	48
5.3	GTU-verdelingen in het basisjaar	49
5.4	Veranderingen in de GT-verdeling	50
5.4.1	Verandering G-verdeling	50
5.4.2	Verandering T-verdeling	50
5.5	Capaciteitsrestricties	52
5.5.1	U-shift (reactie op bereiking van capaciteitsrestricties)	52
5.5.2	Concept schaarstekosten	54
5.5.3	Totale schaarstekosten	54
5.5.4	Berekening schaarstekosten voor passagiers	55
5.5.5	Berekening schaarstekosten voor vracht	55
5.5.6	Effecten op frequenties	56
5.6	Iteratieproces	56
5.6.1	Oplosalgoritme	57
5.6.2	Iteratiestappen	57
5.7	Verdeling vliegbevingen over de banen op Schiphol	58
5.7.1	Overzicht rekenstappen	59
5.7.2	Seizoensinvloeden en variatie verkeersvolume	60
5.7.3	Capaciteitsdruk en aantal bewegingen tweede start- en landingsbaan	60
5.7.4	Aantal bewegingen op de vierde baan per dag	61
6.	Milieueffectenmodule	64
6.1	Inleiding	64
6.2	Geluidsberekening	64
6.2.1	Hoeveelheid geluid (HG)	64
6.2.2	Aantal woningen binnen de 58 dB L _{DEN} -contour	65
6.3	LTO-emissies	65
6.4	CO ₂ -emissies vluchtfase	66
6.4.1	SEO methode	67
6.4.2	ICAO methode	68
6.4.3	Gecombineerde methode	69
6.4.4	Totale CO ₂ -emissies vliegen	70
6.5	CO ₂ -emissies grondebonden vervoer	70
6.5.1	CO ₂ -emissies voortransport luchthaven	71
6.5.2	CO ₂ -emissies auto en trein als hoofvervoermiddel	71
7.	Beleidsmaatregelen	73

7.1	Beleidsmaatregelen	73
7.2	Prijismaatregelen	73
7.2.1	Vliegbelastingen	73
7.2.2	Invoering van een BTW op vliegtickets	74
7.2.3	Overige prijismaatregelen	75
7.3	Capaciteitsbeleid Nederlandse luchthavens	75
7.3.1	Jaarlimieten	75
7.3.2	Luchthaven Lelystad	75
7.4	Aanvullend capaciteitsbeleid Schiphol	75
7.4.1	Uurlimieten aantal vliegtuigbewegingen	75
7.4.2	Limiet op aantal bewegingen op de vierde baan	76
7.4.3	Limiet op aantal woningen binnen 58 dB(A) L_{DEN} -contour	76
7.4.4	50/50-regel.	77
7.5	Land- en luchtzijdige verbindingkwaliteit	78

8. Modeloutput **80**

8.1	Inleiding	80
8.2	Standaard outputtabellen	80
8.3	Passagiers	81
8.4	Luchtvracht	82
8.5	Vliegtuigbewegingen	82
8.6	Milieueffecten	83

Bronnen **84**

Appendices **85**

Appendix A:	Bestandsstructuur van het model	86
A.1	Modelbestanden	86
A.2	CSV invoerbestanden	88
A.3	GMS invoerbestanden	90
Appendix B:	Algoritmen baangebruik en geluidsberekening Schiphol	94
B.1	Bepalen Hoeveelheid geluid	94
B.2	Seizoensinvloeden en variatie dag volumes	95
B.3	Aantal bewegingen op de tweede start- of landingsbaan	95
B.4	Duur gebruik tweede start- of landingsbaan	96
B.5	Aantal bewegingen op de 4 ^e baan	97
B.6	Aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} contour	97
Appendix C:	Standaardparameters voor algoritmes	100
C.1	Fractie 2 ^{de} baan	100
C.2	Duur 2 ^{de} baan	101
C.3	Fractie 4 ^{de} baan	103
C.4	Utilisatie 4 ^{de} baan	104
Appendix D:	Luchtzijdige LoS input	105
D.1	Invoer op basis van het NETSCAN model	105

D.2	Indeling van luchtvaartmaatschappijen in allianties	106
D.3	Internationale hubs	141

Afkorting

ACCM	Airport Catchment area and Competition Model
AEOLUS	Geen afkorting; AEOLUS is de god van de winden in de Griekse en Romeinse mythologie.
BNP	Bruto Nationaal Product
FF	Full Freighter
FSC	Full-Service Carrier
GDP	Gross Domestic Product (Engelse vertaling van BNP)
GTU	Grootteklasse (G), Techno­logie­klasse (T), moment van de dag (U) indeling van vluchten
HB	Herkomst-Bestemming
HSL	Hogesnelheidslijn
dB(A) L_{den}	Level day-evening-night, Europese maat om de geluidsbelasting door omgevingslawaai over een hele dag uit te drukken. De eenheid is dB(A), afgeleid van de gewone decibel, maar corrigeert de geluidssterktes voor de gevoeligheid van het menselijk oor.
LoS	Level of Service
LCC	Low Cost Carrier
LTO	Landing and Take-Off
MHG	Maximale Hoeveelheid Geluid
MTOW	Maximum Take-Off Weight
OAG	Official Airline Guide
OD	Origin Destination
OV	Openbaar Vervoer
TVG	Totaal Volume Geluid
VoT	Value of Time, ofwel de waardering van een uur tijd in geld
VoWT	Value of Waiting Time, ofwel de waardering van een uur wachttijd

1. Inleiding

Dit document is de eerste versie van de technische documentatie van het Nederlandse luchtvaartmodel AEOLUS. Het beschrijft de versie AEOLUS 2018, die is opgeleverd aan het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in januari 2019. De documentatie wordt uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL).

1.1 Beschrijving in een notendop

AEOLUS is een prognose- en simulatiemodel dat voor een bepaald toekomstscenario het aantal luchtreizigers, de hoeveelheid luchtvracht en het aantal vliegtuigbewegingen voor Nederlandse luchthavens per jaar berekent. De officiële zichtjaren zijn 2030 en 2050. Passagiers kunnen worden uitgesplitst naar reismotief, herkomst, bestemming en vliegroute (combinatie van vertrekluchthavens, alliantie en directe vlucht of overstap op een hub). 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 banen¹, de geluidsemisatie en het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den}-contour berekend. Het model kan rekening houden met capaciteitslimieten van luchthavens (jaarcapaciteit, baancapaciteit, en voor Schiphol met de specifieke regels voor het 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 de actuele versie is het jaar 2017. Voor dit jaar is ervoor gezorgd dat op alle Nederlandse luchthavens de berekende passagiersaantallen, de vrachtvolumes en de vliegtuigbewegingen overeenstemmen met de waargenomen aantallen². Ook zijn de LTO-emissies en de Maximale Hoeveelheid Geluid (MHG) van de berekeningen gelijk aan de gerealiseerde emissies volgens de handhavingsrapportage Schiphol. 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. Indien de vraag groter is dan de beschikbaar capaciteit (fysieke limiet of beleidsmaatregelen) worden schaarstekosten³ geïntroduceerd, die ervoor zorgen dat de vraag wordt gereduceerd.

De vraagkant wordt gedreven door de macro-economische en demografische ontwikkeling. Dat zijn concreet de bevolkingsgroei, de groei in inkomen en de groei van de (wereld)handel. Met behulp

¹ De Polderbaan en de Kaagbaan zijn de primaire banen. Het gebruik van deze banen zorgt voor de minste geluidsoverlast, waardoor deze banen het meest worden gebruikt voor starts en landingen. De andere drie grote banen (Buitenveldertbaan, Aalsmeerbaan, Zwanenburgbaan) zijn de secundaire banen. Zij worden ingezet als er voldoende verkeer is of als de primaire banen buiten gebruik zijn (bijvoorbeeld bij bepaalde windrichtingen).

² 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.

³ Schaarstekosten zijn een modelconstruct om de vraag te beperken tot de beschikbare capaciteit en geen werkelijke kosten. In werkelijkheid is het wel aannemelijk dat tarieven bij schaarste gaan stijgen, maar het AEOLUS model is niet ontwikkeld om mogelijke tariefaanpassingen van luchtvaartmaatschappijen te voorspellen.

van diverse elasticiteiten, de ontwikkeling van de reistijdwaardering, van de landzijdige bereikbaarheid, van de vluchttijden, 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 vliegtuigbewegingen bepalen de geluidsemissies op de luchthavens. Worden de capaciteiten (geluid en/of aantal bewegingen) bereikt, dan ontstaan schaarstekosten, 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, reguliere trein, hogesnelheidstrein (HSL) of vliegtuig), de routekeuze (vertrekluchthaven, directe of indirecte vlucht, alliantie) en het voortransport naar de luchthaven (Park & Fly, Kiss & Fly, openbaar vervoer of taxi). Het model houdt hierbij rekening met het verschillende keuzegedrag van zakelijke/niet-zakelijke passagiers 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 of belastingmaatregelen te berekenen. Om geactualiseerde luchtvaartprognoses te kunnen berekenen zijn uitgangspunten met betrekking tot het capaciteitsbeleid noodzakelijk.

1.2 Toepasbaarheid van het model

AEOLUS is een globaal model (zonegrootte in Nederland = COROP/provincie; Europa = land; Wereld = continent). Het model 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 bestemmingen (modelzones), 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. Het model kent geen piek en dal patroon van vluchten en rekent met gemiddelde uurcapaciteiten voor de verschillende dagdelen⁴. 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

⁴ Op deze manier kan rekening worden gehouden met limieten op het aantal nachtvluchten.

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.

Hieraan moet 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 piekruimcapaciteit 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.⁵. 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.

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 WLO (CPB & PBL, 2016).

De meest actuele aannames over de restricties zijn gemaakt in augustus 2018⁶. Deze wijken af van de aannames tijdens de WLO 2015 en staan beschreven in Significance & To70 (2018). Bij sommige aannames is voor een bepaalde interpretatie gekozen waarover op dat moment nog geen overeenstemming bereikt was of waarvan niet bekend was of deze überhaupt van toepassing zullen zijn (bijvoorbeeld de 50/50-regel voor Schiphol en de eventuele invulling daarvan). Aannames zijn noodzakelijk om geactualiseerde luchtvaartprognoses te kunnen berekenen en er wordt door deze aannames te formuleren 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.

De volgende lijst geeft een overzicht over de belangrijkste aannames voor AEOLUS.

⁵ De gebruiker kan zelf aannames formuleren en de jaarcapaciteit op het aantal vliegtuigbewegingen per luchthaven zo instellen, dat gewenste limieten niet worden overschreden. Als bijvoorbeeld de terminalcapaciteit het totaal aantal passagiers beperkt tot een maximum, kan via enkele runs de bijhorende limiet op het aantal vliegtuigbewegingen worden vastgesteld.

⁶ Tijdens het opstellen van deze documentatie (juli 2020) blijkt een deel van de aannames al weer ter discussie te staan.

Algemene 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 luchtvaart). Door vlootvervangning en vlootuitbreiding groeien deze in de vloot met het gevolg dat de emissies van geluid en schadelijke stoffen per toestel dalen.
- General Aviation (burgerluchtvaart met uitzondering van charterverkeer en lijndiensten) is geen onderdeel van AEOLUS.

Aannames over restricties:

De volgende aannames zijn opgesteld voor de geactualiseerde luchtvaartprognoses in 2018 (Significance & To70 (2018).):

- 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 regel⁷ wordt verwacht dat er bijna geen groei mogelijk is van het aantal vliegtuigbewegingen op Schiphol tenzij de piekcapaciteit omhoog gaat. 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 de geactualiseerde luchtvaartprognoses in 2018. 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 731.000⁸ 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.

1.4 Leeswijzer

In deze technische rapportage wordt de werkwijze van het AEOLUS-model beschreven. Dit houdt in een gedetailleerde beschrijving van de werking van het model inclusieve formules, invoer,

⁷ In principe worden op Schiphol maximaal drie start- en landingsbanen tegelijk gebruikt (2 start en 1 landing en vice versa). Om pieken te kunnen verwerken mogen gemiddeld per jaar 40 vliegtuigbewegingen per dag op een vierde baan plaatsvinden; het maximum op een dag bedraagt 80 (daar moeten dan dus een aantal dagen met minder dan 40 tegenover staan).

⁸ De maximale baancapaciteit in 2050 wordt berekend uit de aannames over de piekcapaciteit (126 vluchten per uur), de maximale opvulfactor (95%) en de maximale nachtcapaciteit (32.000 vluchten). Hieruit wordt de baancapaciteit berekend als volgt: $126 \text{ vluchten/uur} * 0.95 * 16 \text{ uur} + 32.000 \text{ vluchten} = 731.000 \text{ vluchten}$.

uitvoer, knoppen, een overzicht van alle begrippen en definities, zoals en beschrijving van de bestandsstructuren. Bij het opstellen is gelet op een duidelijk onderscheid tussen de inhoudelijke technische beschrijving, definities en parameters en bestandsstructuren, welke van belang is in verband met de onderhoudbaarheid van de technische documentatie.

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht van het model gegeven. In hoofdstuk 3 is de passagiersmodule beschreven en in hoofdstuk 4 de vrachtmodule. Daarop bouwend beschrijft hoofdstuk 5 de vliegtuigbewegingenmodule, die de vraag van passagiers en vracht in vliegtuigbewegingen omzet. Randvoorwaarden voor de oplossing van het model zijn door milieueffecten (hoofdstuk 6) en beleidsmaatregelen gegeven (hoofdstuk 7). In hoofdstuk 8 is de modeloutput overzichtelijk beschreven.

2. Modelopzet

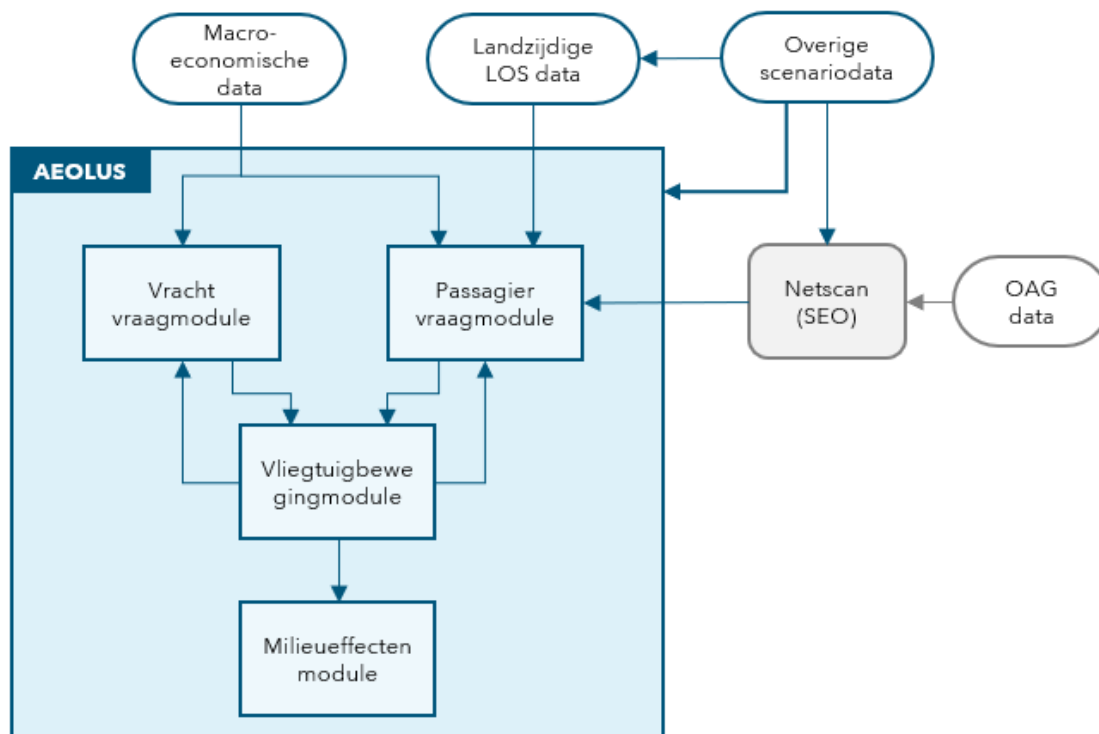
AEOLUS berekent prognoses voor passagiers, luchtvracht en vliegtuigbewegingen voor alle Nederlandse luchthavens t/m 2050 en kan rekening houden met capaciteitsrestricties en beleidsmaatregelen. Bij de resultaten kunnen passagiers en vliegtuigbewegingen gedetailleerd worden uitgesplitst en worden bovendien geluid- en milieuemissies van het vliegverkeer berekend.

2.1 Modules

Het model bestaat uit vier modules, te weten:

- Passagiersmodule;
- Vrachtmodule;
- Vliegtuigbewegingenmodule en;
- Milieueffectenmodule.

Figuur 1 geeft een schematisch overzicht van de relaties tussen deze deelmodellen. De modules zijn aangegeven met dikgedrukte rechthoeken.



Figuur 1. Overzicht van de AEOLUS modelstructuur

De Passagiersmodule berekent het aantal passagiers dat gebruik maakt van de Nederlandse luchthavens. Dit model maakt gebruik van macro-economische scenario input (onder andere GDP groeicijfers), de landzijdige LoS input (reistijden, afstanden en kosten per vervoerwijze naar alle

luchthavens in het achterland en parkeertarieven op deze luchthavens) en de luchtzijdige LoS (vliegroutes, allianties, ticketprijzen, vliegtijden, vliegfrequenties, concurrentiegraad en aantal bestemmingen).

De Vrachtmodule berekent de hoeveelheid vracht in tonnen die vanaf/naar Schiphol en Maastricht wordt vervoerd. Het gebruikt hiervoor macro-economische scenario input (groecijfers over de handelsontwikkeling).

In de Vliegtuigbewegingenmodule wordt het aantal vliegtuigbewegingen berekend aan de hand van het aantal passagiers en de hoeveelheid vervoerde vracht die in de voorgaande modules berekend zijn. Als de passagiers en de vracht binnen de capaciteitsrestricties vervoerd kunnen worden gaat het model verder, indien dit voor een Nederlandse luchthaven niet het geval is wordt de vraag naar passagiersvervoer en vrachtvervoer via schaarstekosten (ook schaduwrijzen genoemd) gereduceerd. Hiervoor worden die passagiersmodule en de vrachtmodule rekening houdend met schaarstekosten opnieuw doorlopen (gerestricteerde situatie). Het is ook mogelijk het model zonder capaciteitsrestricties te draaien. Bij deze instellingen is geen terugkoppeling van de Vliegtuigmodule met de Passagiersmodule en de Vrachtmodule nodig. Deze ongerestricteerde situatie is belangrijk om de vraag naar vliegen zonder restricties te kunnen bepalen.

In de Milieueffectenmodule worden de CO₂- en de LTO-emissies van de vliegtuigbewegingen berekend.

2.2 Methodiek

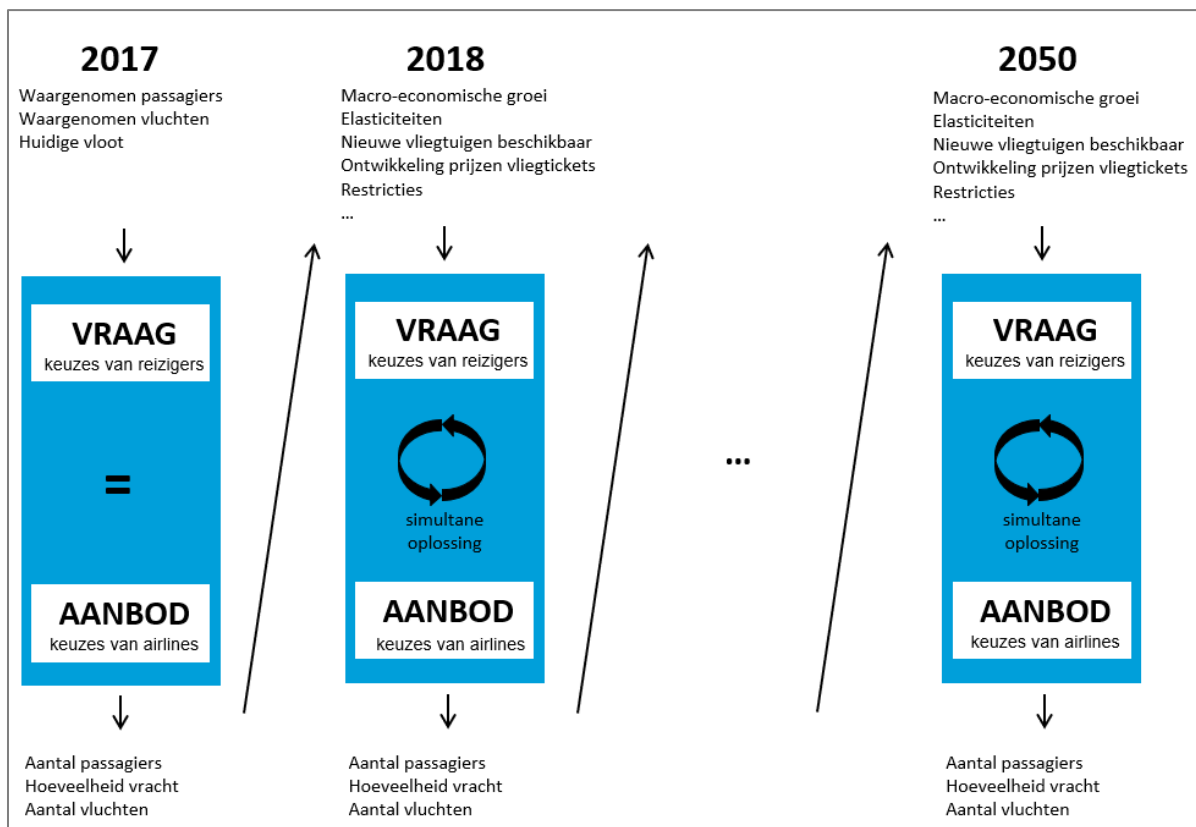
Het model heeft als basisjaar 2017 en twee officiële zichtjaren, 2030 en 2050. Voor het basisjaar en de twee zichtjaren zijn gedetailleerde invoerbestanden voor de luchtzijdige bereikbaarheid (ook luchtzijdige LoS genoemd) opgesteld met de ticketprijzen en vliegtijden voor alle relevante routes. De meeste andere invoer zoals capaciteitslimieten of groecijfers (zie 2.5) kunnen worden ingegeven per periode van 10 jaar. Per jaar worden uit deze gegevens door het toepassen van de groeifactoren of door interpolatie de invoerwaardes berekend. Deze jaar op jaar doorrekening heeft twee redenen:

- Op het moment dat capaciteitsrestricties bereikt worden heeft dat effect op de keuzes van de passagiers en de keuzes van luchtvaartmaatschappijen (vlootinzet). De keuzes van luchtvaartmaatschappijen bij de vlootinzet (uitbreiding en vervanging) beïnvloeden ook alle volgende jaren omdat vliegtuigen vele jaren in dienst blijven. Het moment waarop een limiet wordt bereikt heeft daarom invloed op de resultaten in de officiële zichtjaren.
- Door ieder jaar te berekenen kunnen ook de effecten (van beleidsmaatregelen) in ieder jaar worden geëvalueerd. Dit gebeurt door vraag en aanbod met elkaar te vergelijken en in evenwicht te brengen voor alle tussenliggende jaren.

Figuur 2 geeft een schematisch overzicht op welke manier dit evenwicht per jaar wordt berekend. In het basisjaar zijn de discrete keuzemodellen voor de passagierskeuze gekalibreerd waardoor deze de passagiersaantallen per luchthaven correct berekenen. Bij de luchtvracht zijn de vervoerde tonnen per luchthaven directe input. De correcte aantallen vliegtuigbewegingen per luchthaven zijn via de bezettings- en beladingsgraden gekalibreerd en komen overeen met de waargenomen aantallen. Voor ieder volgend jaar worden de veranderingen van de vraag voor passagiers en vracht per luchthaven op basis van macro-economische groei, demografische ontwikkelingen en van veranderingen in de LoS voor voortransport naar de luchthavens en voor de hoofdvervoerwijzen (vliegtuig, auto, reguliere trein, HSL) berekend. Rekening houdend met de geldende capaciteitsrestricties per luchthaven, wordt het evenwicht tussen vraag en aanbod berekend.

Omdat het model rekening kan houden met een beperkte capaciteit van luchthavens (fysiek of beleidsmatig) is een optimalisatieproces geïmplementeerd waarin de vraag met behulp van schaarstekosten zolang wordt gereduceerd tot dat de vraag net binnen de beschikbare capaciteit afgehandeld kan worden. De schaarstekosten worden per luchthaven berekend waardoor passagiers uitwijken naar andere luchthavens (met lagere schaarstekosten), naar andere vervoermiddel (auto, reguliere trein, HSL) of minder reizen. Voor luchtvracht wordt de vraag naar vrachtvervoer voor de betreffende luchthaven via schaarstekosten en de kostenelasticiteit voor vracht gereduceerd. Het optimalisatieproces wordt besproken in hoofdstuk 5.6.

Voor ieder jaar worden de resultaten met en zonder restricties weggeschreven, waardoor het mogelijk is de niet geaccommodeerde vraag door capaciteitsrestricties te bepalen.



Figuur 2. Schema jaar-op-jaar doorrekening

2.3 Software omgeving

Het model is geprogrammeerd in het General Algebraic Modeling System (GAMS9). In deze omgeving wordt het optimalisatieprobleem (zie Figuur 2) beschreven in een stelsel van vergelijkingen, die allemaal simultaan worden opgelost onder een minimalisatie van de schaarstekosten (zie 5.5.4 en 5.5.5).

De routine die de evenwichtoplossing zoekt in geval van capaciteitsbeperkingen: Voor elk jaar (vanaf het basisjaar tot en met het zichtjaar 2050) wordt intern een simultaan stelsel vergelijkingen opgelost. Aan deze oplossing worden enkele randvoorwaardes gesteld. En om efficiënt tot een

⁹ www.gams.com

optimale oplossing te komen is het ook aan te bevelen om zinvolle startwaardes aan de op te lossen parameters te geven.

Elk jaar wordt in maximaal 4 stappen opgelost. De uitkomst van de ene stap wordt gebruikt als beginpunt voor het GAMS-oplosalgoritme van de volgende stap. De uitkomst van het ene jaar wordt weer gebruikt als beginpunt voor de eerste stap van het volgende jaar. In 5.6 worden de stappen toegelicht.

2.4 Dimensies

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven over de dimensies van het model.

- Herkomsten en bestemmingen, zie ook Tabel 1
 - Passagiers: 56 zones
 - i) Achterland: 27 zones in Nederland + 6 zones in Europa (zie Tabel 1)
 - ii) Rest van de wereld: 11 zones in Europa en 12 zones buiten Europa
 - Luchtvracht: 7 wereldregio's
 - i) West-Europa
 - ii) Oost-Europa
 - iii) Noord-Amerika
 - iv) Latijns-Amerika
 - v) Afrika
 - vi) Midden-Oosten
 - vii) Verre Oosten
 - Reizigers:
 - Types passagiers:
 - i) Originating: Dit zijn inwoners van Nederland en direct omliggende delen in het buitenland die een luchthaven in het achterland (Nederland, België, Luxemburg, noordelijk deel Frankrijk, westelijk deel Duitsland) gebruiken om ergens anders naartoe te reizen. Ze beginnen hun vliegreis in dit gebied en keren aan het einde van hun reis hier naar terug.
 - ii) Destinating: In deze groep bevinden zich alle passagiers die in de tegenovergestelde richting van de originating passagiers reizen. Deze passagiers beginnen hun reis ergens op de wereld, arriveren op een luchthaven in het achterland en reizen uiteindelijk weer richting hun herkomstzone.
 - iii) Transfer: Dat zijn alle passagiers die een overstap maken op Schiphol.
 - Reismotief:
 - i) Zakelijk (zaken/werk¹⁰)
 - ii) Niet-zakelijk (congres/studie, familie/vrienden, vakantie, emigratie, sport, medisch)
 - Routekeuze passagiers:

¹⁰ Indeling in Continue Onderzoek Schiphol.

- Voortransportmiddel van/naar de luchthaven in het achterland¹¹
 - i) Auto (en parkeren op de luchthaven)
 - ii) Kiss & Fly (brengen en halen door een bekende)
 - iii) Reguliere trein
 - iv) Hogesnelheidstrein (HSL)
 - v) Taxi
- 14 luchthavens voor vertrek en aankomst in het achterland
 - i) 6 luchthavens in Nederland (Amsterdam, Eindhoven, Rotterdam, Maastricht, Groningen en Lelystad)
 - ii) 8 luchthavens in het buitenland (Niederrhein, Düsseldorf, Keulen-Bonn, Frankfurt, Brussel, Charleroi, Luxemburg en Parijs)
- Direct/indirect
 - i) Directe verbinding
 - ii) Via één van 162 internationale hubs (voor details zie Appendix D)
- Luchtvaartmaatschappijen ingedeeld in allianties (voor details zie Appendix D):
 - i) Sky Team
 - ii) Star Alliance
 - iii) One World
 - iv) Overige Full Service Carriers
 - v) Low Cost Carriers
- Luchtvracht
 - Vrachtluchthavens
 - i) Amsterdam
 - ii) Maastricht
 - Vrachtvervoer
 - i) Full Freighter
 - ii) Belly van passagevlucht
- Vliegtuigtypes en vertrektijden
 - 9 grootteklassen conform (NLR, 2014)
 - 6 technologieklassen conform (NLR, 2014)
 - 4 dagdelen
 - i) Ochtend (07:00 – 12:00)
 - ii) Middag (12:00 – 19:00)
 - iii) Avond (19:00 – 23:00)
 - iv) Nacht (23:00 – 07:00)

¹¹ De voortransportmiddelkeuze aan de herkomst-/bestemmingskant buiten het achterland is geen onderdeel van het model.



Figuur 3. Overzichtskaart met een schematische weergave van het achterland en de locaties van de achterland luchthavens.

Tabel 1. Zonenindeling en luchthavens in het achterland (Nederland en aangrenzende regio's in het buitenland) en de bestemmingszones inclusief de bijhorende indeling in wereldregio's.

Zones achterland	Luchthavens	Zones buiten achterland	Wereldregio's
Amsterdam	AMS Schiphol	Hannover/Bremen	West-Europa
Schiphol regio		Hamburg	West-Europa
Hilversum regio		Zuid Duitsland	West-Europa
Haarlem regio		Oost-Duitsland	West-Europa
Noord-Holland overig		Londen	West-Europa
Den Haag regio		Groot-Brittannië overig	West-Europa
Rotterdam regio	RTM Rotterdam	Lyon/Marseille	West-Europa
Gouda regio		Frankrijk overig	West-Europa
Zuid-Holland overig		Denemarken	West-Europa
Utrecht provincie		Scandinavië	West-Europa
Zeeland provincie		Zwitserland/Oostenrijk	West-Europa
Eindhoven regio	EIN Eindhoven	Spanje	West-Europa
Noord-Brabant overig		Portugal	West-Europa
Arnhem regio		Italië	West-Europa
Gelderland overig		Griekenland	West-Europa
Maastricht regio	MST Maastricht	Zuidoost-Europa	Oost-Europa
Limburg overig		Oost-Europa	Oost-Europa
Overijssel		VS Noordoost	Noord-Amerika
Drenthe		VS Zuidoost	Noord-Amerika

Zones achterland	Luchthavens	Zones buiten achterland	Wereldregio's
Groningen provincie	GRQ Eelde	VS Noord	Noord-Amerika
Friesland		VS Zuidwest	Noord-Amerika
Flevoland	LEY Lelystad	Canada	Noord-Amerika
België	BRU Brussel CRL Charleroi	Centraal Amerika	Latijns-Amerika
Luxemburg	LUX Luxemburg	Zuid-Amerika	Latijns-Amerika
Düsseldorf/Keulen	DUS Düsseldorf CGN Keulen-Bonn NRN Niederrhein-Weeze	Afrika	Afrika
Frankfurt e.o.	FRA Frankfurt	Midden-Oosten	Midden-Oosten
Parijs e.o.	CDG Parijs	Australië/ Nieuw Zeeland	Verre Oosten
		Zuidoost-Azië	Verre Oosten
		Azië overig	Verre Oosten

2.5 Invoer

Het AEOLUS model is gekalibreerd op een aantal databronnen in het basisjaar. Daarnaast zijn verschillende aannames nodig voor het opstellen van luchtvaartprognoses t/m 2050. Deze kunnen voor periodes van 10 jaar worden ingevoerd. Voor de doorrekeningen zijn twee standard scenario's (WLO Laag en WLO Hoog) beschikbaar. De volgende lijst geeft een overzicht van de invoergegevens en de bron op basis waarvan deze zijn afgeleid:

- Basisjaar:
 - Basismatrix voor passagiers op Schiphol in de dimensies zakelijk/niet-zakelijk, OD/transfer (Schiphol Continue Onderzoek 2017);
 - Basismatrix luchtvracht (Eurostat);
 - Verdelingen van vliegtuigtypes (grootteklasse, technologieklasse, aandeel per periode van de dag, vliegrichting) voor alle vliegtuigbewegingen op Nederlandse luchthavens apart voor passagevluchten en Full Freighters (Schiphol Statistiek 2017 voor Amsterdam en Eurostat voor andere luchthavens);
 - Landzijdige level of service voor voortransport naar luchthavens (reistijden en kosten voor vervoer met auto, reguliere trein en HSL op basis van LMS¹² met basisjaar 2014, correctie naar 2017 op basis van CBS brandstofprijzontwikkeling, taxikosten (via websites van één of meerdere taxibedrijven per provincie naar de luchthavens van Schiphol, Rotterdam, Eindhoven, Brussel en Düsseldorf) en parkeerkosten op basis van internetrecherche op de websites van alle luchthavens);
 - Landzijdige level of service voor hoofdtransport met auto, reguliere trein en HSL (internetrecherche op basis van Google Maps);
 - Luchthavenheffingen voor vertrek of transfer en nationale opstapbelastingen (internetrecherche via KLM-ticketshop, heffingen worden apart getoond);

¹² 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.

- Basisjaar en zichtjaren:
 - Luchtzijdige level of service voor het basisjaar en de zichtjaren 2030 en 2050 (SEO berekeningen met het NETSCAN-model (zie Appendix D:) op basis van OAG data);
- Per periode van 10 jaar:
 - Groeifactoren voor ontwikkeling van bevolking, Bruto Nationaal Product en handel (WLO 2015, opgesteld door CPB en PBL);
 - Fysieke en beleidsmatige capaciteitsrestricties voor luchthavens (opgesteld door de Directie Luchtvaart van IenW in overleg met CPB, PBL en de luchtvaartsector);
 - Overige uitgangspunten (opgesteld door de Directie Luchtvaart van IenW in overleg met CPB, PBL en de luchtvaartsector);
- Generieke input (per grootteklasse en technologieklasse):
 - Kengetallen geluidsemissies per vliegbeweging op Schiphol (To70 berekeningen op basis van ECAC Doc29 methodiek en Concept MER NNHS, Significance & To70 (2017).);
 - Kengetallen LTO-emissies (To70 berekeningen op basis van Regeling Milieuinformatie Schiphol (RMI), ICAO-emissie tabellen en Concept MER Schiphol NNHS, Significance & To70 (2018));
 - Kengetallen CO₂-emissies (combinatie van SEO berekeningen op basis van de EUROCONTROL Base of Aircraft Data (BADA) en Significance berekeningen op basis van de ICAO emission calculator, Significance & To70 (2018).).

2.6 Uitvoer

Het model berekent het aantal passagiers¹³ (OD en transfer), de hoeveelheid luchtvracht en het aantal vliegtuigbewegingen voor de Nederlandse luchthavens. Passagiers kunnen verder worden uitgesplitst naar herkomsten, eindbestemmingen, route, alliantie, motief en voorttransportmiddel naar de luchthaven. Luchtvracht wordt minder gedetailleerd gemodelleerd. Daarom kan in de uitvoer alleen de totale hoeveelheid (in tonnen en aantal Full Freighters), de verdeling over Full Freighters en belly's van passagevliegtuigen en de herkomst/bestemming op werelddeel-niveau uitgesplitst worden.

Per luchthaven en route worden bovendien de types toestellen (grootteklasse en technologieklasse) van alle vliegtuigbewegingen en hun verdeling van starts en landingen over de periodes van de dag gemodelleerd. Op basis van deze gegevens kunnen de LTO-emissies, de CO₂-emissies en het brandstofverbruik afgeleid worden. Voor Schiphol worden bovendien de verdelingen over de primaire en secundaire banen, het gebruik van de vierde baan en de geluidsemissies MHG en aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{DEN}-contour berekend.

De uitkomsten worden per jaar berekend met en zonder capaciteitsrestricties waardoor de effecten op de passagierskeuze, keuzes van luchtvaartmaatschappijen en vliegtuigbewegingen zichtbaar gemaakt kunnen worden.

¹³ Omdat de hoofdvervoerwijzekeuze gemodelleerd wordt, berekent het model ook het aantal reizigers per auto, reguliere trein en HSL tussen de achterlandzones en zones buiten het achterland. Dit is nodig om de effecten van beleidsmaatregelen op luchtvaart correct te kunnen berekenen. De gegevens zijn niet geschikt als prognoses voor langeafstandsverplaatsingen met grondgebonden vervoer.

2.7 Beleidsmaatregelen

Het model is om geschikt verschillende beleidsmaatregelen door te rekenen. Omdat de verdeling van vliegtuigbewegingen over de banen en de geluidsberekeningen alleen voor Schiphol geïmplementeerd zijn, kunnen effecten van beleidsmaatregelen die invloed hebben op de verdeling over de banen of op de geluidsemissies ook alleen voor Schiphol worden berekend.

De volgende beleidsmaatregelen en combinaties ervan kunnen worden doorgerekend:

- Prijsmaatregelen vliegen:
 - Heffing op vertrekkende vluchten (tarief per ton Maximum Take-off Weight (MTOW) afhankelijk van technologieklasse en Full Freighter/passagevlucht), doorberekening van de kosten op OD-passagiers, transferpassagiers en luchtvracht
 - (Afstandsafhankelijke) opstapheffing voor OD-passagiers
 - Heffing voor transferpassagiers
 - Heffing op vracht (per ton)
 - Heffing op tickets (bijvoorbeeld BTW)
 - Heffing op kerosine
- Capaciteitsrestricties:
 - Maximaal aantal vliegtuigbewegingen (jaarlimiet)
 - Maximaal aantal nachtvluchten (jaarlimiet, alleen Schiphol)
 - Maximaal aantal vliegtuigbewegingen per dagdeel (uurlimiet)
 - Maximaal aantal starts per dagdeel (uurlimiet, alleen Schiphol)
 - Maximaal aantal landingen per dagdeel (uurlimiet, alleen Schiphol)
 - Maximaal aantal vliegtuigbewegingen op de vierde baan (daglimiet, alleen Schiphol)
 - Maximaal aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour (alleen Schiphol)
 - Opvulfactor piekpatroon (alleen Schiphol)
 - Toepassing van de 50/50-regel¹⁴ (op basis van aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour, alleen Schiphol)
- Maatregelen die leiden tot verplaatsing van vluchten:
 - Opening luchthaven Lelystad
 - Verplaatsing Low Cost Carrier (LCC) en chartervluchten naar Lelystad. Deze maatregel betekent dat een bepaald percentage van de LCC vluchten niet meer vanaf Schiphol maar vanaf Lelystad vertrekt. De ticketprijzen, en vliegtijden blijven ongewijzigd.
- Overige maatregelen:
 - Veranderingen in bereikbaarheid van luchthavens (reistijden en kosten voor vervoer, parkeerkosten)
 - Verandering in beschikbaarheid, reistijden en kosten van concurrerende vervoermiddelen (auto, reguliere trein, HSL) voor reizen binnen Europa.

De beleidsmaatregelen zijn in de verschillende modules van het model toegepast.

¹⁴ Verdeling van de milieuwinst wegens stillere vliegtuigen in gelijke delen over de luchtvaartsector (ruimte voor extra luchtverkeer) en de omgeving (minder geluidhinder).

2.8 Elasticiteiten

In het model wordt voor de prognose van de vraag gebruik gemaakt van verschillende elasticiteiten. Hun waarde kan worden ingevoerd voor iedere periode van 10 jaar. Voor sommige elasticiteiten wordt verondersteld dat deze constant zijn terwijl andere variëren over de tijd (zie Tabel 2, c voor constant en v voor variabele elasticiteiten). De elasticiteiten zijn vastgesteld in afstemming met het PBL en het CPB tijdens de WLO2015 (CPB & PBL, 2016). Alle elasticiteiten worden voor stijgingen en dalingen op dezelfde manier toegepast.

De ontwikkeling van de vraag naar passagiersvervoer over alle modaliteiten is afhankelijk van de bevolkingsontwikkeling, de inkomensontwikkeling en de handelontwikkeling. Voor luchtvracht is in het model alleen een afhankelijkheid van de handelontwikkeling verondersteld.

Bovendien zorgen verbeteringen van de vliegverbindingen (lagere ticketprijzen, kortere vliegtijden en hogere verbindingsfrequenties) voor aanvullende groei van de vraag naar vervoer. Voor reizen binnen Europa komen hier bovenop effecten van veranderingen in de vervoerwijzekeuze (vliegtuig, auto, reguliere trein, HSL) die in het model met behulp van discrete keuzemodellen gemodelleerd worden. Per route leveren deze modellen een elasticiteit. Deze is dus een uitkomst van de berekeningen en geen invoer.

Tabel 2. Overzicht van de gebruikte elasticiteiten.

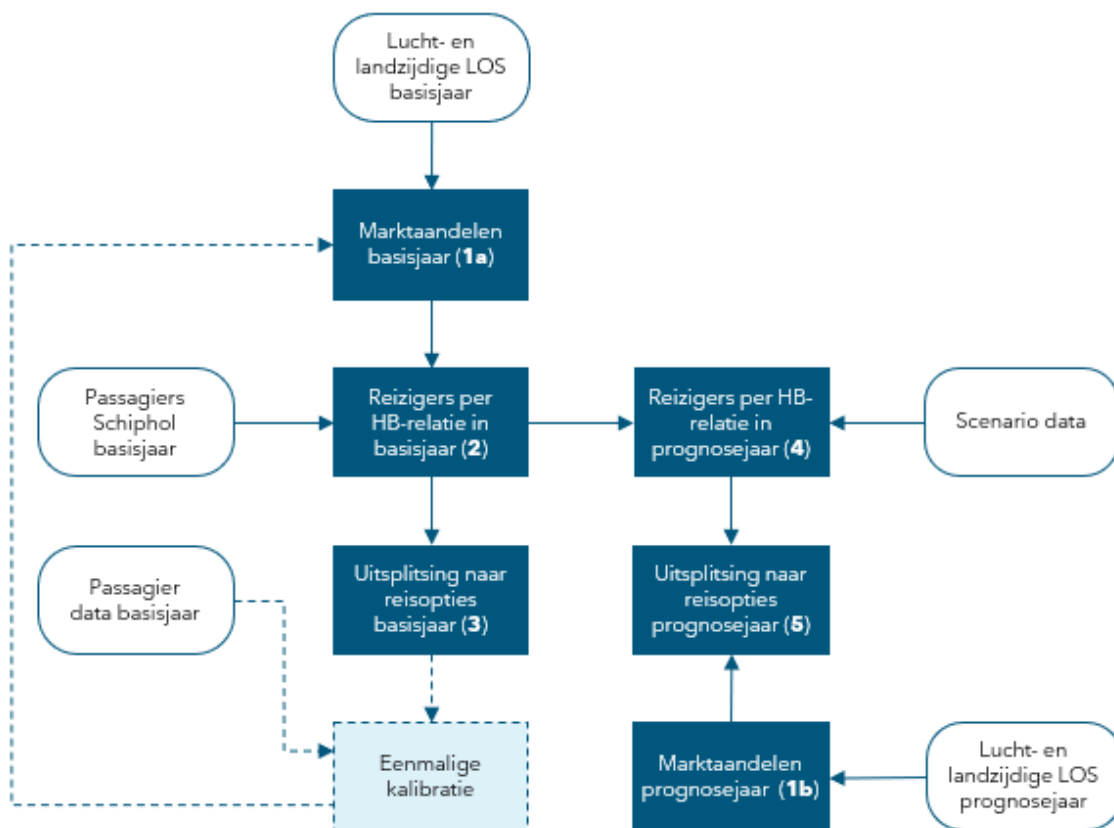
ELASTICITEITEN	WLO-Hoog				WLO-Laag			
	2017-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2017-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Bevolking (c) Niet zakelijk	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Inkomen (v) niet zakelijk, intra Europa	1.15	1.05	0.90	0.80	1.15	1.05	0.90	0.80
Inkomen (v) niet zakelijk, intercontinentaal	1.35	1.25	1.15	1.05	1.45	1.35	1.25	1.15
Handel (v) zakelijk	0.80	0.70	0.65	0.60	0.80	0.70	0.65	0.60
Handel (c) luchtvracht	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Prijs (c) niet-zakelijk	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
Prijs (c) zakelijk	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50
Tijd (c) niet-zakelijk	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
Tijd (c) zakelijk	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50
Frequentie (c) alle passagiers	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

3. Passagiersmodule

De passagiersmodule berekent het aantal reizigers tussen de modelzones en in het bijzonder het aantal reizigers dat per vliegtuig reist. De focus ligt hierbij op luchtvaartreizigers die reizen via een luchthaven in het achterland. Voor deze groep worden ook de vliegroute en de vervoerwijze van of naar de luchthaven gemodelleerd.

3.1 Opzet van de module

De passagiersmodule berekent het aantal passagiers tussen de modelzones voor het basisjaar en de prognosejaren. Hierbij is onderscheid gemaakt naar zakelijke en niet-zakelijke reizigers. Reizigers met een herkomst of bestemming in het achterland zijn onderverdeeld naar originating (woonachtig in het achterland) en destinating (bezoekers van het achterland) reizigers. Een derde categorie reizigers heeft zowel herkomst als bestemming buiten het achterland, maar kunnen er wel een overstap maken. Alle reizigers worden verdeeld over de verschillende allianties (groepen van luchtvaartmaatschappijen) en routes (directe verbinding of via een modelzone met een hub-luchthaven). Voor originating en destinating reizigers worden ook de gebruikte luchthaven in het achterland en de vervoerwijze om deze luchthaven te bereiken gemodelleerd. Figuur 4 laat de structuur van de passagiersmodule zien. De verschillende componenten worden in dit hoofdstuk toegelicht.



Figuur 4. Structuur van de passagiersmodule

Deze sectie geeft ter introductie een kort overzicht van de invoerdata, de verschillende berekeningsstappen en de uitvoer van de module. In het vervolg van dit hoofdstuk worden de genoemde berekeningsstappen in detail uitgewerkt.

Invoer data

Voor het berekenen van passagiersaantallen in prognosejaren is een aantal invoerbestanden nodig. Zoals weergegeven in Figuur 4 gaat het hierbij om de volgende invoer:

- De luchtzijdige level-of-service voor het basisjaar en prognosejaren;
- De landzijdige level-of-service voor het basisjaar en prognosejaren;
- Geobserveerde aantallen luchtvaartreizigers op Schiphol in het basisjaar;
- Macro-economische scenario data voor het basisjaar en prognosejaren.

Daarnaast bestaat de invoer uit een aantal modelparameters; hierbij gaat het om gedragsparameters, values-of-time en verschillende soorten elasticiteiten. Welke parameters dit precies zijn wordt in het vervolg van dit hoofdstuk verder toegelicht. Het keuzegedrag van passagiers kan ook beïnvloed worden door capaciteitsrestricties (via schaarstekosten) en beleidsmaatregelen. Deze onderwerpen komen aan bod in respectievelijk hoofdstuk 5 en 7.

Berekeningsstappen

De berekeningen die uitgevoerd worden in de passagiersmodule bestaan uit vijf opeenvolgende stappen:

1. Berekening van de marktaandelen in het basisjaar en prognosejaren: Hierbij worden discrete keuzemodellen toegepast om reizigers te verdelen over de verschillende hoofdvervoerwijzen, vliegroutes en voor- en natransport vervoerwijzen.
2. Berekening van het totale aantal luchtvaartreizigers in het basisjaar: Dit aantal wordt berekend o.b.v. het marktaandeel van Schiphol en het aantal geobserveerde reizigers dat gebruikt maakte van Schiphol in het basisjaar.
3. Uitsplitsing naar alternatieven in het basisjaar: In deze stap worden de marktaandelen toegepast op het totale aantal reizigers in het basisjaar om het aantal reizigers per vliegroute en per voor- en natransportvervoerwijze te bepalen.
4. Berekening van het totale aantal luchtvaartreizigers in prognosejaren: Door middel van macro-economische groeifactoren wordt het totale aantal reizigers in het basisjaar geschaald naar prognosejaren.
5. Uitsplitsing naar alternatieven in prognosejaren: Tenslotte worden de marktaandelen voor het prognosejaar toegepast op het berekende aantal reizigers om ook hier het aantal reizigers per vliegroute en per voor- en natransportvervoerwijze te bepalen.

Na de derde stap vindt eenmalig een kalibratie van alle relevante marktaandelen plaats. De laatste twee stappen worden vervolgens sequentieel herhaald voor alle prognosejaren.

Uitvoer

De uitvoer van de passagiersmodule bestaat uit het aantal reizigers per hoofdvervoerwijze per HB-relatie voor het basisjaar en de prognosejaren. Dit aantal vliegtuigpassagiers is verder uitgesplitst naar:

- Op- of uitstap luchthaven (voor relaties van of naar het achterland);
- Alliantie;

- Directe vlucht of via een overstapluchthaven;
- De eventuele locatie van de overstap hub;
- Voor- of natransport vervoerwijze binnen het achterland.

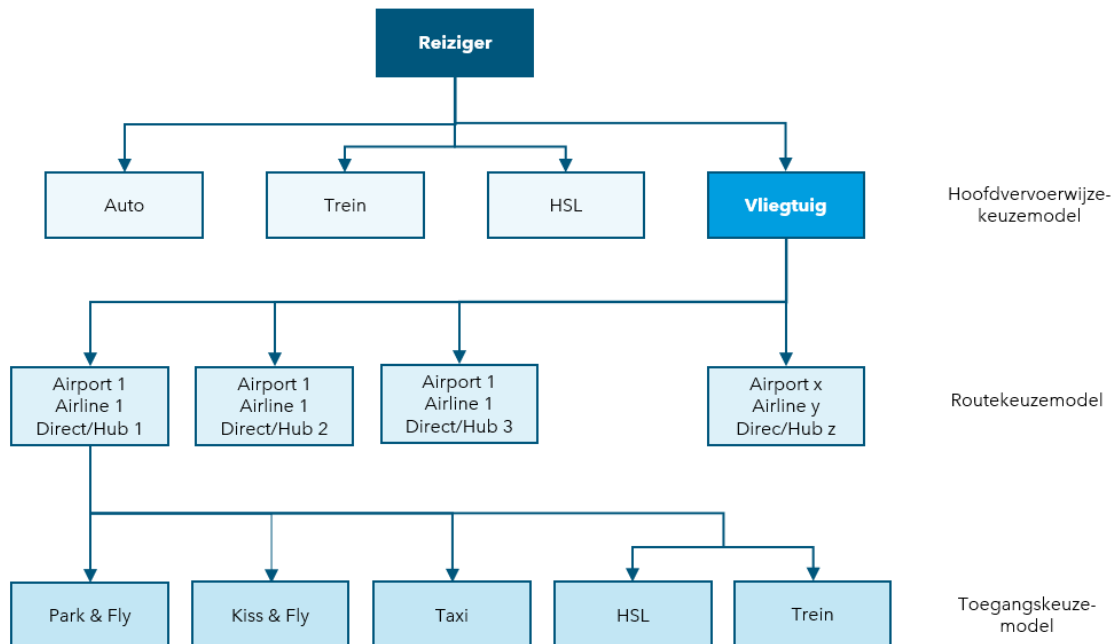
Er wordt daarnaast onderscheid gemaakt tussen twee reismotieven, zakelijke en niet-zakelijke reizen. Verder wordt voor reizen van of naar het achterland onderscheid gemaakt naar type passagier: originating (reizigers die woonachtig zijn in het achterland en daarvandaan en weer terug reizen) en destinating reizigers (bezoekers van het achterland, die naar het achterland en weer terug reizen).

3.2 Marktaandeelen in het basisjaar en prognosejaren (stap 1)

Voor het modelleren van de verschillende keuzes die reizigers maken wordt een discreet keuzemodel gebruikt. Hierbij wordt voor elk alternatief een geobserveerd nut berekend; dit is een maat voor de aantrekkelijkheid van het alternatief. Naast het geobserveerde nut is er ook een error term waarmee rekening gehouden wordt met verschillen in perceptie tussen reizigers en onvolledige informatie. Op basis van deze twee nuttermen wordt een Nested Logit Model toegepast om reizigers over de verschillende alternatieven te verdelen. Deze sectie beschrijft eerst de modelstructuur, daarna worden de verschillende keuzeniveaus apart behandeld.

3.2.1 Modelstructuur

AEOLUS modelleert de hoofdvervoerwijze-, route- en toegangskeuze door middel van een genest logit model. De hierbij toegepaste neststructuur is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5. Keuzeboom van de passagiersmodule

Keuzeboom

Op het bovenste niveau van de keuzeboom wordt de hoofdvervoerwijze gemodelleerd. De hiervoor beschikbare alternatieven zijn vliegtuig, auto en openbaar vervoer; hierin is openbaar vervoer verder uitgesplitst naar reguliere trein en hogesnelheidslijn (HSL). Het niveau daaronder beschrijft de routekeuze binnen het vliegalternatief. Unieke route alternatieven zijn hierbij gedefinieerd door

de aankomst of vertrekluchthaven in het achterland, de alliantie waarmee gevlogen wordt, en via welke (of geen) hub er gereisd wordt. Ten slotte wordt op het laagste niveau gemodelleerd met welke vervoerswijze reizigers van of naar de luchthaven reizen. Hier bestaat de keuzeset uit auto, Kiss and Ride, taxi en openbaar vervoer. Ook hier is openbaar vervoer uitgesplitst naar reguliere trein en HSL.

De niveaus waarin de verschillende keuzes zijn opgenomen in de keuzeboom zeggen niets over een eventuele volgorde waarin reizigers deze keuzes maken. Alle keuzes worden simultaan gemaakt in het model. Dat wil zeggen dat de alternatieven waaruit reizigers kiezen bestaan uit combinaties van een hoofdvervoerswijze en (in geval van vliegen) een route en een voor- en natransport vervoerswijze. Wel is het zo dat er meer substitutie is tussen alternatieven lager in de keuzeboom. Reizigers zullen bijvoorbeeld eerder hun voor- of natransportkeuze aanpassen dan een andere vliegroute kiezen. Op dezelfde manier zullen ze eerder geneigd zijn van route te wisselen dan voor een andere hoofdvervoerswijze te kiezen.

Alternatieven

Welke van de drie gemodelleerde keuzes in de bepaling van reismogelijkheden voor een HB-relatie worden meegenomen hangt af van de locatie van de herkomst- en bestemmingszones. Een overzicht van de meegenomen keuzedimensies is weergegeven in Tabel 3. Voor reizen tussen achterlandzones en Europese zones worden alle drie de keuzes gemodelleerd, voor reizen tussen het achterland en de rest van de wereld alleen de route- en toegangskeuze. Dit zijn intercontinentale relaties waarvoor auto en trein als hoofdvervoerswijze niet realistisch zijn. Voor reizen met zowel herkomst als bestemming buiten het achterland speelt Schiphol alleen een rol als overstapluchthaven en wordt daarom alleen de routekeuze gemodelleerd.

Reizen binnen het achterland zijn in principe geen onderdeel van het model, omdat luchtverkeer hier geen belangrijke rol speelt. Voor het correct doorrekenen van de capaciteitslimieten moeten de belangrijkste vluchten tussen de luchthavens van Amsterdam, Frankfurt en Parijs Charles de Gaulle echter wel worden meegenomen. Hier is alleen de routekeuze gemodelleerd, omdat modellen met voor- en natransportvervoerswijzekeuze binnen het studiegebied het model te complex zouden maken. Qua modellering worden reizen in deze driehoek dus hetzelfde behandeld als reizen met zowel herkomst als bestemming buiten het achterland. Dat betekent ook dat de concurrentie van HSL en vliegtuig op de relaties tussen Amsterdam, Parijs en Frankfurt niet gemodelleerd kan worden. Met vluchten en passagiers tussen andere luchthavens in het achterland (bijvoorbeeld Amsterdam – Brussel) wordt in het model helemaal geen rekening gehouden, omdat de aantallen heel klein zijn.

Schatting parameters

De route- en toegangskeuzemodellen zijn geschat op basis van de Schiphol-enquête¹⁵ 2017 en de KIM-vliegenenquête¹⁶ uit 2016. De observaties uit deze databronnen zijn aangevuld met de land- en luchtzijdige level-of-service variabelen zoals deze in het model gebruikt worden. Voor een beschrijving van de precieze schattingsprocedure wordt verwezen naar het meest recente actualisatierapport (Significance & TO70,2019).

¹⁵ Schiphol Continue Onderzoek, 2017

¹⁶ <https://www.kimnet.nl/publicaties/rapporten/2018/03/22/de-vliegende-hollander>

Tabel 3. In AEOLUS gemodelleerde keuzes per combinatie van herkomst- en bestemmingszone

		Bestemmingszone		
		ACHTERLAND	REST EUROPA	REST WERELD
Herkomstzone	ACHTERLAND	Routekeuze <i>Dit verkeer is in principe geen onderdeel van de analyse. Alleen het directe luchtverkeer tussen Amsterdam, Frankfurt en Parijs wordt meegenomen.</i>	Hoofdvervoerwijzekeuze Routekeuze Toegangskeuze <i>Luchtvaart heeft een aanzienlijk aandeel, maar concurreert met landvervoersmodaliteiten: alle alternatieven zijn mogelijk.</i>	Routekeuze Toegangskeuze <i>Luchtvaart concurreert niet met hoofdvervoersmodaliteiten: auto en trein zijn geen (volwaardige) alternatieven.</i>
	REST EUROPA	Hoofdvervoerwijzekeuze Routekeuze Uitgangskeuze <i>Luchtvaart heeft een aanzienlijk aandeel, maar concurreert met landvervoersmodaliteiten: alle alternatieven zijn mogelijk.</i>	Routekeuze <i>Schiphol speelt nauwelijks een rol als HB-luchthaven, alleen als overstapluchthaven. De hoofdvervoerwijze is hiervoor niet nodig.</i>	Routekeuze <i>Schiphol speelt nauwelijks een rol als HB-luchthaven. Een toegangskeuze is niet van toepassing. Luchtvaart concurreert niet met hoofdvervoersmodaliteiten: auto en trein zijn geen alternatieven.</i>
	REST WERELD	Routekeuze Uitgangskeuze <i>Luchtvaart concurreert niet met hoofdvervoersmodaliteiten: auto en trein zijn geen (volwaardige) alternatieven</i>	Routekeuze <i>Schiphol speelt nauwelijks een rol als HB-luchthaven. Een toegangskeuze is niet van toepassing. Luchtvaart concurreert niet met hoofdvervoersmodaliteiten: auto en trein zijn geen alternatieven.</i>	Routekeuze <i>Schiphol speelt alleen een rol als overstapluchthaven. Een toegangskeuze is niet van toepassing. Luchtvaart concurreert niet met landvervoersmodaliteiten: auto en trein zijn geen alternatieven.</i>

3.2.2 Voor- en natransport vervoerwijzekeuze

Het toegangskeuzemodel modelleert de keuze voor de vervoerwijze waarmee van of naar een luchthaven wordt gereisd. Deze keuze wordt alleen gemodelleerd voor reizen van of naar het achterland. Hierbij maken reizigers een keuze tussen de volgende vier vervoerwijzen:

- Auto (in combinatie met parkeren op de luchthaven);
- Kiss & Fly (halen en brengen door een bekende);
- Openbaar vervoer; reguliere trein of hogesnelheidstrein (HSL);
- Taxi.

Voor elk van deze alternatieven wordt een nut berekend op basis waarvan de verdeling over de vervoerwijzen bepaald wordt. Voor de voor- en natransportalternatieven is de nutsfunctie opgebouwd uit een alternatief specifieke constante (ASC) en de gegeneraliseerde kosten. Deze gegeneraliseerde kosten worden berekend door de reistijd door middel van de value-of-time (VOT) om te rekenen naar Euro en op te tellen bij de monetaire kosten. Hieronder zijn de nutsfuncties van de vijf alternatieven weergegeven. In deze specificatie is reguliere trein het referentiealternatief waarvoor de alternatief specifieke constante op nul is gesteld.

Auto:

$$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{auto},T} = ASC_{M,TP}^{VN_{auto}} + \beta_{kosten,M,TP}^{VN_{auto}} \cdot \left(\frac{Kosten_{Z,LH}^{VN_{auto},T} + 0.5 \cdot Park_{LH,R}^{VN_{auto},T}}{BG_M^{VN_{auto}}} + VOT_M^{VN,T} \cdot Tijd_{Z,LH}^{VN_{auto},T} \right)$$

Kiss & Fly:

$$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{k\&f},T} = ASC_{M,TP}^{VN_{k\&f}} + \beta_{kosten,M,TP}^{VN_{k\&f}} \cdot \left(\frac{2 \cdot Kosten_{Z,LH}^{VN_{auto},T}}{BG_M^{VN_{k\&f}}} + VOT_M^{VN,T} \cdot Tijd_{Z,LH}^{VN_{auto},T} \right)$$

Openbaar vervoer:

Gewone trein

$$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{trein},T} = \beta_{kosten,M,TP}^{VN_{rail}} \cdot \left(Kosten_{Z,LH}^{VN_{trein},T} + VOT_M^{VN,T} \cdot \left(Tijd_{Z,LH}^{VN_{trein},T} + Tijd_{Z,LH}^{VN_{treinvoor},T} + Tijd_{Z,LH}^{T,VN_{treinna},T} \right) \right) + \beta_{afstand,M,TP}^{VN_{rail}} \cdot Afstand_{Z,LH}^{VN_{trein},T}$$

Hogesnelheidstrein

$$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{hsl},T} = ASC_{M,TP}^{VN_{HSL}} + \beta_{kosten,M,TP}^{VN_{rail}} \cdot \left(Kosten_{Z,LH}^{VN_{hsl},T} + VOT_M^{VN,T} \cdot \left(Tijd_{Z,LH}^{VN_{hsl},T} + Tijd_{Z,LH}^{VN_{hslvoor},T} + Tijd_{Z,LH}^{T,VN_{hslna},T} \right) \right) + \beta_{afstand,M,TP}^{VN_{rail}} \cdot Afstand_{Z,LH}^{VN_{hsl},T}$$

Logsum openbaar vervoer

$$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{ov},T} = \gamma^{ov} \cdot \ln \left(e^{U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{trein},T}} + e^{U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{hsl},T}} \right)$$

Taxi:

$$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{taxi},T} = ASC_{M,TP}^{VN_{taxi}} + \beta_{kosten,M,TP}^{VN_{taxi}} \cdot \left(\frac{Kosten_{Z,LH}^{VN_{taxi},T}}{BG_M^{VN_{auto}}} + VOT_M^{VN,T} \cdot Tijd_{Z,LH}^{VN_{taxi},T} \right)$$

Waarin:

$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{auto},T}$

Het nut van alternatief auto tussen zone Z en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T

$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{k\&f},T}$	Het nut van alternatief Kiss & Fly tussen zone Z en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T
$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{trein},T}$	Het nut van alternatief trein tussen zone Z en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T
$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{hsl},T}$	Het nut van alternatief HSL tussen zone Z en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T
$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{ov},T}$	Het verwachte maximale nut van de trein en hsl alternatieven tussen zone Z en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T
$U_{Z,LH,M,TP}^{VN_{taxi},T}$	Het nut van het alternatief trein tussen zone Z en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T
$Kosten_{Z,LH}^{VN_{auto},T}$	Autokosten tussen zone Z en luchthaven LH in jaar T
$Park_{LH,TP}^{VN_{auto},T}$	Parkeerkosten op luchthaven LH in jaar T voor type passagier TP
$Kosten_{Z,LH}^{VN_{trein},T}$	Ticket prijs trein tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in €
$Kosten_{Z,LH}^{VN_{hsl},T}$	Ticket prijs HSL tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in €
$Tijd_{Z,LH}^{VN_{auto},T}$	Reistijd per auto tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in min.
$Tijd_{Z,LH}^{T,trein}$	Reistijd per trein tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in min.
$Tijd_{Z,LH}^{VN_{treinvoor},T}$	Reistijd voortransport trein tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in min.
$Tijd_{Z,LH}^{T,VN_{treinna},T}$	Reistijd natransport trein tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in min.
$Tijd_{Z,LH}^{T,hsl}$	Reistijd per HSL tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in min.
$Tijd_{Z,LH}^{VN_{hslvoor},T}$	Reistijd voortransport HSL tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in min.
$Tijd_{Z,LH}^{T,VN_{hslna},T}$	Reistijd natransport HSL tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in min.
$Afstand_{Z,LH}^{VN_{trein},T}$	Afstand trein tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in km
$Afstand_{Z,LH}^{VN_{hsl},T}$	Afstand HSL tussen zone Z en Luchthaven LH in jaar T in km
$BG_M^{VN_{auto}}$	Bezettingsgraad auto (of taxi) voor motief M
$BG_M^{VN_{k\&r}}$	Bezettingsgraad Kiss and Ride voor motief M
$ASC_{M,TP}^{VN_{auto}}$	De alternatief specifieke constante van alternatief auto voor motief M en type passagier TP

$ASC_{M,TP}^{VN_{k\&f}}$	De alternatief specifieke constante van alternatief Kiss & Fly voor motief M en type passagier TP
$ASC_{M,TP}^{VN_{hsl}}$	De alternatief specifieke constante van alternatief HSL voor motief M en type passagier TP
$ASC_{M,TP}^{VN_{taxi}}$	De alternatief specifieke constante van alternatief taxi voor motief M en type passagier TP
$\beta_{kosten,M,TP}^{VN_{auto}}$	Coëfficiënt gegeneraliseerde autokosten voor motief M en type passagier TP
$\beta_{kosten,M,TP}^{VN_{k\&f}}$	Coëfficiënt gegeneraliseerde Kiss & Fly kosten voor motief M en type passagier TP
$\beta_{kosten,M,TP}^{VN_{rail}}$	Coëfficiënt gegeneraliseerde trein en HSL kosten voor motief M en type passagier TP
$\beta_{kosten,M,TP}^{VN_{taxi}}$	Coëfficiënt gegeneraliseerde taxi kosten voor motief M en type passagier TP
$\beta_{afstand,M,TP}^{VN_{rail}}$	Coëfficiënt trein en HSL afstand voor motief M en type passagier TP
$VO T_M^{VN,T}$	Value-of-time voor- en natransport voor motief M in jaar T
γ^{ov}	Nestcoëfficiënt van het openbaar vervoersnest; hiervan is de waarde vastgezet op 0.5

In het autoalternatief rijdt de reiziger (of een medereiziger) zelf naar de luchthaven en parkeert de auto daar voor de duur van de reis. In dit geval wordt daarom ook rekening gehouden met parkeerkosten op de luchthaven. Bij het alternatief Kiss & Fly wordt de reiziger door iemand anders naar de luchthaven gebracht. In deze situatie hoeven dus geen parkeerkosten betaald te worden, maar is er wel sprake van een heen én terugreis van de brengende persoon. Voor beide verplaatsingen worden daarom de benzinekosten meegenomen in de nutsfunctie van Kiss & Fly. Personen die het achterland bezoeken (destinating reizigers) betalen geen parkeerkosten als zij voor het autoalternatief kiezen. Omdat autokosten vaak gedeeld worden, is voor de alternatieven auto, Kiss & Fly en taxi een bezettingsgraad meegenomen. Op basis hiervan worden de kosten tussen de passagiers gedeeld. Voor Kiss & Fly (en taxi) is de gehanteerde bezettingsgraad exclusief de bestuurder; er is dus impliciet aangenomen dat deze niet meedeelt in de kosten. Voor auto (Park and Fly) is de bezettingsgraad inclusief de bestuurder. Verder is onderscheid gemaakt naar zakelijke en niet-zakelijke reizigers. Een overzicht van de in de nutsfuncties gebruikte constanten is weergegeven in Tabel 4. De geschatte parameters staan in Tabel 5.

Tabel 4. Toegepaste constanten in het toegangskeuze model¹⁷. De bezettingsgraden zijn het aantal luchtreizigers per voertuig en de VoT is voor het individu dat de keuze maakt.

Constante	Parameter	Waarde
Bezettingsgraad Auto (Park and Fly) en Taxi Zakelijk	$BG_{zk}^{VN_{auto}}$	1.5 per/auto

¹⁷ De bronnen voor de gehanteerde waarden zijn toegelicht in het rapport 'Actualisatie AEOLUS 2018 en geactualiseerde luchtvaartprognoses' (Significance & TO70,2019).

Constante	Parameter	Waarde
Bezettingsgraad Auto (Park and Fly) en Taxi Niet-zakelijk	$BG_{nz}^{VN_{auto}}$	3.0 per/auto
Bezettingsgraad Kiss & Fly Zakelijk	$BG_{zk}^{VN_{k\&f}}$	2.0 per/auto
Bezettingsgraad Kiss & Fly Niet-zakelijk	$BG_{nz}^{VN_{k\&f}}$	1.5 per/auto
Value-of-time voor- en natransport Zakelijk	VOT_{zk}^{VN,t_0}	38,26 €/uur
Value-of-time voor- en natransport Niet-zakelijk	VOT_{nz}^{VN,t_0}	21,66 €/uur

Tabel 5. Geschatte parameters in het toegangskeuze model

Parameter	Zakelijk Originating	Niet-zakelijk Originating	Zakelijk Destinating	Niet-zakelijk Destinating
$ASC_{M,R}^{VN_{auto}}$	-1.407	-2.428	-1.921	-3.545
$ASC_{M,R}^{VN_{k\&f}}$	-1.728	-1.407	-1.609	-2.075
$ASC_{M,R}^{VN_{taxi}}$	-1.433	-2.017	0.2550	-0.3168
$\beta_{kosten,M,R}^{VN_{auto}}$	-0.03479	-0.07139		
$\beta_{kosten,M,R}^{VN_{k\&f}}$	-0.04235	-0.09248		
$\beta_{kosten,M,R}^{VN_{rail}}$	-0.02766	-0.06878	-0.01329	-0.05474
$\beta_{kosten,M,R}^{VN_{taxi}}$	-0.05227	-0.10300		
$\beta_{afstand,M,R}^{VN_{rail}}$	0.01306	0.01479	-0.00096	0.00032

De gedragsparameters in het model zijn apart geschat voor de vier reizigerssegmenten (zakelijk originating, zakelijk destinating, niet-zakelijk originating en niet-zakelijk destinating). Hierbij zijn de kostencoefficienten voor de verschillende vervoerwijzen in de modellen voor destinating reizigers aan elkaar gelijkgesteld. Omdat in de schattingsdata geen onderscheid gemaakt kon worden tussen gewone trein of hogesnelheidstrein zijn voor deze alternatieven geen aparte parameters geschat. Om wel rekening te houden met de beschikbaarheid van hogesnelheidsverbindingen en om de invloed van toekomstige ontwikkelingen te kunnen simuleren bevat het toegangskeuze model een openbaar vervoer nest met daaronder de keuze tussen gewone trein en HSL. De alternatief specifieke constante voor HSL is geschaald in de kalibratie (zie sectie 3.3.3).

De marktaandeelen van de voor- en natransportalternatieven worden nu als volgt berekend:

$$P_{Z,LH,M,TP}^{vn,T} = \frac{e^{U_{Z,LH,M,TP}^{vn,T}}}{\sum_{vn \in VN_{Z,LH}} e^{U_{Z,LH,M,TP}^{vn,T}}}$$

Waarin:

$P_{Z,LH,M,TP}^{vn,T}$ Marktaandeel voor- en natransportvervoerwijze vn tussen zone Z en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T

$U_{Z,LH,M,TP}^{vn,t}$	Het nut van het alternatief vn tussen zone Z en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T
vn	Voor- en natransport vervoerwijze
$VN_{Z,LH}$	De set van alle beschikbare voor- en natransport vervoerwijzen voor zone Z en luchthaven LH

In lijn met de gekozen neststructuur wordt het verwachte maximale nut uit het toegangskeuzemodel meegenomen in de routekeuze. Het maximaal verwachte nut, of de logsum, wordt als volgt berekend:

$$LS_{Z,LH,M,TP}^{VN,T} = \ln \left(\sum_{vn \in VN_{Z,LH}} e^{U_{Z,LH,M,TP}^{vn,T}} \right)$$

Waarin:

$LS_{Z,LH,M,TP}^{VN,T}$	Logsum voor- en natransport tussen zone Z en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T
$U_{Z,LH,M,TP}^{vn,T}$	Het nut van het alternatief vn tussen zone Z en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T
vn	Voor- en natransport vervoerwijze
$VN_{Z,LH}$	De set van alle beschikbare voor- en natransport vervoerwijzen voor zone Z en luchthaven LH

3.2.3 Routekeuze

Het routekeuzemodel modelleert de keuze tussen de verschillende vliegverbindingen van herkomst naar bestemming. Een vliegroute is in het model gedefinieerd als een unieke combinatie van een op- of uitstapluchthaven in het achterland, een alliantie (SkyTeam, Star, OneWorld, overige Full Service Carriers of Low Cost Carriers) en eventueel de zone waar wordt overgestapt. Het nut van een route is opgebouwd uit de ASC's van de allianties en de luchthavens, de gegeneraliseerde vlieggkosten, de vliegfrequentie en een dummy voor het gebruik van een luchthaven buiten het land van herkomst of bestemming in het achterland. Verder wordt het verwachte maximale nut uit het toegangskeuzemodel meegenomen. Deze logsum kan gezien worden als een maat voor de bereikbaarheid van een luchthaven vanuit een bepaalde zone. De nutsfunctie voor routealternatieven ziet er nu als volgt uit:

$$\begin{aligned} U_{H,B,M,TP,AL,LH,H}^T &= ASC^{LH} + ASC^{AL} + \beta_{grens,M} \cdot Grens_{Z,LH,M} \\ &+ \beta_{kosten}^{RT,EU} \cdot (Kosten_{H,B,M,AL,LH,H}^T + VOT_M^{RT,T} \cdot Tijd_{H,B,M,AL,LH,H}^T) \\ &+ \beta_{frequentie} \cdot \log_{10}(Freq_{H,B,M,AL,LH,H}^T) \\ &+ \gamma^{RT} \cdot LS_{Z,LH,M,TP}^{VN,T} \end{aligned}$$

Waarin:

$U_{H,B,M,TP,AL,LH,H}^{RT,T}$	Nut van het routealternatief met alliantie AL , luchthaven LH en hub H tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in jaar T
-------------------------------	---

ASC^{LH}	Alternatief specifieke constante voor luchthaven LH
ASC^{AL}	Alternatief specifieke constante voor alliantie AL
$Grens_{Z,LH,M}$	Dummy die aangeeft of deze herkomst- of bestemmingszone Z in de catchment area in hetzelfde land ligt als luchthaven LH (1) of niet (0)
$Kosten_{H,B,M,AL,LH,H}^T$	Kosten van vliegalternatief met alliantie AL , luchthaven LH en hub H tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$Tijd_{H,B,M,AL,LH,H}^T$	Reistijd van vliegalternatief met alliantie AL , luchthaven LH en hub H tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$Freq_{H,B,M,AL,LH,H}^T$	Frequentie van vliegalternatief met alliantie AL , luchthaven LH en hub H tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$LS_{Z,LH,M,TP}^{VN,T}$	Logsum voor- en natransport tussen zone Z (de herkomst H of Bestemming B in de catchment area) en Luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in jaar T
$\beta_{grens,M}$	Coëfficiënt landsgrens voor motief M
$\beta_{kosten}^{RT,EU}$	Coëfficiënt vlieggkosten voor relatietype EU (binnen Europa of van/naar/buiten Europe)
$\beta_{frequentie}$	Coëfficiënt vliegfrequentie
γ^{RT}	Nestcoëfficiënt op het routekeuze niveau
$VOT_M^{RT,T}$	Value-of-time vliegen voor motief M in jaar T

Wanneer zowel de herkomst als bestemming van een vlucht buiten het achterland gelegen is, speelt de luchthavenkeuze geen rol in het model. Omdat deze keuze weinig invloed heeft op (de luchthavens in) het achterland, wordt de luchthavenkeuze buiten het achterland niet gemodelleerd. De componenten in het nut die gerelateerd zijn aan de in- of uitstap luchthaven en het voor- en natransport (de logsum) vallen dan weg uit bovenstaande formule.

De coëfficiënt voor de vliegfrequentie is op 2.3 gesteld waardoor de frequentie in feite als een size-variabele fungeert¹⁸. Dit betekent dat de op basis van de overige variabelen berekende marktaandeelen geschaald worden naar de frequentie. De dummy voor grensoverschrijdend voor- en natransport is gelijkgesteld aan het disnut van 100 km extra voor- of natransport per openbaar vervoer. Alle niet geschatte parameters in het keuzemodel, inclusief de gebruikte values-of-time, zijn weergegeven in

Tabel 6. De geschatte parameters zijn opgenomen in Tabel 7. Voor de alternatief specifieke constanten geldt dat Schiphol de referentie luchthaven is en SkyTeam de referentie alliantie. Hiervoor zijn de alternatief specifieke constanten op nul gesteld.

¹⁸ Met de factor 2.3 wordt de logaritme omgerekend naar een natuurlijk logaritme (LN). In Logit modellen zorgt een natuurlijk logaritme van een variabele ervoor dat aandelen worden geschaald naar de omvang van deze variabele (in dit geval de frequentie).

Tabel 6. Toegepaste constanten in het routekeuzemodel¹⁹

Constante	Parameter	Waarde
Grensdummy $Grens_{Z,LH}$ Zakelijk	$\beta_{grens,za}$	-1.906
Grensdummy $Grens_{Z,LH}$ Niet-zakelijk	$\beta_{grens,nz}$	-2.210
Frequentieparameter $\beta_{frequentie}$	$\beta_{frequentie}$	2.3
Value-of-Time vliegen Zakelijk	VoT_{za}^{RT,t_0}	92,24 €/uur
Value-of-Time vliegen Niet-zakelijk	VoT_{nz}^{RT,t_0}	52,20 €/uur

Tabel 7. Geschatte parameters in het routekeuzemodel²⁰

Parameter	Zakelijk Originating	Niet-zakelijk Originating	Zakelijk Destinating	Niet-zakelijk Destinating
ASC^{Star}	-1.8640	-1.3620	-1.0480	-1.0410
$ASC^{OneWorld}$	-1.0550	-0.6269	-0.2236	-0.3851
$ASC^{OverigFSC}$	-0.6468	0.3646	-0.0339	0.1963
ASC^{LCC}	-0.6749	1.1820	-0.2836	0.9393
ASC^{ams}	0	0	0	0
ASC^{rot}	-2.481	-1.148	-2.481	-1.148
ASC^{ein}	0.2892	-0.2923	0.2892	-0.2923
ASC^{maa}	0	-1.400	0	-1.400
ASC^{bru}	-0.4512	-0.8057	-0.4512	-0.8057
ASC^{cha}	0.7948	0.5233	0.7948	0.5233
ASC^{dus}	-0.01072	-0.4558	-0.01072	-0.4558
ASC^{nie}	0.2902	0.9334	0.2902	0.9334
ASC^{keu}	1.565	0.3662	1.565	0.3662
ASC^{fra}	2.102	0.5826	2.102	0.5826
ASC^{lux}	0	0	0	0
ASC^{cdg}	0	0	0	0
$\beta_{kosten}^{RT,in}$	-0.00714	-0.01516	-0.00733	-0.01310
$\beta_{kosten}^{RT,uit}$	-0.00708	-0.01243	-0.00717	-0.01254
γ^{RT}	0.5116	0.4087	0.5116	0.4087

¹⁹ De bronnen voor de gehanteerde waarden zijn toegelicht in het rapport 'Actualisatie AEOLUS 2018 en geactualiseerde luchtvaartprognoses' (Significance & TO70,2019).

²⁰ Grijs gedrukte waarden in de destinating modellen zijn niet geschat, maar overgenomen uit de originating modellen.

Wanneer de herkomst of bestemming binnen het achterland ligt, bevat de keuzeset maximaal 13 luchthavens, 5 allianties en 34 overstapmogelijkheden. In totaal komt dit neer op 2210 routealternatieven. De 34 overstapmogelijkheden bestaan uit de optie van een directe vlucht, drie overstap alternatieven binnen het achterland (Amsterdam, Frankfurt en Parijs) en 29 mogelijke overstapzones buiten het achterland. Niet elke zones heeft dus een luchthaven met overstapfunctie. Op relaties zonder herkomst of bestemming in het achterland wordt de luchthavenkeuze niet gemodelleerd en zijn er maximaal 170 alternatieven beschikbaar. Verder wordt de routekeuze alleen gemodelleerd voor relaties waar reizen via Nederland een alternatief is. Net als bij het toegangskemodell zijn aparte parameters geschat voor de vier reizigerssegmenten waarbij onderscheid is gemaakt naar motief (zakelijk en niet-zakelijk) en type passagier (originating en destinating reizigers). Onderstaande formule geeft weer hoe de marktaandelen van de beschikbare routes berekend worden:

$$P_{H,B,M,TP}^{rt,T} = \frac{e^{U_{H,B,M,TP}^{rt,T}}}{\sum_{rt \in VRT_{H,B}} e^{U_{H,B,M,TP}^{T,rt}}}$$

Waarin:

$P_{H,B,M,TP}^{rt,T}$	Marktaandeel van route rt voor motief M en type passagier TP in jaar T . Hierbij representeert route rt een unieke combinatie van alliantie AL , luchthaven LH en hub H
$U_{H,B,M,TP}^{rt,T}$	Het nut van het routealternatief rt van herkomst H naar bestemming B voor motief M en type passagier TP in jaar T
rt	Een beschikbare vliegroute met een unieke combinatie van alliantie AL , luchthaven LH en hub H
$RT_{H,B}$	De set van alle beschikbare routealternatieven voor herkomst H en bestemming B

Het verwachte maximale nut uit het routekeuzemodel wordt meegenomen in de hoofdvervoerwijzekeuze. Bij het berekenen van dit maximale nut worden echter niet alle nutscomponenten meegenomen. De frequentieterm en de dummy voor landsgrens overschrijdend voor- en natransport worden buiten de berekening gehouden om het juiste bereikbaarheidseffect te krijgen. De onderliggende aanname hierbij is dat deze componenten wel de luchthavenkeuze beïnvloeden, maar geen reden vormen om meer of minder per vliegtuig te reizen. Het maximaal verwachte nut, of de logsum, wordt nu als volgt berekend:

$$LS_{H,B,M,TP}^{RT,T} = \ln \left(\sum_{rt \in RT_{H,B}} e^{U_{H,B,M,TP}^{rt,T} *} \right)$$

Waarin:

$LS_{H,B,M,TP}^{RT,T}$	Logsum beschikbare vliegroutes tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in jaar T
$U_{H,B,M,TP}^{T,rt} *$	Het nut van routealternatief rt van herkomst H naar bestemming B voor motief M en type passagier TP in jaar T waarbij nutscomponenten gerelateerd aan vliegfrequentie en voor- en natransport over de landsgrens niet meegenomen zijn

rt	Een beschikbare vliegroute met een unieke combinatie van alliantie AL , luchthaven LH en hub HUB
$RT_{H,B}$	De set van alle beschikbare routealternatieven voor herkomst H en bestemming B

3.2.4 Hoofdvervoerwijzekeuze

Op het bovenste niveau van de geneste keuzeboom wordt de hoofdvervoerwijze gemodelleerd. In deze keuze zijn auto, openbaar vervoer en vliegen de beschikbare vervoerwijzen. Binnen het alternatief openbaar vervoer wordt onderscheid gemaakt naar reguliere trein en hogesnelheidstrein (HSL). Deze keuze wordt alleen gemodelleerd voor reizen binnen Europa. Het nut van de alternatieven auto en openbaar vervoer is opgebouwd uit een alternatief specifieke constante en de gegeneraliseerde kosten. Voor vliegen bestaat het nut uit het verwachte maximale nut zoals berekend voor het routekeuze model. Onderstaand zijn de nutsfuncties van de drie alternatieven uitgeschreven:

Auto:

$$U_{H,B,M}^{HVW_{auto},T} = ASC^{HVW_{auto}} + \beta_{kosten}^{HVW} \cdot (Kosten_{H,B,M}^{HVW_{auto},T} + VOT_M^{HVW,T} \cdot Tijd_{H,B,M}^{HVW_{auto},T})$$

Openbaar vervoer:

Gewone trein

$$U_{H,B,M}^{HVW_{trein},T} = ASC^{HVW_{trein}} + \beta_{kosten}^{HVW} \cdot (Kosten_{H,B,M}^{HVW_{trein},T} + VOT_M^{T,HVW} \cdot Tijd_{H,B,M}^{T,HVW_{trein},T})$$

Hogesnelheidstrein

$$U_{H,B,M}^{HVW_{HSL},T} = ASC^{HVW_{HSL}} + \beta_{kosten}^{HVW} \cdot (Kosten_{H,B,M}^{HVW_{HSL},T} + VOT_M^{T,HVW} \cdot Tijd_{H,B,M}^{T,HVW_{HSL},T})$$

Logsum openbaar vervoer

$$U_{Z,LH,M}^{HVW_{ov},T} = \gamma^{ov} \cdot \ln (e^{U_{H,B,M}^{HVW_{trein},T}} + e^{U_{H,B,M}^{HVW_{HSL},T}})$$

Vliegtuig:

$$U_{H,B,M,TP}^{HVW_{vlieg},T} = \gamma^{HVW} \cdot LS_{H,B,M,TP}^{RT,T}$$

Waarin:

$U_{H,B,M}^{HVW_{auto},T}$ Nut van het hoofdvervoerwijze alternatief auto tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T

$U_{H,B,M}^{HVW_{trein},T}$	Nut van het hoofdvervoerwijze alternatief trein tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$U_{H,B,M}^{HVW_{hsl},T}$	Nut van het hoofdvervoerwijze alternatief trein tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$U_{H,B,M}^{HVW_{ov},T}$	Verwacht maximaal nut van de hoofdvervoerwijze alternatieven trein en HSL tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$U_{H,B,M,TP}^{HVW_{vlieg},T}$	Nut van het hoofdvervoerwijze alternatief vliegtuig tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in jaar T
$LS_{H,B,M,TP}^{RT,T}$	Logsum beschikbare vliegroutes tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in jaar T
$Kosten_{H,B,M}^{HVW_{auto},T}$	Kosten hoofdvervoerwijze auto tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$Kosten_{H,B,M}^{HVW_{trein},T}$	Kosten hoofdvervoerwijze trein tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$Kosten_{H,B,M}^{HVW_{trein},T}$	Kosten hoofdvervoerwijze HSL tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$Tijd_{H,B,M}^{HVW_{auto},T}$	Reistijd hoofdvervoerwijze auto tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$Tijd_{H,B,M}^{THVW_{trein},T}$	Reistijd hoofdvervoerwijze trein tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$Tijd_{H,B,M}^{THVW_{hsl},T}$	Reistijd hoofdvervoerwijze HSL tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in jaar T
$ASC^{HVW_{auto}}$	Alternatief specifieke constante hoofdvervoerwijze auto
$ASC^{HVW_{trein}}$	Alternatief specifieke constante hoofdvervoerwijze trein
$ASC^{HVW_{hsl}}$	Alternatief specifieke constante hoofdvervoerwijze HSL
β_{kosten}^{HVW}	Coëfficiënt gegeneraliseerde kosten hoofdvervoerwijze
γ^{ov}	Nestcoëfficiënt op het routekeuze niveau
γ^{HVW}	Nestcoëfficiënt op het hoofdvervoerwijzekeuze niveau
$VOT_M^{T,HVW}$	Value-of-time hoofdvervoerwijze voor motief M

In Tabel 8 staan de gebruikte values-of-time. De overige parameters zijn opgenomen in Tabel 9. Voor dit model zijn de gedragsparameters gebaseerd op expert judgement²¹ omdat er geen gedetailleerde data over de verdeling tussen de vervoerwijzen voor modelschattingen bestaat. De alternatief specifieke constanten voor auto en trein worden zodanig geschaald dat de verdeling over de drie vervoerwijzen voor reizen tussen het achterland en Zuid-Europa overeenkomt met de waargenomen verdeling.

Tabel 8. Parameters in het hoofdvervoerwijzekeuze model²²

Constante	Parameter	Waarde
Value-of-time voor- en natransport Zakelijk	VOT_{zk}^{VN,t_0}	38.26 Euro
Value-of-time voor- en natransport Niet-zakelijk	VOT_{nz}^{VN,t_0}	21.66 Euro

Tabel 9. Overige parameters in het hoofdvervoerwijzekeuze model

Parameter	Zakelijk	Niet-zakelijk
β_{kosten}^{HVW}	-0.006	-0.015
γ^{HVW}	0.5	0.5

De marktaandelen van de drie hoofdvervoerwijzen op relaties binnen Europa worden nu als volgt berekend:

$$P_{H,B,M,TP}^{hvw,T} = \frac{e^{U_{H,B,M,TP}^{hvw,T}}}{\sum_{hvw \in HVW_{H,B}} e^{U_{H,B,M,TP}^{hvw,T}}}$$

Waarin:

$P_{H,B,M,TP}^{hvw,T}$	Marktaandeel van hoofdvervoerwijze hvw tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in jaar T
$U_{H,B,M,TP}^{hvw,t}$	Het nut van het alternatief hvw tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in jaar T
hvw	Hoofdvervoerwijze
$VN_{Z,LH}$	De set van alle beschikbare hoofdvervoerwijzen tussen herkomst H en bestemming B

²¹ De coëfficiënten voor de gegeneraliseerde kosten komen uit het Integrated Airport Competition Model (HCG, 1997).

²² De bronnen voor de gehanteerde waarden zijn toegelicht in het rapport 'Actualisatie AEOLUS 2018 en geactualiseerde luchtvaartprognoses' (Significance & TO70,2019).

3.3 Aantal reizigers in het basisjaar (stap 2 en 3)

In stap 2 en 3 worden het totale aantal reizigers en de uitsplitsing hiervan over de verschillende reisalternatieven berekend voor het basisjaar. Na deze stappen wordt het model eenmalig gekalibreerd.

3.3.1 Totaal aantal reizigers

Voor het basisjaar is het aantal reizigers dat gebruik maakt van Schiphol per HB-relatie bekend (Continue Onderzoek Schiphol). Bij relaties van of naar het achterland gaat het hierbij om reizigers die op- of uitstappen op Schiphol. Voor relaties buiten het achterland gaat het om reizigers die Schiphol als overstapluchthaven gebruiken. In combinatie met het berekende marktaandeel van Schiphol²³ in het basisjaar kan nu het totale aantal luchtvaartreizigers voor alle HB-paren berekend worden:

$$PAX_{H,B,M,TP}^{HVWvlieg,t_0} = \frac{PAX_{H,B,M,TP}^{OBS,LHams,t_0}}{P_{H,B,M,TP}^{HVWvlieg,RT,LHams,t_0}}$$

Waarin:

$PAX_{H,B,M,TP}^{HVWvlieg,t_0}$ Totaal aantal luchtvaartreizigers tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in het basisjaar

$PAX_{H,B,M,TP}^{OBS,LHams,t_0}$ Geobserveerd aantal reizigers dat gebruikt maakt van luchthaven Schiphol om te reizen tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in het basisjaar

$P_{H,B,M,TP}^{HVWvlieg,RT,LHams,t_0}$ Marktaandeel luchthaven Schiphol binnen hoofdvervoerwijze vliegen tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in type passagier TP in het basisjaar

Voor reizen van of naar het achterland wordt onderscheid gemaakt naar motief (zakelijk en niet-zakelijk) en type passagier (originating en destinating); voor reizen buiten het achterland (en binnen de driehoek Schiphol-Frankfurt-Charles De Gaulle) speelt het type passagier geen rol.

Wanneer het aandeel van Schiphol op een HB-relatie heel klein wordt, kan een kleine fout in het marktaandeel automatisch leiden tot een grote fout in het totale aantal reizigers. Om te voorkomen dat hierdoor problemen ontstaan wordt het minimum aandeel op een route van Schiphol op 0.1% gesteld. Als het berekende aandeel kleiner is dan 0.1% wordt dit op 0.1% gesteld en worden de aandelen van de overige aandelen evenredig naar beneden aangepast. Indien het marktaandeel van Schiphol of het aantal passagiers uit de enquête voor een HB-relatie gelijk aan nul is, wordt het totale aantal passagiers op nul gesteld. Dit hoeft feitelijk niet het geval te zijn. Echter, het betreft hier slechts een heel beperkt aantal HB-relaties en ook zeer kleine passagiersstromen.

3.3.2 Uitsplitsing naar reisalternatieven

Als het totale aantal luchtvaartreizigers op een HB-relatie bekend is, kunnen deze reizigers verdeeld worden over de verschillende hoofdvervoerwijze-, route- en voor- en natransportalternatieven. De marktaandelen van deze alternatieven zijn reeds berekend. Per alternatief wordt het aantal reizigers nu:

²³ Dit zijn berekende marktaandelen die zijn gekalibreerd o.b.v. statistieken uit het basisjaar.

$$PAX_{H,B,M,TP,LH,AL,H,VN}^{t_0} = PAX_{H,B,M,TP}^{HVVvlieg,t_0} \cdot P_{H,B,M,TP,LH,AL,H}^{RT,t_0} \cdot P_{Z,LH,M,TP}^{VN,t_0}$$

Waarin:

$PAX_{H,B,M,TP,LH,AL,H,VN}^{t_0}$ Totaal aantal luchtvaart reizigers tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in het basisjaar dat reist met alliantie A , op- of uitstapluchthaven LH , via hub H en met voor- of natransport vervoerwijze VN

$PAX_{H,B,M,TP}^{HVVvlieg,t_0}$ Totaal aantal luchtvaartreizigers tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in het basisjaar

$P_{H,B,M,TP,LH,AL,H}^{RT,t_0}$ Marktaandeel vliegroute RT met alliantie A , op- of uitstap luchthaven LH , via hub H tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in het basisjaar

$P_{Z,LH,M,TP}^{VN,t_0}$ Marktaandeel voor- of natransportvervoerwijze VN tussen zone Z en luchthaven LH voor motief M en type passagier TP in het basisjaar

3.3.3 Eenmalige kalibratie

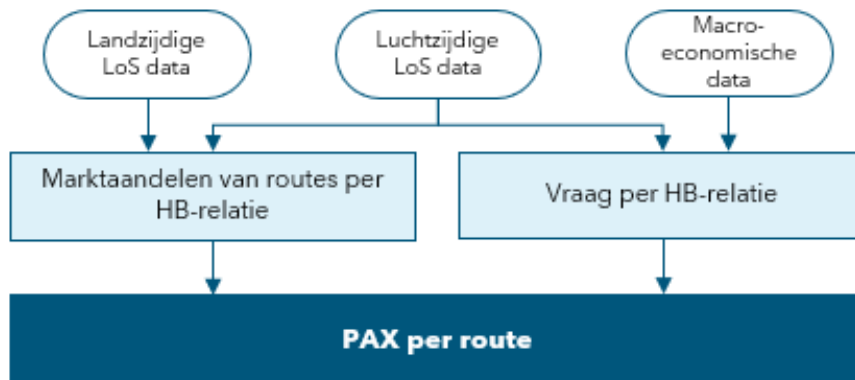
Na het berekenen van het aantal reizigers per reisalternatief (hoofdvervoerwijze, vliegroute en voor- en natransportvervoerwijze) wordt de reizigersmodule eenmalig gekalibreerd. Hierbij worden de ASC's zo bijgesteld dat de berekende aantallen in het basisjaar met de daadwerkelijk geobserveerde aantallen overeenkomen (o.b.v. het Continu Onderzoek Schiphol en statistieken van Eurostat). De volgende aantallen worden gekalibreerd voor het basisjaar:

- De marktaandelen van de vijf voor- en natransport alternatieven waarmee naar Schiphol gereisd wordt (ASC^{VN});
- Het totale aantal passagiers dat vliegt van of naar de Nederlandse en Belgische luchthavens (ASC^{LH});
- De marktaandelen van de vijf allianties waarmee vanaf Schiphol gevlogen wordt (ASC^A);
- Het percentage OD-reizigers dat van of naar Schiphol vliegt via een hub; hiervoor wordt een alternatief specifieke constante voor reizen via een hub toegevoegd aan het model (ASC^H);
- Het aantal transfer passagiers op Schiphol en de luchthavens van Brussel, Frankfurt en Parijs; hiervoor worden alternatieve specifieke constanten voor overstappen op deze luchthavens toegevoegd aan het model ($ASC^{H,LH}$)

Na de kalibratie sluiten bovengenoemde aantallen en aandelen zoals gemodelleerd door AEOLUS nauw aan bij de werkelijk geobserveerde waarden.

3.4 Aantal reizigers in prognosejaren (stap 4 en 5)

In stap 4 en 5 worden het totale aantal luchtvaartreizigers en de uitsplitsing hiervan over de verschillende reisalternatieven berekend voor de prognosejaren. De hiervoor gebruikte methodiek is geïllustreerd in Figuur 6.



Figuur 6. Structuur van de passagiersmodule

3.4.1 Totaalaantal reizigers

Het totale aantal luchtvaartpassagiers kan voor toekomstjaren niet op dezelfde manier berekend worden als in het basisjaar omdat het reizigersaantal dat van Schiphol gebruik zal maken nog onbekend is. In plaats daarvan wordt de reizigersstroom in prognosejaren per relatie afgeleid door een groeifactor toe te passen op het aantal passagiers in het basisjaar. Deze groeifactor bestaat uit twee componenten. De eerste component is de groei (of krimp) als gevolg van veranderingen in ticketprijzen, vliegfrequenties en vliegtijden tussen zones. De tweede component bevat het effect van de groei van de wereldhandel (voor zakelijke reizigers) of de bevolkings- en inkomensgroei (niet-zakelijke reizigers).

Afhankelijkheid van prijs, frequentie en reistijd

Voor de level-of-service componenten reiskosten, reistijd en frequentie worden de gemiddelde waarden in het prognosejaar vergeleken met de waarde van het jaar ervoor. Dit zijn met het aantal passagiers gewogen gemiddelden over alle alternatieven in de luchtzijdige level-of-service. De ratio's tussen deze opeenvolgende jaren worden vervolgens via een elasticiteit omgerekend naar een groeifactor per herkomst en bestemmingsrelatie. Lagere reistijden of kosten zullen leiden tot een toename van het aantal reizigers; een verlaging van de frequentie zal het aantal reizigers juist doen dalen. Het berekenen van de level-of-service-groeifactoren wordt apart uitgevoerd voor de motieven zakelijk en niet-zakelijk:

$$PAX_groei_{H,B,M}^{LOS,t_i} = \left(\frac{Avg(Prijs)_{H,B}^{t_i}}{Avg(Prijs)_{H,B}^{t_{i-1}}} \right)^{e_{pM}} \cdot \left(\frac{Avg(Freq)_{H,B}^{t_i}}{Avg(Freq)_{H,B}^{t_{i-1}}} \right)^{e_f} \cdot \left(\frac{Avg(Tijd)_{H,B}^{t_i}}{Avg(Tijd)_{H,B}^{t_{i-1}}} \right)^{e_{rtM}}$$

Waarin:

$PAX_groei_{H,B,M}^{LOS,t_i}$	Passagiersgroei t.g.v. veranderde luchtzijdige level-of-service tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in prognosejaar i
$Avg(Prijs)_{H,B}^{t_i}$	Gemiddelde vliegticketprijs op verbindingen tussen herkomst H en bestemming B in prognosejaar i
$Avg(Freq)_{H,B}^{t_i}$	Gemiddelde vliegfrequentie op verbindingen tussen herkomst H en bestemming B in prognosejaar i
$Avg(Tijd)_{H,B}^{t_i}$	Gemiddelde vliegtijd op verbindingen tussen herkomst H en bestemming B in prognosejaar i

e_{p_M}	Prijselasticiteit voor motief M
e_f	Frequentieelasticiteit
e_{rt}	Reistijdelasticiteit voor motief M

De waarden van de gebruikte elasticiteiten zijn weergegeven in Tabel 10. Hierbij zijn de reistijd- en prijselasticiteiten aan elkaar gelijkgesteld. Wel zijn aparte waarden voor de motieven zakelijk en niet-zakelijk gehanteerd.

Tabel 10. Overzicht standaardelasticiteiten voor groeifactoren

	WLO-Hoog				WLO-Laag			
	2013-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2013-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Inkomenselasticiteit <i>Niet-zakelijk, intra Europa</i>	1.15	1.05	0.90	0.80	1.15	1.05	0.90	0.80
Inkomenselasticiteit <i>Niet-zakelijk, intercontinentaal</i>	1.35	1.25	1.15	1.05	1.45	1.35	1.25	1.15
Prijselasticiteit <i>Niet-zakelijk</i>	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
Prijselasticiteit <i>Zakelijk</i>	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50
Handelselasticiteit <i>Zakelijk</i>	0.80	0.70	0.65	0.60	0.80	0.70	0.65	0.60
Handelselasticiteit <i>Luchtvracht</i>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Tijdelasticiteit <i>Niet-zakelijk</i>	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
Tijdelasticiteit <i>Zakelijk</i>	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50
Frequentieelasticiteit <i>Alle passagiers</i>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Afhankelijkheid van handels-, inkomens- en bevolkingsgroei

De groei of krimp van de wereldhandel (in Euro) wordt gebruikt om de verandering van het aantal zakelijke reizigers ten opzichte van het voorgaande jaar te berekenen. Voor niet-zakelijk personenvervoer zijn de inkomensgroei en de bevolkingsgroei bepalend voor de verandering van het aantal reizigers. Zowel voor de handelsgroei als de inkomens- en bevolkingsgroei wordt in de berekeningen uitgegaan van het gemiddelde tussen de herkomst- en bestemmingszones²⁴. Via een elasticiteiten worden de handels-, inkomens- en bevolkingsgroei vervolgens omgezet naar een groeifactor. Hieronder zijn de gebruikte formules weergegeven voor respectievelijk zakelijke en niet-zakelijke reizigers.

Zakelijke reizigers:

$$PAX_groei_{H,B,zk}^{AUT,t_i} = \left(\frac{1}{2} \cdot (\Delta\text{Handel}_H^{t_i}) + (\Delta\text{Handel}_B^{t_i})\right)^{e_h}$$

Niet-zakelijke reizigers:

$$PAX_groei_{H,B,nz}^{AUT,t_i} = \left(\frac{1}{2} \cdot (\Delta\text{BNPcap}_H^{t_i} + \Delta\text{BNPcap}_B^{t_i})\right)^{e_{inkAK}} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot (\Delta\text{Pop}_H^{t_i} + \Delta\text{Pop}_B^{t_i})\right)$$

²⁴ De gehanteerde waarden voor de handels-, inkomens- en bevolkingsgroei zijn overgenomen uit het WLO achtergrond document Mobiliteit – Luchtvaart (CPB/PBL, 2016).

Waarin:

$PAX_groei_{H,B,M}^{AUT,t_i}$	Autonome passagiersgroei t.g.v. veranderde handelsomvang in herkomst H en bestemming B voor motief M in prognosejaar i
$\Delta Handel_H^{t_i}$	Handelsgroei in herkomstzone H in prognosejaar i
$\Delta Handel_B^{t_i}$	Handelsgroei in bestemmingszone B in prognosejaar i
$\Delta BNPcap_H^{t_i}$	Groei bruto nationaal product per hoofd van de bevolking in herkomstzone H in prognosejaar i
$\Delta BNPcap_B^{t_i}$	Groei bruto nationaal product per hoofd van de bevolking in bestemmingszone B in prognosejaar i
$\Delta Pop_H^{t_i}$	Bevolkingsgroei in herkomstzone H in prognosejaar i
$\Delta Pop_B^{t_i}$	Bevolkingsgroei in bestemmingszone B in prognosejaar i
e_h	Handelselasticiteit
$e_{ink_{AK}}$	Inkomenselasticiteit voor afstandsklasse AK

De inkomenselasticiteit hangt af van de afstandsklasse van de HB-relatie; er wordt hierin onderscheid gemaakt naar continentale en intercontinentale relaties. De gehanteerde waarden van de handels- en inkomenselasticiteiten zijn ook opgenomen in Tabel 10.

Toepassing groeifactoren

Beide groeifactoren worden toegepast op het totale aantal luchtvaartreizigers van het voorgaande jaar. In formulevorm is dit:

$$PAX_{H,B,M,TP}^{t_i} = PAX_{H,B,M,TP}^{HVW\ vlieg, t_{i-1}} \cdot PAX_groei_{H,B,M}^{LOS, t_i} \cdot PAX_groei_{H,B,M}^{AUT, t_i} \cdot \frac{P_{H,B,M,TP}^{HVW\ vlieg, t_i}}{P_{H,B,M,TP}^{HVW\ vlieg, t_0}}$$

Waarin:

$PAX_{H,B,M,TP}^{HVW\ vlieg, T}$	Totaal aantal luchtvaartreizigers tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en type passagier TP in jaar t
$PAX_groei_{H,B,M}^{LOS, t_i}$	Passagiersgroei t.g.v. veranderde luchtzijdige level-of-service tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in prognosejaar i
$PAX_groei_{H,B,M}^{AUT, t_i}$	Autonome passagiersgroei t.g.v. veranderde handelsomvang in herkomst H en bestemming B voor motief M in prognosejaar i
$P_{H,B,M,TP}^{HVW\ vlieg, T}$	Aandeel van de hoofdvervoerwijze vliegen tussen herkomst H en bestemming B voor motief M in type passagier TP

Door middel van de laatste term wordt meegenomen dat ook het aandeel van de hoofdvervoerwijze vliegen kan zijn veranderd ten opzichte van het voorgaande jaar.

3.4.2 Uitsplitsing naar reisalternatieven

De methodiek om reizigers in prognosejaren te verdelen over de verschillende hoofdvervoerwijzen, route- en voor- en natransportalternatieven is identiek aan de voor het basisjaar gehanteerde methodiek. Deze methodiek is reeds beschreven in sectie 3.3.2. In de gebruikte formule wordt alleen de index t_0 (basisjaar) vervangen door t_i (prognosejaar i).

4. Vrachtmodule

In de vrachtmodule wordt de hoeveelheid luchtvracht tussen de luchthavens van Amsterdam, Maastricht, Frankfurt en Parijs en de verschillende werelddelen gemodelleerd. Daarbij wordt bovendien berekend hoe deze vracht is verdeeld over belly's van passagevliegtuigen en Full Freighters.

4.1 Structuur van de module

De vrachtmodule berekent de totale hoeveelheid vracht die door de lucht vervoerd wordt tussen West-Europa en de overige wereldregio's. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar (1) vracht die in de belly's van passagetoestellen wordt vervoerd en (2) vracht waarvoor speciale vrachtvliegtuigen (Full Freighters) worden ingezet. Deze sectie geeft eerst een kort overzicht van de invoer data, de verschillende berekeningsstappen en de uitvoer van de module. In het vervolg van dit hoofdstuk worden de genoemde berekeningsstappen in detail uitgewerkt.

Invoer data

Voor het berekenen van luchtvrachthoeveelheden in prognosejaren is een aantal invoerbestanden nodig. Hierbij gaat het om de volgende invoer:

- Geobserveerde vrachtstromen in het basisjaar;
- Macro-economische scenario data voor het basisjaar en prognosejaren.

Daarnaast bestaat de invoer uit een aantal model parameters; hierbij gaat het met name om elasticiteiten.

Berekeningsstappen

De berekeningen die uitgevoerd worden in de vrachtmodule bestaan uit drie stappen:

1. Berekenen van de luchtvaartstromen tussen West-Europa en de overige wereldregio's in prognosejaren. In tegenstelling tot de passagiersmodule worden in de vrachtmodule geen discrete keuzemodellen gebruikt. In plaats daarvan worden handelsselasticiteiten op de handelsgroei (in Euro) toegepast.
2. Verdeling van de luchtvaarstromen van en naar West-Europa over de luchthavens van Amsterdam, Maastricht, Frankfurt en Parijs: In deze stap worden de marktaandelen van deze luchthavens toegepast op de totale vrachtstroom. De marktaandelen, en de verandering hiervan in prognosejaren, zijn scenario input.
3. Berekenen van de verdeling van vracht over belly's van passagevliegtuigen en Full Freighters: Hierbij wordt de aanname gemaakt dat eerst de belly's gevuld worden. Voor de resterende hoeveelheid vracht wordt het aantal benodigde Full Freighters berekend.²⁵

²⁵ Er wordt geen rekening gehouden met restricties van goederen die niet in belly's vervoerd kunnen worden. Door de kalibratie van beladingsgraden (belly's en Full Freighters) in het basisjaar wordt wel rekening gehouden met de gemiddelde effecten.

Voor het basisjaar wordt het aantal Full Freighters per luchthaven gekalibreerd. Vervolgens worden de genoemde stappen sequentieel herhaald voor alle prognosejaren.

Uitvoer

De uitvoer van de vrachtmodule bestaat per wereldregio uit de hoeveelheid vracht die vervoerd wordt van en naar de luchthavens van Amsterdam, Maastricht, Frankfurt en Parijs. Deze hoeveelheid vracht is verder uitgesplitst naar:

- Richting (import of export);
- Vervoer in belly's van passagevliegtuigen of Full Freighters.

Daarnaast berekent het model hoeveel Full Freighters er nodig zijn om de totale vraag naar vracht te kunnen vervoeren.

4.2 Luchtvrachtstromen

4.2.1 Import- en exportstromen in het basisjaar

In het basisjaar zijn de import- en exportstromen van luchtvracht tussen West-Europa en de overige werelddelen bekend. Deze stromen zijn asymmetrisch; import en exportstromen worden daarom apart gemodelleerd. De luchtvrachtstromen tussen de werelddelen in het huidige basisjaar zijn weergegeven in Tabel 11. In sectie 4.5 wordt beschreven hoe het aantal benodigde vrachtvliegtuigen in het basisjaar wordt gekalibreerd.

Tabel 11. Luchtvrachtstromen van en naar West-Europa in het basisjaar.

Werelddeel	Import (ton)	Export (ton)
West-Europa	2.517.667	2.524.383
Oost-Europa	818.825	680.012
Noord-Amerika	1.418.099	2.002.744
Latijns-Amerika	312.503	403.300
Afrika	497.700	442.219
Midden-Oosten	1.053.423	1.167.417
Verre-Oosten	1.449.622	1.554.690

4.2.2 Import- en exportstromen in prognosejaren

Voor toekomstjaren ontwikkelen deze stromen met de handelontwikkeling en de bijhorende handelselecticiteit. Bij de handelontwikkeling wordt het gemiddelde berekend tussen de zone West-Europa en de individuele werelddelen. De groeifactor op een relatie wordt vervolgens bepaald door de handelselecticiteit toe te passen op deze gemiddelde handelontwikkeling. Met deze groeifactoren worden vervolgens zowel de import- als de exportstromen vermenigvuldigd. De asymmetrie in de stromen uit het basisjaar blijft door deze aanpak behouden.

De vrachtstromen in het zichtjaar worden als volgt berekend:

$$V_{WR,R}^{t_i} = V_{WR,R}^{t_0} \cdot \left(1 + e_h \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{Handel^{we,t_i}}{Handel^{we,t_0}} + \frac{Handel_{WR}^{t_i}}{Handel_{WR}^{t_0}} \right) \right)^{t_i - t_0}$$

Waarin:

$V_{WR,R}^{t_i}$	Luchtvrachtstroom tussen West-Europa en werelddeel WR in richting R in prognosejaar i in tonnen
$V_{WR,R}^{t_0}$	Luchtvrachtstroom tussen West-Europa en werelddeel WR in richting R in het basisjaar
$Handel^{we,t_i}$	Totale handel in West-Europa in prognosejaar i
$Handel_{WR}^{t_i}$	Totale handel in werelddeel WR in prognosejaar i
e_h	Handelselasticiteit

4.3 Verdeling van luchtvracht over luchthavens

Het model berekent het vervoer van luchtvracht voor de luchthavens Amsterdam, Maastricht, Frankfurt en Parijs. Van het luchtvrachtvervoer van en naar Nederland wordt ongeveer 95% van het gewicht afgehandeld op Schiphol, die overige 5% wordt verzonden via Maastricht. Voor luchthaven Maastricht vormt vrachtvervoer een substantieel deel van het totale aantal vliegtuigbewegingen. Om realistische prognoses voor (1) de luchtvracht in Nederland en (2) het aantal vliegtuigbewegingen op luchthaven Maastricht op te stellen, is het daarom belangrijk om de luchtvracht ook voor Maastricht te modelleren. Andere belangrijke Europese vrachtluchthavens zoals Luik en Leipzig zijn niet opgenomen in het model. In de luchtvrachtmodule wordt, in tegenstelling tot de passagiersmodule, de ontwikkeling niet gemodelleerd met behulp van discrete keuzemodellen. Binnen de gebruikte methodiek is het niet van belang om expliciet rekening te houden met de concurrentie van andere luchthavens.

Vrachtstromen per luchthaven

In het basisjaar is per wereldregio en per vervoersrichting (import en export) voor elk van de vier gemodelleerde luchthavens bepaald welk marktaandeel zij vertegenwoordigen. Door deze marktaandelen toe te passen op de totale luchtvrachtstromen worden de in het basisjaar waargenomen luchtvrachtstromen per luchthaven gereproduceerd. Voor prognosejaren kunnen de marktaandelen van de vier luchthavens veranderen. De groei- of krimpfactoren die hiervoor worden toegepast zijn scenario invoer. Per luchthaven wordt de totale luchtvrachtstroom in een prognosejaar nu als volgt berekend:

$$V_{WR,R,LH}^{t_i} = V_{WR,R}^{t_i} \cdot S_{WR,R,LH}^{t_0} \cdot (1 + \Delta S_{WR,R,LH}^{t_i})$$

Waarin:

$V_{WR,R,LH}^{t_i}$	Luchtvrachtstroom tussen West-Europa en werelddeel WR in richting R via luchthaven LH in het prognosejaar i
$V_{WR,R}^{t_i}$	Luchtvrachtstroom tussen West-Europa en werelddeel WR in richting R in het prognosejaar
$S_{WR,R,LH}^{t_0}$	Het aandeel van de totale luchtvrachtstroom tussen West-Europa en wereldregio WR in richting R via luchthaven LH in het basisjaar
$\Delta S_{WR,R,LH}^{t_i}$	De verandering in het aandeel van de totale luchtvrachtstroom tussen West-Europa en wereldregio WR via luchthaven LH in prognosejaar i ten opzichte van het basisjaar

Op basis van de luchtvrachtstroom van en naar de verschillende wereldregio's kan nu de totale hoeveelheid vracht die door een luchthaven wordt afgehandeld berekend worden. Hiervoor wordt gesommeerd over alle wereldregio's en de import en export richting:

$$V_{LH}^{t_i} = \sum_{WR,R} V_{WR,R,LH}^{t_i}$$

Waarin:

$V_{LH}^{t_i}$	De totale hoeveelheid luchtvracht afgehandeld op luchthaven LH in jaar t_i
$V_{WR,R,LH}^{t_i}$	Luchtvrachtstroom tussen West-Europa en werelddeel WR in richting R via luchthaven LH in prognosejaar i

Input voor de berekening van het aantal vrachtvliegtuigen

Voor het berekenen van het aantal benodigde Full Freighters zijn de import- en exportvrachtstromen naar een wereldregio niet afzonderlijk maatgevend. In plaats daarvan wordt gekeken naar de grootste van de twee stromen. Deze stroom is bepalend voor het aantal vliegtuigen dat nodig is om deze vracht te vervoeren.

$$V_{WR,LH}^{MAXR,t_i} = \max_R V_{WR,R,LH}^{t_i}$$

Waarin:

$V_{WR,LH}^{MAXR,t_i}$	De grootste luchtvrachtstroom (import of export) tussen West-Europa en werelddeel WR afgehandeld op luchthaven LH in jaar t_i
$V_{WR,R,LH}^{t_i}$	Luchtvrachtstroom tussen West-Europa en werelddeel WR in richting R via luchthaven LH in jaar t_i

Schaarstekosten bij capaciteitsrestricties

Wanneer de totale vraag naar vluchten (zowel passage- als vrachtvluchten) groter is dan de capaciteit op een luchthaven, dan worden schaarstekosten berekend. Deze zorgen ervoor dat de vraag naar luchtvracht- en passagierstransport zodanig gereduceerd wordt dat het niveau van vraag en aanbod in evenwicht is. De geres tricteerde luchtvrachtstroom op een luchthaven wordt als volgt berekend:

$$V_{LH}^{RES,T} = V_{LH}^{t_i} \cdot \left(1 - \frac{e_p^{schaarste} \cdot Kosten_{LH}^{schaarste,t_i}}{Fac^{schaarste}} \right)^{e_p^{schaarste}}$$

Waarin:

V_{LH}^{RES,t_i}	De geres tricteerde hoeveelheid luchtvracht afgehandeld op luchthaven LH in jaar t_i
--------------------	--

$V_{LH}^{t_i}$	De totale hoeveelheid luchtvracht afgehandeld op luchthaven LH in jaar t_i
$Kosten_{LH}^{schaarste,t_i}$	Schaarstekosten op luchthaven LH in jaar T per vliegbeweging
$Fac^{schaarste}$	Omrekenfactor van schaarstekosten per vliegtuig naar schaduwprijs per kiloton vracht
$e_p^{schaarste}$	Prijselasticiteit schaarstekosten

De gebruikte omrekenfactor om van schaarstekosten per vliegtuig naar schaarstekosten per kiloton vracht te komen is op 100.000 gesteld. Daarbij is de aanname gemaakt dat de schaarstekosten per passagier ongeveer gelijk zijn aan die van 100 kilo vracht. De waarden van de toegepaste elasticiteiten zijn gegeven in Tabel 12.

Tabel 12. Overzicht standaardelasticiteiten binnen de vrachtmodule

	WLO-Hoog				WLO-Laag			
	2013-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2013-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
Handelselasticiteit								
Luchtvracht	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Prijselasticiteit								
schaarstekosten	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0
Luchtvracht								

4.4 Verdeling over vrachtvliegtuigen en belly's van passagevliegtuigen

Een deel van de luchtvracht wordt vervoerd in de buik (belly's) van passagetoestellen. Door de beperkte ruimte in de belly's, veiligheidsregels en beperkingen zoals bijvoorbeeld de temperatuurcontrole in passagevliegtuigen kan niet alle vracht op deze wijze vervoerd worden. Het overige deel wordt vervoerd met specifieke vrachtvliegtuigen die Full Freighters (FF) genoemd worden. De achterliggende redenen om i.p.v. vrachtvervoer in belly's Full Freighters in te zetten worden niet expliciet gemodelleerd. Deze zijn echter wel impliciet verwerkt in de aannamen over de gemiddelde beladingsgraden van zowel belly's als Full Freighters.

4.4.1 Vracht in Belly's

Bij de verdeling van luchtvracht tussen belly's van passagevliegtuigen enerzijds en Full Freighters anderzijds wordt in het model de aanname gemaakt dat eerst de belly's gevuld worden. Voor de resterende hoeveelheid vracht worden Full Freighters ingezet. Deze aanname is in 2018 in een aantal expertinterviews getoetst en als realistisch beoordeeld voor het luchtvrachtvervoer. Voor Low Cost Carriers (LCC) geldt dat deze nauwelijks vracht vervoeren. De returntijden op luchthavens zijn voor deze vliegtuigen te krap om vracht te kunnen laden en lossen. In het model is hiermee rekening gehouden door de beladingsgraad van belly's voor Low Cost Carriers in het basisjaar op nul te zetten. De totale vrachtcapaciteit in de belly's van passagevliegtuigen wordt als volgt berekend:

$$C_{LH,WR}^{belly,t_i} = 365 \cdot$$

$$\sum_{Z \in WR} \left(Num_{LH,Z,A,G}^{PAX,T} \cdot Cap_G^{belly} \cdot (LF_{WR,LH}^{belly,t_0} + \Delta LF_{WR,LH}^{belly,t_i}) \cdot (LF_A^{red,belly,t_0} + \Delta LF_A^{red,belly,t_i}) \right)$$

Waarin:

$C_{LH,WR}^{belly,T}$	Totale beschikbare vrachtcapaciteit in de belly's van passagevluchten tussen luchthaven HV en wereldregio WR in jaar T
-----------------------	--

$NumG_{LH,Z,A,G}^{PAX,T}$	Aantal passagevluchten tussen vrachtluchthaven HV en zone Z met alliantie A en grootteklasse G in jaar T
Cap_G^{belly}	De vrachtcapaciteit van passagetoestellen in grootteklasse G
$LF_{WR,LH}^{belly,t_0}$	De gemiddelde beladingsgraad voor vracht in de belly's van passagevliegtuigen tussen luchthaven LH en wereldregio WR in het basisjaar
$\Delta LF_{WR,LH}^{belly,t_i}$	De verandering in beladingsgraad voor vracht in de belly's van passagevliegtuigen tussen luchthaven LH en wereldregio WR in jaar t_i t.o.v. het basisjaar.
$LF_A^{red,belly,t_0}$	Een reductiefactor op de gemiddelde beladingsgraad voor alliantie A in het basisjaar
$\Delta LF_A^{red,belly,t_i}$	De verandering in de reductiefactor op de gemiddelde beladingsgraad voor alliantie A in jaar t_i t.o.v. het basisjaar

Zoals aangegeven is de reductiefactor op de beladingsgraad voor Low Cost Carriers op 0 gezet; dit betekent dat zij geen aandeel hebben in de totale beschikbare capaciteit. Voor de overige allianties (alle Full Service Carriers) is een waarde van 1.0 gehanteerd. De gemiddelde laadfactoren en de reducties voor LCC en FSC allianties kunnen in de toekomst veranderen. Hier wordt rekening mee gehouden door het gebruik van reductiefactoren. Bij het berekenen van de totale capaciteit van de belly's in zichtjaren wordt dus rekening gehouden met de verandering in maximale capaciteit (het aantal vliegtuigbewegingen per grootteklasse) en de veranderingen in beladingsgraad. Op deze manier kunnen in scenario's bijvoorbeeld het effect van belly vervoer door Low Cost Carriers of efficiëntiewinsten voor vrachtvervoer in belly's doorgerekend worden.

4.4.2 Vrucht in Full Freighters

Per luchthaven en wereldregio wordt berekend of de beschikbare vrachtcapaciteit in de belly's van passagevliegtuigen voldoende is om de volledige vraag naar luchtvrachtvervoer te kunnen vervoeren. Als dit het geval is, dan worden geen Full Freighters (FF) ingezet. Als de vraag naar luchtvracht groter dan de beschikbare bellycapaciteit is dan worden op deze relatie well Full Freighters ingezet.

Gemiddelde capaciteit Full Freighters

Voordat het aantal benodigde Full Freighters berekend kan worden, wordt eerste de capaciteit van een gemiddeld vrachtvliegtuig berekend:

$$\bar{C}_{LH,WR}^{FF,t_i} = \sum_G (FracG_{LH,G}^{FF,t_i} \cdot Cap_G^{FF} \cdot LF_{WR,LH}^{FF,t_0} \cdot \Delta LF_{WR,LH}^{FF,t_i})$$

Waarin:

$\bar{C}_{LH,WR}^{FF,t_i}$	De gemiddelde vrachtcapaciteit (ton per vliegtuig) van Full Freighters tussen luchthaven HV en wereldregio WR in jaar t_i
----------------------------	---

$FracG_{LH,G}^{FF,t_0}$	Het aandeel vrachtvliegtuigen op luchthaven LH met grootteklasse G in het basisjaar.
Cap_G^{FF}	De vrachtcapaciteit van vrachtvliegtuigen in grootteklasse G
$LF_{WR,LH}^{FF,t_0}$	De gemiddelde beladingsgraad van vrachtvliegtuigen tussen luchthaven LH en wereldregio WR in het basisjaar
$\Delta LF_{WR,LH}^{FF,t_i}$	De verandering in beladingsgraad voor vrachtvliegtuigen tussen luchthaven LH en wereldregio WR in jaar t_i t.o.v. het basisjaar.

De laatste factor geeft aan hoe de beladingsgraad van Full Freighters veranderd in de toekomst. Dit is scenario input waarmee verwachte efficiëntiewinsten meegenomen kunnen worden. In de standaardinstelling voor beide scenario's wordt voorondersteld dat LCC's 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 ontwikkeling voorondersteld voor de periode tussen 2020 en 2050 zoals weergegeven in Tabel 13. Naast de veranderingen in de beladingsgraden kan de vervanging en uitbreiding van de vloot voor een verandering in de gemiddelde belading per vlucht zorgen.

Tabel 13. 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%

Totaal aantal Full Freighters

Per relatie wordt de vrachtvraag die niet past binnen de beschikbare bellycapaciteit van passagetoestellen vervoert door Full Freighters. Het aantal Full Freighters dat hiervoor per dag nodig is wordt als volgt berekend:

$$NumG_{LH,WR,G}^{FF,T} = \frac{1}{365} \cdot FracG_{LH,G}^{FF,t_i} \cdot \bar{c}_{LH,WR}^{FF,t_i} \cdot \max\left((V_{WR,LH}^{MAX,t_i} - C_{LH,WR}^{belly,t_i}), 0\right)$$

Waarin:

$NumG_{LH,WR,G}^{FF,T}$	Het benodigde aantal Full Freighters tussen luchthaven LH en wereldregio WR in grootteklasse G in jaar t_i
$FracG_{LH,G}^{FF,t_i}$	Het aandeel vrachtvliegtuigen op luchthaven LH met grootteklasse G in jaar t_i
$\bar{c}_{LH,WR}^{FF,t_i}$	De gemiddelde vrachtcapaciteit van Full Freighters tussen luchthaven LH en wereldregio WR in jaar t_i
$V_{WR,LH}^{MAX,t_i}$	De grootste luchtvrachstroom (import of export) tussen West-Europa en werelddeel WR afgehandeld op luchthaven LH in jaar t_i
$C_{LH,WR}^{belly,t_i}$	Totale beschikbare vrachtcapaciteit in de belly's van passagevluchten tussen luchthaven HV en wereldregio WR in jaar t_i

4.4.3 Grandfathering regel voor vrachtslots

Als er op een luchthaven onvoldoende capaciteit is om aan de totale vraag naar vliegtuigbewegingen te voldoen, ontstaat er competitie tussen passagevliegtuigen en Full Freighters. Hierbij geldt op Schiphol voor de vliegbeweging slots de zogenoemde grandfathering regel. Deze regel houdt in dat luchtvaartmaatschappijen hun slots behouden als ze deze in de afgelopen jaren voldoende gebruikt hebben. Als gevolg hiervan ontstaat bij schaarste geen volledige marktwerking om de slots. In eerdere versies van AEOLUS (tot AEOLUS 2018) werd de volledige marktwerking impliciet voorondersteld²⁶. In de huidige AEOLUS versie is een technische uitweg gevonden door de gebruikt in staat te stellen om een deel van de vrachtluchten uit de marktwerking te halen. Het resulterende aantal vrachtluchten wordt dus bij schaarste niet gereduceerd; de slots worden behouden. Door deze instellingen kunnen vooral bij korte en middellange termijn doorrekeningen veel realistischer prognoses opgesteld worden²⁷.

Als standaard 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 vliegtuigbewegingen naar alle werelddelen. Voor de andere luchthavens wordt deze regel niet toegepast. In Tabel 14 is het verloop van het aandeel beschermde vrachtslots weergegeven vanaf het basisjaar tot 2050.

Tabel 14. Percentage vrachtslots dat volgens de 'grandfathering regel' wordt 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%

4.5 Kalibratie van het basisjaar

Per luchthaven zijn de vrachtstromen naar de verschillende wereldregio's in het basisjaar gebaseerd op geobserveerde waarden; de hoeveelheid vracht hoeft daarom niet meer apart te worden gekalibreerd. Het aantal vrachtluchten is echter het resultaat van de aangenomen beladingsgraden. De kalibratie van het aantal vrachtluchten per luchthaven en wereldregio in het basisjaar vindt daarom plaats door het instellen van de beladingsgraden van belly's en Full Freighters. Dit zijn echter communicerende vaten, waarbij een te hoge beladingsgraad in één van de twee door een te lage beladingsgraad in het andere gecompenseerd wordt. Data om beide beladingsgraden per wereldregio volledig onafhankelijk van elkaar te kunnen kalibreren is niet beschikbaar.

²⁶ 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. Dat betekende in de praktijk dat door de hogere kostenelasticiteit van luchtvracht ten opzichte van passagiers, bewegingen van Full Freighters in AEOLUS bij schaarste sterker werden gereduceerd dan bewegingen van passagiersvluchten.

²⁷Voor passagiersvluchten is het niet nodig om een grandfathering regel te implementeren. Het aantal passagiersvluchten is met 96% van alle vliegtuigbewegingen zo veel groter dan het aantal Full Freighters dat de Full Freighters zouden kunnen verdubbelen bij een behoud van 95% van de passagiersslots.

5. Vliegtuigbewegingenmodule

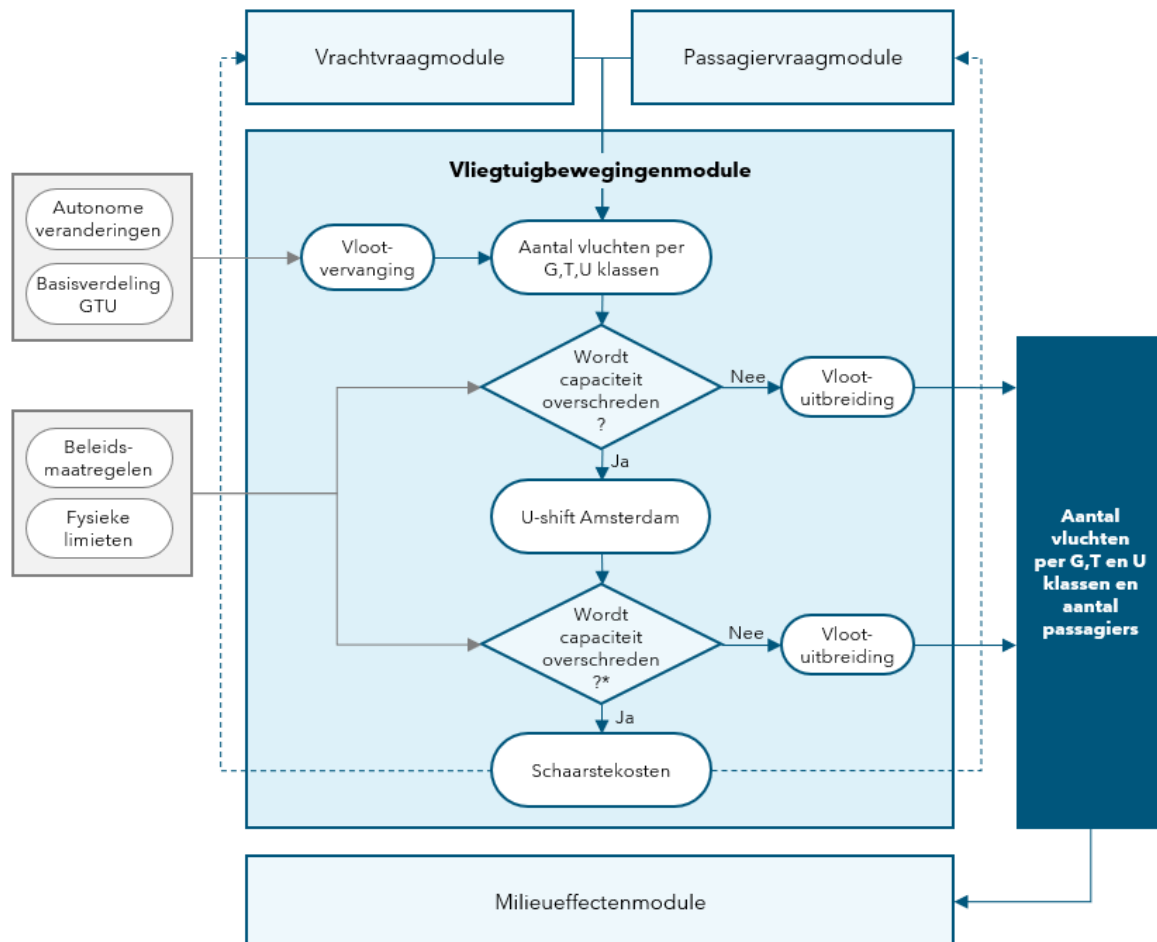
In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het aantal vliegtuigbewegingen wordt gemodelleerd. Voor het basisjaar is per luchthaven de verdeling van het aantal vluchten over grootte- en technologieklassen en periode van de dag per bestemmingsregio gegeven, voor ieder prognosejaar berekent het model deze in een aantal stappen. Daarbij spelen capaciteitsrestricties – gegeven door fysieke limieten en door regelgeving – een belangrijke rol. Om ervoor te zorgen dat de capaciteit per luchthaven niet wordt overschreden, worden in het model als nodig schaarstekosten toegevoegd.

Een vliegtuigbeweging is een vlucht van een toestel tussen twee luchthavens. In AEOLUS wordt verondersteld dat de heenvlucht en de terugvlucht met hetzelfde vliegtuigtype worden uitgevoerd. Bij de interne berekeningen in de vliegtuigmodule is het daarom voldoende om alleen één van de richtingen te berekenen en aan het einde van de module alle vliegtuigbewegingen met 2 te vermenigvuldigen. Echter bij de periode van de dag (U) wordt wel rekening gehouden met verschillen tussen vertrekkende en aankomende vluchten. In de vliegtuigbewegingenmodule wordt uiteindelijk het aantal vliegtuigbewegingen op de Nederlandse luchthavens per jaar berekend dat het beste bij de vraag en de restricties past.

In Figuur 7 wordt de structuur van de vliegtuigbewegingenmodule getoond. Uitgangspunt zijn de vracht- en passagiersvraag uit de eerdere modules en, aan de aanbodkant, het aantal vliegtuigbewegingen verdeeld over grootteklasse (G), technologieklasse (T) en periode van de dag (U). Op basis van deze gegevens wordt eerst de vraag naar het aantal vluchten per G-, T-, U-klasse, alliantie en bestemming berekend (ongerestricteerde situatie), zie paragraaf 5.3 en 5.4. Daarna worden in het model de veronderstelde capaciteitsrestricties toegepast. De capaciteit is gegeven door fysieke limieten en beleidsmaatregelen; daarbij geldt voor Schiphol een grotere aantal regels dan voor de andere Nederlandse luchthavens; deze aanvullende regels zijn in paragraaf 5.7 beschreven. Voor alle geïmplementeerde beleidsmaatregelen zie hoofdstuk 7.

Indien de capaciteit op alle luchthavens voldoende groot is om de vraag te accommoderen, zijn de resultaten van de ongerestricteerde situatie ook de finale resultaten. Indien de vraag ergens groter is dan de capaciteit moet een nieuw evenwicht gezocht worden. Voor Schiphol kan ten eerste door het verschuiven van vluchten naar andere periodes van de dag gereageerd worden, waardoor mogelijk de limieten niet overschreden worden (zie sectie 5.5.1). Voor alle luchthavens (voor Schiphol dus als tweede stap) is voor het geval van overschrijding van de capaciteitsrestricties een terugkoppeling naar vracht- en passagiersmodule geïmplementeerd. Om deze terugkoppeling te simuleren worden in het model schaarstekosten (ook schaduw prijzen genoemd) geïntroduceerd. Daardoor gaan in het model de prijzen (kunstmatig/virtueel) omhoog en daalt de vraag. Hoe de terugkoppeling met schaarstekosten precies werkt staat beschreven in sectie 5.5.2. De totale schaarstekosten zijn de te minimaliserende variabele van het AEOLUS model. Alle variabelen die invloed hebben op de schaarstekosten of ervan afhangen staan in een stelsel van vergelijkingen, die allemaal simultaan worden opgelost. De oplosalgoritme van dit stelsel en de iteratiestappen worden aan het einde van dit hoofdstuk uitgelegd (5.6).

Verder worden in deze module de veranderingen van de vliegtuigvloot per alliantie gemodelleerd. In de simulatie is dit over twee stappen verdeeld²⁸: (1) aan het begin van de berekeningen voor een zichtjaar wordt een deel van de vloot vervangen. Dit omvat de uitfasering van oude toestellen en de verandering van de grootteverdeling. In een tweede stap vindt aan het einde van de module de uitbreiding van de vloot plaats, waarbij toestellen toegevoegd worden om de (gerestricteerde) vervoersvraag te kunnen accommoderen²⁹. Daarbij wordt rekening gehouden met de grootte- en technologieklasse van de nieuwe toestellen.



Figuur 7. Structuur van de vliegtuigbewegingenmodule.

5.1 Berekening aantal passagiers per directe vliegroute

In de passagiersmodule wordt de routekeuze van passagiers (originating en destination, zakelijk en niet-zakelijk) berekend, waarbij directe verbindingen tussen de herkomst en de bestemming én routes met één tussenstop bestaan. Complexere routes met meerdere tussenstops worden in het model niet gesimuleerd. In de vliegtuigbewegingenmodule worden alleen directe vliegbewegingen van en naar de luchthavens in het achterland gemodelleerd.

²⁸ De opsplitsing van de vlootverandering in twee stappen heeft vooral met de implementatie en de werkwijze van het GAMS programma te maken.

²⁹ Verkleining van de vloot is ook mogelijk, maar in de focus van het model staat groei. Dat betekent dat goed over naar is gedacht welke toestellen (combinatie van grootte- en technologieklasse) worden gekocht, maar bij de verkleining met minder detail gemodelleerd wordt.

Bij passagiers met een directe verbinding is de bestemming van de passagier identiek aan de bestemming van het vliegtuig. Voor routes met een tussenstop is dat niet het geval, de locatie van de tussenstop is dan de bestemming van het vliegtuig. Daaruit volgt dat de betekenis van een herkomst of een bestemming voor passagiers anders is dan voor vliegtuigbewegingen. Ondanks dit verschil worden herkomsten en bestemmingen in dit rapport altijd met de letters H en B aangegeven.

Om in de vliegtuigmodule met de juiste passagiersaantallen te rekenen wordt als voorbereiding in deze module het aantal passagiers per directe vliegroute van en naar de luchthavens in het achterland berekend ongeacht of dat de finale bestemming van de passagier is of de transferlocatie, waarvan de passagiers verder vliegen naar hun eindbestemming.

Nadat de originating en destinating passagiers in de passagiersmodule apart worden gehanteerd, worden ze in deze stap bij elkaar opgeteld. In de vliegtuigbewegingsmodule wordt dan slechts de uitgaande richting van de vluchten berekend en het wordt verondersteld dat de inkomende richting identiek is. Vliegbewegingen zijn in deze module daarom altijd tussen een luchthaven en een bestemming.

Uitgangspunt voor de berekening van de passagiers per directe vliegroute is het totaal aantal passagiers (zoals beschreven in paragraaf 3.4.1):

$$PAX_{LH^*,B^*,M,Al}^{t_i} = \sum_{H,B,Hub,R} PAX_{H,B,M,Hub,Al,R}^{t_i} \Big|_{Hub=H^*,Hub=B^*}$$

Waarin:

$PAX_{LH^*,B^*,M,Al}^{t_i}$ het aantal passagiers tussen een luchthaven in het achterland en de eerste bestemming per motief M en alliantie Al

$PAX_{H,B,M,Hub,Al,R}^{t_i}$ de vliegroute van een passagier met motief M met herkomst H , bestemming B , overstapluchthaven Hub , alliantie Al en vliegrichting R .

Aan het voorbeeld van de relatie Amsterdam – London wordt toegelichte welke passagiers meetellen op deze directe vliegroute:

- OD-passagiers Amsterdam – London;
- OD-passagiers London – Amsterdam;
- AMS – London – X, passagiers die vanaf Amsterdam via London ergens naartoe vliegen (transferpassagiers in London);
- X – London – AMS, passagiers die van ergens via London naar Amsterdam vliegen (transferpassagiers in London);
- London - AMS – X, passagiers die vanuit London via Amsterdam ergens naartoe vliegen (transferpassagiers in AMS);
- X – AMS – London, passagiers die van ergens via Amsterdam naar London vliegen (transferpassagiers in AMS).

5.2 Berekening aantal vliegtuigbewegingen

Op basis van het aantal passagiers per directe vliegroute kan het aantal benodigde vliegtuigbewegingen tussen de luchthavens in het achterland en de bestemmingen voor de verschillende allianties en grootteklassen worden berekend. Deze volgen uit de aandelen van de

grootteklassen per relatie, die onderdeel zijn van de GTU-verdeling en het gemiddelde aantal passagiers dat per toestel gezien de G-verdeling vervoerd kan worden.

$$V_{LH,B,Al,G}^{t,G} = FracG_{LH,B,Al,G}^{t,G} \cdot \frac{\sum_M PAX_{LH,B,M,Al}^{t_i}}{365 \cdot LF_B \cdot AveSize_{LH,B,Al}^t}$$

Waarin:

$V_{LH,B,Al}^{t,G}$	het aantal vliegbewegingen per grootteklasse en alliantie tussen en luchthaven en de bestemmingen per dag
$FracG_{LH,B,Al}^{t,G}$	het aandeel van iedere grootteklasse per alliantie tussen een luchthaven en de bestemming. Het aandeel is op het niveau van wereldregio's bepaald (zie GTU verdelingen)
$PAX_{LH,B,M,Al}^{t_i}$	het aantal passagiers per motief en jaar op de directe vliegroute tussen een luchthaven en een bestemming per alliantie
LF_B	Gemiddelde bezettingsgraad naar bestemming. Deze kan worden ingesteld per routetype (kort, Europees, intercontinentaal).
$AveSize_{LH,B,Al}^t$	De gemiddelde grootte van alle gebruikte vliegtuigen tussen een luchthaven en een bestemming per alliantie. Deze wordt berekend op basis van de actuele verdeling over de grootteklassen $FracG_{LH,B,Al}^{t,G}$ en de capaciteit per G-klasse.

5.3 GTU-verdelingen in het basisjaar

De verdeling van het aantal vluchten over grootte- en technologieklassen alsmede de periode van de dag per luchthaven, alliantie en bestemmingen (op het niveau van wereldregio's) is voor het basisjaar gebaseerd op de werkelijke verdelingen: De basisjaarverdelingen voor Schiphol zijn gebaseerd op statistieken geleverd door de luchthaven (Schiphol Statistiek 2017). Voor de overige luchthavens zijn de verdelingen over grootte- en technologieklasse gebaseerd op data van Eurostat. Eurostat geeft geen informatie over de verdeling over de perioden van de dag. De actuele U-verdeling is daarom overgenomen uit een vorige modelversie en ter controle vergeleken met die van Schiphol (zie Significance & To70 (2018) voor een uitgebreide beschrijving). Voor de zichtjaren worden voor elk van de dimensies aannames gedaan over hoe deze verdelingen veranderen (zie sectie 5.4).

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 en (TA t/m TE), de indeling is gebaseerd op geluidsemissie;
- 4 tijdsperioden (ochtend: 7 tot 12u, middag: 12 tot 19u, avond: 19 tot 23u, nacht: 23 tot 7u).

Voor Full Freighters (vrachtvervoer) zijn er behalve een gemiddelde GTU-verdeling geen verdere uitsplitsingen gemaakt. Voor passagevluchten (passagiers en of niet vracht) geeft Tabel 15 een overzicht van de GTU-bestanden en laat zien welke verdere uitsplitsingen er zijn gemaakt. Aangezien de verdeling over de G-classes afhangt van de omvang van de passagiersstroom op een

bepaalde route, is deze verdeling apart vastgesteld per alliantie en wereldregio. Evenzo is de verdeling over de T-classes afhankelijk van de G-klasse, en is daarom ook apart opgesteld voor elke G-klasse. De U-verdeling is apart opgesteld voor de wereldregio's en allianties (en niet voor de GT-classes). De GTU-verdeling wordt uiteindelijk verkregen door de G-verdeling, de T-verdeling en de U-verdeling met elkaar te vermenigvuldigen.

Tabel 15. Overzicht van de uitsplitsingen in de GTU-bestanden voor passagiers

Categorie	Uitsplitsingen
Grootteklasse (G)	Per NL-luchthaven naar wereldregio en alliantie
Technologieklasse (T)	Per NL-luchthaven naar wereldregio, alliantie en grootteklasse
Periode van de dag (U)	Per NL-luchthaven naar wereldregio en alliantie

5.4 Veranderingen in de GT-verdeling

In het zichtjaar treden veranderingen op in de verdeling van het aantal vluchten over grootte- en technologieklasse. Dat zijn autonome veranderingen als gevolg van vervanging van verouderde vliegtuigen en van vlootuitbreiding bij groeiende passagiersaantallen of groei in luchtvrachtvervoer.

5.4.1 Verandering G-verdeling

In het model worden 9 grootteklassen van vliegtuigen onderscheiden. Door vervanging van toestellen met toestellen van andere grootte treden veranderingen in de G-verdeling op; dit wordt voor elk jaar aan het begin van de module door de zogenoemde G-shift gesimuleerd. Daarbij wordt een vast deel van een grootteklasse naar de eerstvolgende (grotere of kleinere) klasse verschoven. Dit gebeurt onafhankelijk van effecten van capaciteitsrestricties. De shiftfactoren zijn op basis van historische verschuivingen afgeleid en in de standaardinstellingen wordt voorondersteld dat deze trends op dezelfde manier doorzetten³⁰. Als de gebruiker deze aannames wil wijzigen is dat eenvoudig mogelijk.

5.4.2 Verandering T-verdeling

De T-verdeling kan ten eerste veranderen door uitbreiding van de vloot. Op moment van uitbreiding worden op dat moment beschikbare toestellen aan de vloot toegevoegd. Deze zijn gemiddeld in een hogere technologieklasse dan de actuele vloot, die eerder in dienst is genomen. Verder treedt een verandering van de T-verdeling in het model op door vernieuwing van de vloot. Vliegtuigen op leeftijd worden vervangen door nieuwe toestellen die minder geluid produceren of minder brandstof verbruiken. Bij de vervangingsvraag worden in het model een tweetal vragen beantwoord: moet het betreffende vliegtuig worden vervangen en zo ja, door welke nieuwere klasse?

De verandering van de T-verdeling in het model vindt voor elk gesimuleerd jaar in twee stappen plaats. Daarbij is de vernieuwing opgedeeld op de twee stappen en de uitbreiding maakt deel uit van stap 2: De eerste stap wordt samen met de G-shift aan het begin van de simulatie van een jaar uitgevoerd en modelleert de uitfasering van oude toestellen. In een tweede stap wordt de vloot uitgebreid met nieuwe toestellen én de toestellen ter vervanging van de in stap 1 uitgefaseerde

³⁰ De recente ontwikkeling waarin heel grote toestellen zoals de B 747 of de A 380 worden vervangen door kleinere toestellen, is nog niet opgenomen in de trends.

toestellen; dit wordt pas aan het einde van de module uitgevoerd omdat dan pas het totaal aantal benodigde toestellen bekend is.

Stap 1: Vervanging, deel 1 (uitfasering)

Voor de vervanging van vliegtuigen wordt met kansverdelingen gewerkt. De kans dat een vliegtuig uit een bepaalde technologieklasse in een bepaald jaar wordt vervangen is afhankelijk van zijn leeftijd, de alliantie en zijn technologieklasse. De aantallen vliegtuigen per G- en T-klasse, luchthaven en alliantie in het jaar vóór het zichtjaar worden dan overschreven als:

$$AantVliegt_{LH,Al,G,T}^t = \sum_{LKI} AantVliegt_{LH,Al,G,T,LKI}^{t-1} \cdot (1 - \rho_{Al,T,LKI}^{verv})$$

Waarbij:

$AantVliegt_{LH,Al,G,T}^t$ Aantal toestellen in het zichtjaar per luchthaven, alliantie (incl. FF) en GT-klasse;

$\rho_{Al,T,LKI}^{verv}$ Kans op vervanging per alliantie (incl. FF), T-klasse en leeftijdsklasse (LKI)

Deze berekening wordt voor passagevluchten en Full Freighters uitgevoerd, waarbij er verschillen zijn in de leeftijdsverdelingen in het basisjaar en de vervangingskansen.

Stap 2: Vervanging, deel 2, en uitbreiding

Allereerst wordt bepaald hoeveel extra (of minder) vliegtuigen er nodig zijn. Dat aantal komt tot stand door de markt vraag (in vliegtuigbewegingen) in een bepaald jaar te vergelijken met de vraag uit het jaar daarvoor en daaruit het aantal extra vliegtuigen te bepalen. Van welke technologie deze uitbreidingsvraag zal zijn is afhankelijk van de beschikbaarheid van vliegtuigen uit de betreffende technologieklassen op dat moment. Vanzelfsprekend komen uitgefaseerde klassen niet in aanmerking. Wel kunnen klassen in aanmerking komen waarvan de productie weliswaar is beëindigd, maar het moment van uitfasering nog niet is aangebroken, maar de kans wordt kleiner naarmate het moment van uitfasering dichterbij ligt. De hoogste kans hebben vliegtuigen uit klassen die op dat moment nog in productie zijn en nog lange tijd zullen meegaan tot het moment van uitfasering. Elke in aanmerking komende klasse krijgt zodoende een 'waardering', die afhankelijk is van het moment van in productie neming, beëindiging productie en uitfasering van de betreffende klasse. Op grond van die waarderingen worden vervolgens de kansen (en dus kansverdeling) bepaald van de technologieklassen die voor de uitbreidingsvraag in aanmerking komen.

Indien het betreffende vliegtuig wordt vervangen, wordt de vraag relevant door welke klasse. Daarvoor wordt dezelfde berekeningswijze aangehouden als die is toegepast voor de klassenverdeling van nieuwe vliegtuigen, waarbij de beperking geldt dat een vliegtuig alleen wordt vervangen door vliegtuigen uit hogere technologieklassen.

Door de verdeling van de uitbreidingsvraag op te tellen bij die van de vervangingsvraag en de verdeling van de vloot die niet wordt vervangen komt men tot een totale verdeling van het aantal bewegingen over de technologieklassen. Door expliciet rekening te houden met de uitbreidingsvraag, waarvoor alleen de relatief nieuwere types in aanmerking komen is een mechanisme ingebouwd dat in de scenario's met snellere vraagontwikkeling leidt tot sterkere groei in hogere technologieklassen.

5.5 Capaciteitsrestricties

Wanneer er geen rekening gehouden wordt met de beperkte capaciteiten, dan ligt het aantal vluchten in sommige scenario's in het zichtjaar boven zowel de fysieke limieten (zoals baancapaciteit) als de geluidscapaciteit of andere limieten uit beleidsmaatregelen.

Als het totaal aantal vliegbewegingen op een luchthaven kleiner is dan de jaarlimiet, maar in sommige dagdelen de geldende uurlimiet (zie paragraaf 7.4.1) wordt overschreden, kan deze overschrijding opgelost worden met een verschuiving van vluchten tussen de dagdelen. Het geïmplementeerde mechanisme wordt beschreven in 5.5.1.

Als het niet mogelijk is de capaciteitsoverschrijding op deze manier op te lossen is een ander mechanisme nodig dat het aantal vluchten (en daarmee het aantal passagiers) beperkt tot het maximumaantal vluchten dat binnen de capaciteitsgrenzen past. Dit mechanisme werkt op twee manieren: als eerste worden schaarstekosten doorberekend aan zowel luchtvaartmaatschappijen als de passagiers en vrachtvervoerders, waardoor de vraag van passagiers en vrachtvervoerders daalt en de aantrekkelijkheid van GTU combinaties verschoven wordt. Ten tweede worden de frequenties naar beneden bijgesteld.

In dit hoofdstuk wordt eerst conceptueel beschreven hoe schaarstekosten in deze module werken (paragraaf 5.5.2). Daarna is in meer detail uitgelegd hoe dit in het model geïmplementeerd is; eerst voor passagiers (5.5.4) en dan voor vracht (5.5.5).

5.5.1 U-shift (reactie op bereiking van capaciteitsrestricties)

Indien de capaciteit van een luchthaven in periodes van de dag wordt overschreden en er nog ruimte is in andere periodes, vindt een verschuiving in de U-verdeling plaats. Deze verschuiving wordt alleen gemodelleerd voor hubs (Amsterdam, Frankfurt en Parijs) en niet voor de regionale luchthavens. Voor hubs is de dagdeelkeuze relevant omdat deze invloed heeft op de overstaptijden van transferpassagiers. Voor regionale luchthavens speelt dit niet en wordt deze daarom ook niet gemodelleerd.

De verschuiving in dagdelen wordt door een heuristiek in het GAMS-model gesimuleerd. Voordat elk jaar wordt gesimuleerd, wordt op basis van de U-verdeling van het vorige jaar en de verwachte groei (uit het ongerestricteerde model) berekend hoeveel vluchten er in elk dagdeel verwacht worden. Nadat rekening gehouden wordt met het maximaal aantal vluchten per uur, levert dit een maximale verdeling op in de U-dimensie. Deze wordt gebruikt als target voor de uiteindelijke simultane oplossing. Met de toegepaste heuristiek worden de periodes van de dag gevuld waar de capaciteitslimiet nog niet is gehaald. De mate van de verschuiving hangt af van de groei in een ongerestricteerde situatie, en niet van de hoogte van de schaarstekosten. Deze worden pas toegepast indien na de U-shift de capaciteit nog steeds wordt overschreden.

De U-shift wordt voor de drie luchthavens AMS, FRA en CDG uitgevoerd in volgende stappen:

0. Initiële berekening van de verwachte vliegtuigbewegingen voor passagiers en vracht:

$$V_{Lh,Al,U}^0 = \sum_{Dest,G} \left(2 \cdot AantG_{Lh,Dest,Al,G}^t \cdot \frac{\sum_{WR} (FracU_{Lh,WR,Al,U}^{t_0})}{HrsPerU_U} \right)$$

Waarbij:

$V_{Lh,Al,U}^0$ Verwacht aantal vliegtuigbewegingen op hubs per alliantie (incl. FF) en dagdeel;

$AantG_{Lh, Dest, Al, G}^t$	Aantal vliegtuigbewegingen per luchthaven, bestemming, alliantie (incl. FF) en grootteklasse (uitkomst van ongerestricteerde berekening voor prognosejaar t;
$FracU_{Lh, WR, Al, U}^{t_0}$	Aandeel per U-klasse in het basisjaar (t_0) per luchthaven bestemmingsregio en alliantie (incl. FF)
$HrsPerU_U$	Lengte van dagdelen in uren (ochtend: 5, middag: 7, avond: 4, nacht: 8)

In deze initiële stap worden de berekeningen apart voor passagiers (alle allianties) en vracht uitgevoerd en aan het einde opgeteld; de volgende stappen worden voor passagiers en vracht samen uitgevoerd.

1. Afkapping van vluchten boven de maximale aantallen:

$$V_{Lh, Alvr, U}^1 = V_{Lh, Al, U}^0 \cdot \frac{\min(V_{Lh, U}^{0, tot}, FlightLimit_{Lh, U})}{V_{Lh, U}^{0, tot}}$$

Waarbij:

$V_{Lh, Alvr, U}^X$	Aantal vluchten op een luchthaven voor een alliantie of vracht in een periode van de dag na stap X (0 of 1) van deze heuristiek.
$V_{Lh, U}^{X, tot}$	Aantal vluchten (passagiers en vracht) op een luchthaven in een periode van de dag na stap X (0 of 1) van deze heuristiek.
$FlightLimit_{Lh, U}$	Maximaal aantal vluchten op een luchthaven in een periode van de dag.

Mogelijk komt door uitplaatsingen van vluchten naar Lelystad (zie ook paragraaf 7.3.2) de nachtvaart op Schiphol onder de limiet; dit is niet realistisch en wordt dus gecorrigeerd door de nachtvluchten op de limiet te zetten.

Aan het einde van deze stap wordt berekend voor hoe veel dagdelen de limieten bereikt zijn; indien dit voor alle dagdelen het geval is, worden de volgende stappen niet uitgevoerd omdat het capaciteitsprobleem niet door een verschuiving van vliegbewegingen tussen de dagdelen op te lossen is.

2. Herverdelen van afgekapte vluchten over dagdelen die nog niet aan de limiet zitten

$$V_{Lh, Alvr, U}^2 = V_{Lh, Alvr, U}^1 \cdot AtLimit_{Lh, U} + (1 - AtLimit_{Lh, U}) \cdot \left(\frac{\sum_U (V_{Lh, U}^{1, tot} \cdot HrsPerU_U \cdot (1 - AtLimit_{Lh, U}) + V_{Lh}^{0, dag} - V_{Lh}^{1, dag})}{\sum_U (V_{Lh, U}^{1, tot} \cdot HrsPerU_U \cdot (1 - AtLimit_{Lh, U}))} \right)$$

$V_{Lh}^{X, dag}$	Aantal vliegtuigen op een luchthaven per dag (alle allianties en dagdelen bij elkaar) na stap X van deze heuristiek.
$AtLimit_{Lh, U}$	Binaire variabele die aangeeft of voor een periode van de dag de limiet bereikt is.

3. Het kan zijn dat andere dagdelen door de herverdeling boven de limiet zijn gekomen, dus opnieuw afkappen zoals in stap 1.

4. Opnieuw afgekapte vluchten herverdelen zoals in stap 2.

5. Wederom is het mogelijk dat bepaalde dagdelen boven de limiet zijn gekomen, dus opnieuw afkappen. Dit is de laatste keer want er kunnen in het begin maximaal 3 dagdelen boven de limiet zitten. Als alle vier boven de limiet waren kan het capaciteitsproblemen niet met behulp van een dagdeelverschuiving opgelost worden.
6. Opnieuw afgekapte hoeveelheid herverdelen.

5.5.2 Concept schaarstekosten

Wanneer de capaciteitsgrenzen worden overschreden, wordt dit in het model vertaald naar schaarstekosten. Als bijvoorbeeld in de ochtend de fysieke capaciteit wordt overschreden, dan ontstaan er in het model schaarstekosten voor vluchten die in de ochtend vertrekken en/of aankomen. Deze schaarstekosten worden vervolgens aan de reizigers doorberekend.

Het idee daarachter is dat de consument de schaarstekosten bemerkt doordat de ticketprijzen stijgen. Hierdoor zal een aantal passagiers vanaf een andere luchthaven vertrekken, met een ander vervoermiddel (auto of trein) reizen of de reis niet meer maken. Hiermee daalt het aantal passagiers, waardoor ook het aantal vluchten zal dalen. Voor luchtvracht geldt een vergelijkbare redenering, stijgende prijzen resulteren in een lagere vraag op de betreffende luchthaven.

Zoals eerder beschreven, worden de *passagiersaantallen en vrachthoeveelheden* met behulp van de GTU-basisverdeling (paragraaf 5.1) en eventueel beleid (paragraaf 5.7) vertaald in een *aantal vluchten* per G, T, en U. Voor het aantal vluchten wordt vervolgens getoetst of capaciteitsgrenzen worden overschreden. Als dit het geval is, worden op de betreffende luchthaven schaarstekosten voor zowel passagiers als luchtvrachtvervoer verhoogd. Dit leidt tot een ander aantal passagiers en hoeveelheid vracht, een andere verdeling over G, T en U en een ander aantal vluchten. Opnieuw wordt gekeken of de capaciteit wordt overschreden. Is dit nog steeds het geval dan worden de schaarstekosten opnieuw verhoogd en worden opnieuw passagiersaantallen, vrachthoeveelheden en vluchten bepaald. Dit proces herhaalt zichzelf totdat de capaciteit niet meer wordt overschreden (zie ook 5.6).

Als de capaciteit niet meer wordt overschreden zijn het totaal aantal vluchten en passagiers alsmede de vrachthoeveelheden bekend. Deze hoeveelheden worden vervolgens in de milieueffectenmodule gebruikt.

5.5.3 Totale schaarstekosten

Het hele model werkt op die manier dat de totale schaarstekosten geminimaliseerd worden.

De totale schaarstekosten in een zichtjaar worden met de volgende formule berekend:

$$SK^{tot,t} = \sum_{Lh,AI,U} (SK_{LH} \cdot PrevFlPerHr_{Lh,AIVr,U}) + MalusFac$$

Waarbij:

SK_{LH} Schaarstekosten per vliegtuigbeweging op een luchthaven

$PrevFlPerHr_{LH,AIVr,U}$ Aantal vliegtuigbewegingen van voor passagiers en vracht op een luchthaven per periode van de dag in de vorige iteratie

De malusfactor is een modelmatige truc, die geen invloed heeft op de resultaten. Deze is ingevoerd om te voorkomen dat het algoritme in een lokaal minimum blijft hangen, waarbij de vraag te sterk wordt gereduceerd en het aantal vliegbewegingen door te hoge schaarstekosten significant onder de geldende limiet blijft. De factor wordt extreem groot wanneer het verschil tussen het maximale

aantal vluchten per dag en het daadwerkelijke aantal groot is. Standaard staat deze uit; zodra in een bepaald jaar op een luchthaven onterecht hoge schaarstekosten worden berekend (lokaal en niet optimaal minimum van het oplossingsalgoritme), wordt de malusfactor voor deze combinatie van luchthaven en jaar handmatig aangezet.

$$Malus^{totaal} = \sum_{Lh} \left(Malus_{LH} \cdot \left(\frac{FlightsDayLimit_{LH} - FlightsPerDay_{LH}}{FlightsDayLimit_{LH} + 0.0001} \right)^3 \right)$$

5.5.4 Berekening schaarstekosten voor passagiers

De schaarstekosten per passagier worden berekend met volgende formule.

$$SK_{LH,B,Al}^{pass,t} = \phi_{Lh_{AL,Al}} \cdot \sum_{LH} \left[\frac{SK_{LH}^t}{G_{LH,B,Al}^{Gem} \cdot LF_B} \right]$$

Waarbij:

$SK_{LH,FlDest,Al}^{pass,t}$	Schaarstekosten per passagier voor een vliegbeweging op een luchthaven naar een bestemming met een bepaalde alliantie.
$\phi_{Lh_{AL,Al}}$	Reductiefactor voor thuis-hub; 0,85 voor Sky Team op Schiphol en Parijs en Star Alliance op luchthaven Frankfurt, 1 voor alle andere combinaties van luchthaven en allianties.
SK_{LH}^t	Schaarstekosten per vliegbeweging voor een luchthaven.
$G_{LH,FlDest,Al}^{Gem}$	Gemiddelde grootte (in aantal stoelen) van een vliegtuig tussen een luchthaven en de bestemming per alliantie
LF_B	Gemiddelde bezettingsgraad naar bestemming. Deze kan worden ingesteld per routetype (kort, Europees, intercontinentaal).

De totale schaarstekosten van alle passagiers per luchthaven zijn dus per zichtjaar:

$$SK_{LH}^{tot,t} = \sum_{B,M,Al} SK_{LH,B,Al}^{pass,t} \cdot PAX_{LH,B,M,Al}^t$$

5.5.5 Berekening schaarstekosten voor vracht

Ook voor vrachtvervoer worden in het model schaarstekosten toegepast. Om te voorkomen dat het effect van de schaarstekosten op vracht te groot is, wordt vooraf een deel van de totale luchtvrachtstroom afgetrokken ($FFSubtr_{WR}$ vermenigvuldigd met de gemiddelde capaciteit van een Full Freighter). De gehanteerde elasticiteit is -5.

$$V_{LH_V,WR}^{tot,res,t} = (V_{LH_V,WR}^t - FF_{WR}^{AMS,Subtr,t} \cdot GemVrCap_{LH_V,WR}) \cdot \left(1 - \frac{5 \cdot SK_{LH_V}}{100000} \right)^5$$

Waarbij:

$V_{LH_V,WR}^{tot,res,t}$	Totaal hoeveelheid luchtvracht in een situatie met capaciteitsrestricties.
---------------------------	--

$V_{LH_V,WR}^t$	Hoeveelheid luchtvracht die in een ongerestricteerde situatie van een luchthaven naar een wereldregio wordt vervoerd.
$GemFFCap_{Lh,WR}$	De gemiddelde vrachtttoestelcapaciteit van een luchthaven naar een wereldregio.
SK_{LH_V}	Schaarstekosten per vliegbeweging voor vracht op een luchthaven.
$FF_{WR}^{AMS,Subtr,t}$	Aantal vliegbewegingen van Full Freighters dat vóór toepassing van schaarstekosten afgetrokken wordt (omzetting van grandfathering voor Schiphol, zie paragraaf 4.3). Voor alle andere vrachtluchthaven is deze factor = 0. Het wordt berekend als minimum van het aantal vrachtvliegtuigbewegingen benodigd op Schiphol (links) en de helft van de FF-vluchten van/naar AMS in het basisjaar gedeeld door de fractie van slots die moeten worden behouden (<i>KeepFFSlots</i>):
	$FF_{WR}^{Subtr,t} = \min \left(\frac{V_{AMS,WR}^t - V_{AMS,WR}^{t,Belly}}{GemFFCap_{AMS,WR}}, \quad 0,5 \cdot \frac{FF_{AMS,WR}^{t_0}}{KeepFFSlots} \right)$
$FF_{AMS,WR}^{t_0}$	Het aantal Full Freighter bewegingen tussen Schiphol en een wereldregio in het basisjaar.
$V_{AMS,WR}^t$	Hoeveelheid vracht tussen Schiphol en de wereldregio's in het zichtjaar.
$V_{AMS,WR}^{t,Belly}$	Belly-capaciteit voor vracht tussen Schiphol en de wereldregio's in het zichtjaar
<i>KeepFFSlots</i>	Het aandeel slots dat volgens de grandfathering regel niet in competitie is met de slots van passagevluchten.

5.5.6 Effecten op frequenties

De frequentie van een bepaalde verbinding heeft invloed op het keuzegedrag van reizigers: hoe lager de frequentie, hoe minder aantrekkelijk de verbinding. Dat betekent dat de capaciteitsrestricties niet alleen resulteren in een vraagreductie op basis van schaarstekosten maar als secundair effect een vraagreductie door frequentieverlagingen plaatsvindt.

Om te voorkomen dat het programma in een neerwaartse spiraal terecht komt of niet convergeert, wordt deze verlaging niet in elke iteratieslag meegenomen, maar eenmalig generiek uitgevoerd. De frequentieverlaging wordt voor het eerste jaar waarin restricties van toepassing zijn berekend door sequentieel twee keer op te lossen, eenmaal zonder en eenmaal met de frequentie-aanpassing (zie sectie 5.6.2). Het verschil in frequentie uit deze oplossingen wordt geëxtrapoleerd en voor de volgende jaren generiek toegepast. Op deze manier worden de frequentie-aanpassingen wel meegenomen, terwijl er toch een unieke en stabiele oplossing gevonden kan worden. Daarna kunnen de frequenties alleen aangepast worden door een eventuele verschuiving naar grotere type vliegtuigen door de luchtvaartmaatschappijen.

5.6 Iteratieproces

Om het aantal vluchten te beperken wordt een iteratief proces gebruikt waarin de schaarstekosten in kleine stappen worden doorberekend.

De totale schaarstekosten die nodig zijn om binnen de capaciteitsgrenzen te komen (zie 5.5.3), zijn afhankelijk van de reacties van passagiers en dit is niet van tevoren bekend. Het mechanisme begint daarom met een klein bedrag aan schaarstekosten en een daling van het aantal vluchten (en passagiers). Indien dit niet genoeg is om te voldoen aan de capaciteitsgrenzen worden de schaarstekosten iets verhoogd. Dit wordt gedaan totdat het aantal vluchten voldoet aan de capaciteitsgrenzen.

5.6.1 Oplosalgoritme

De schaarstekosten zijn verschillend per luchthaven en per luchtvaartmaatschappij (alliantie). De minimalisatie betreft de schaarstekosten per vlucht, vermenigvuldigd met het aantal vluchten en vervolgens gesommeerd over alle luchthavens, alle allianties en alle dagdelen. Oftewel, het betreft de totale schaarstekosten die opgelegd worden aan alle reizigers in het gehele systeem.

5.6.2 Iteratiestappen

Voor elk jaar (vanaf het basisjaar 2017 tot en met het zichtjaar (maximaal: 2050)) wordt het simultane stelsel vergelijkingen opgelost. Dit gebeurt door de interne GAMS software.

Elk jaar wordt in maximaal 4 stappen opgelost. De uitkomst van de ene stap wordt gebruikt als beginpunt voor het oplosalgoritme van de volgende stap, en de uitkomst van het ene jaar wordt weer gebruikt als beginpunt voor de eerste stap van het volgende jaar. Welke stappen worden uitgevoerd, hangt af van of in een bepaald jaar beleidsmaatregelen van toepassing zijn en of de capaciteitsrestricties bereikt worden.

Tabel 16. Iteratiestappen afhankelijk van toepasselijke beleidsmaatregelen en capaciteitsrestricties

	Stap 1: CNS oplossing zonder capaciteits- beperkingen, zonder beleid	Stap 2: CNS oplossing zonder capaciteits- beperkingen, met beleid (maar zonder frequentie effect van beleid)	Stap 3: CNS oplossing zonder capaciteits- beperkingen, met beleid (en met frequentie effect van beleid)	Stap 4: DNLP optimalisatie van de schaarstekosten (met capaciteitsbeper- kingen, met beleid)
Ongerestricteerd, geen beleid	✓			
Ongerestricteerd, met beleid	✓	✓	✓	
Gerestricteerd, geen beleid	✓			✓
Gerestricteerd, met beleid	✓	✓	✓	✓

In **stap 1** wordt een oplossing bepaald voor een situatie zonder capaciteitsbeperkingen en zonder beleidsmaatregelen (ook zonder vliegbelasting). Deze eerste stap is belangrijk als referentie voor de berekening (later) van de welvaarts- en beleidseffecten. Aangezien dit een model is bestaande uit een niet-singulier vierkant stelsel vergelijkingen zonder verdere randvoorwaarden, is dit simpel op te lossen. Binnen GAMS wordt dit stelsel als een CNS probleem geformuleerd (“Constrained Non-linear System”) en vervolgens met het CONOPT algoritme in twee iteraties opgelost.

In de **tweede stap** worden de beleidsmaatregelen wel meegenomen, maar de capaciteitsbeperkingen nog niet. Ook nu is het een niet-singulier vierkant stelsel vergelijkingen en wordt het op dezelfde manier als hierboven opgelost. Echter, zoals in paragraaf 5.5.6 reeds

beschreven kan niet simultaan het effect van de eventuele verlaging van de frequentie worden meegenomen in de passagiersmodule. Daarom wordt na afloop van de tweede stap bepaald wat deze frequentieverandering is. Deze wordt vervolgens geëxtrapoleerd en als vaste frequentieverandering meegenomen in de **derde stap**.

In de **vierde stap** worden de capaciteitsbeperkingen pas meegenomen. Om hieraan te voldoen worden schaarstekosten geïntroduceerd, zoals in paragraaf 5.5.2 uitgelegd. Vervolgens wordt het minimum van schaarstekosten gezocht waarbij wel aan de capaciteitsbeperkingen wordt voldaan. Hiervoor wordt het probleem als een DNLP probleem gedefinieerd (“NonLinear Programming with Discontinuous derivatives”). De oplossing van de derde stap wordt hierbij gebruikt als beginpunt voor de iteraties in stap 4.

5.7 Verdeling vliegbewegingen over de banen op Schiphol

De Nederlandse luchthavens Rotterdam, Eindhoven, Groningen, Maastricht en Lelystad beschikken allemaal over één baan voor starts en landingen. Alle vliegbewegingen worden logischerwijs op deze baan afgehandeld. Voor Schiphol is de situatie door een banenstelsel met zes banen, waarvan in principe 5 regelmatig worden gebruikt³¹, veel complexer (zie Figuur 8). Omdat het gebruik van de banen invloed heeft op de geluidsbelasting in de omgeving en er specifieke regels moeten worden ingehouden, wordt het baangebruik voor Schiphol gemodelleerd.



Figuur 8. Overzicht van het banenstelsel op Schiphol (bron: Wikipedia).

De Polderbaan en de Kaagbaan zijn de primaire banen van Schiphol. Vliegtuigbewegingen op deze banen zorgen voor de minste geluidsoverlast. Daarom is de voorkeurssituatie deze banen te gebruiken. Bij ongunstige weersomstandigheden en tijdens drukke periodes worden de secundaire banen ingezet, dat zijn de Zwanenburgbaan, de Buitenvelderbaan en de Aalsmeerbaan.

³¹ De Oostbaan is veel korter dan de andere banen en het gebruik zorgt voor veel overlast voor Amsterdam. Daarom mag deze baan alleen in heel uitzonderlijke weersomstandigheden worden gebruikt.

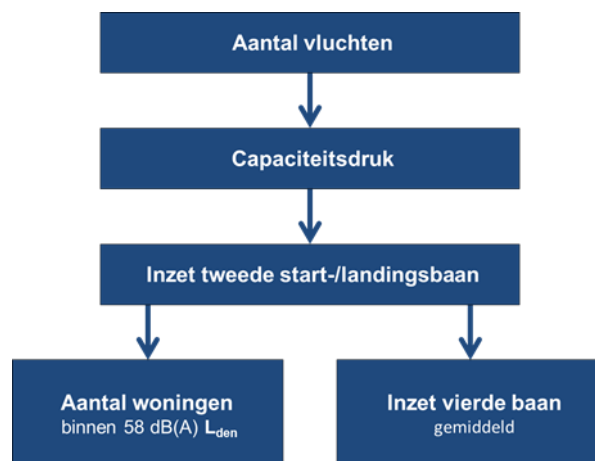
Schiphol hanteert tijdens rustige periodes (avond en nacht) één start- en één landingsbaan. Overdag worden drie banen parallel benut, dat is afwisselend een tweede start- (startpiek) of een tweede landingsbaan (landingspiek). Deze operatie wordt 2+1 genoemd. Omdat start- en landingspieken elkaar steeds weer afwisselen, kan het voorkomen dat voor een bepaalde tijd een vierde baan geopend moet worden om bijvoorbeeld vertraagde vliegtuigen tijdens een startpiek te kunnen laten landen. In deze situatie zijn dus tijdelijk 2 startbanen en twee landingsbanen (2+2) geopend. Voor de vierde baan bestaat actueel een limiet van 40 vluchten per dag. Het model is instaat bij de bepaling van de jaarcapaciteit op Schiphol rekening te houden met de limieten voor het gebruik van de vierde baan als voor het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour³². Hiervoor worden de volgende parameters berekend:

- De Hoeveelheid Geluid (HG);
- Het aantal bewegingen op de tweede start- of landingsbaan;
- Het aantal bewegingen per dag op de vierde baan;
- Het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour.

Dit hoofdstuk geeft een beknopt overzicht van de algoritmen die hiervoor gebruikt worden. Een gedetailleerde beschrijving is te vinden in Significance & To70 (2017) en in Appendix B van deze rapportage.

5.7.1 Overzicht rekenstappen

De berekeningen worden uitgevoerd voor ieder dagdeel (ochtend, middag, avond en nacht) apart. Uitgangspunt is het aantal vliegbewegingen (passagevluchten en Full Freighters). Als eerste tussenstap wordt de capaciteitsdruk berekend. Deze is afhankelijk van de baancapaciteit en het aantal vluchten dat in een dagdeel afgehandeld moet worden. Hieruit volgt in de tweede stap hoeveel starts en landingen op de tweede en vierde baan afgehandeld worden.



Figuur 9. Schematisch overzicht van de rekenstappen om uit het aantal vluchten het aantal bewegingen op de vierde baan en het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour te berekenen.

Als blijkt dat één of meerdere van de limieten overschreden worden, wordt een prognose gemaakt voor het aantal vluchten dat wel binnen alle limieten past.

De volgende paragrafen geven een korte toelichting op de verschillende modelstappen.

³² De regelgeving staat beschreven in de Handhavingsrapportage Schiphol (Inspectie Leefomgeving en Transport, 2020).

5.7.2 Seizoensinvloeden en variatie verkeersvolume

Het aantal vluchten is onderverdeeld naar dagdeel (ochtend, middag, avond, nacht), naar grootteklasse van het vliegtuig (G), naar technologie-klasse (T) van het vliegtuig en naar herkomst en bestemming. Dit detailniveau is onvoldoende om een prognose te maken van de verdeling van het verkeer over banen. Het ontbreekt aan seizoensinvloeden en variatie in het verkeersvolume binnen seizoenen. Daarom is een extra stap toegevoegd waarin het aantal vluchten nog verder wordt onderverdeeld. De gebruiker geeft een verhouding tussen het gemiddelde verkeersvolume op een zomer- en een winterdag en de dagelijkse variatie op. Op basis daarvan maakt het model een verkeersprognose waarmee het aantal bewegingen op de tweede start- en landingsbaan en op de vierde baan wordt bepaald. Het model gaat ervan uit dat het dagvolume binnen een seizoen normaal is verdeeld. De algoritme staat in appendix B uitgebreid beschreven.

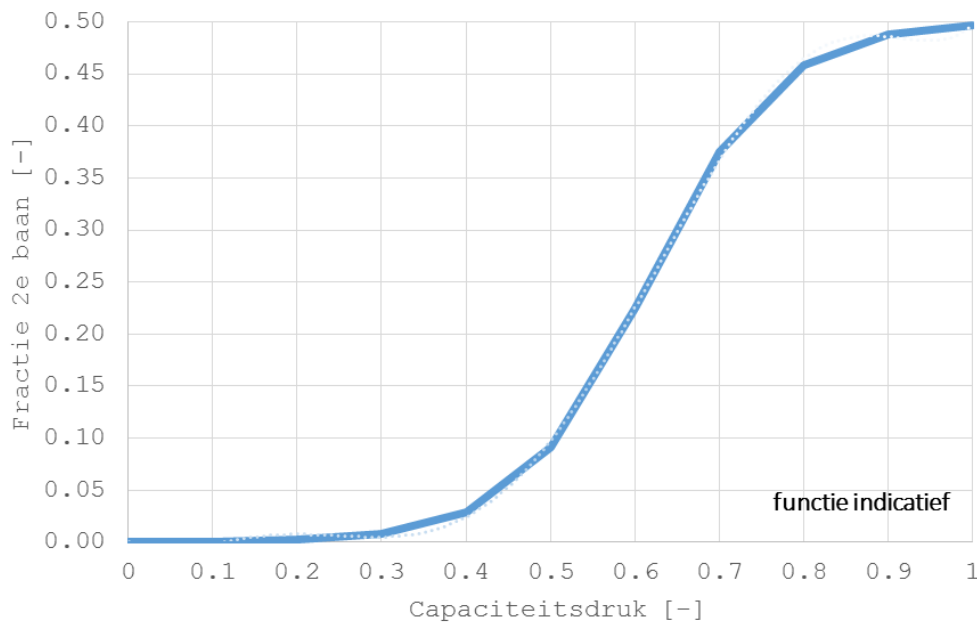
5.7.3 Capaciteitsdruk en aantal bewegingen tweede start- en landingsbaan

Het model bepaalt het aantal bewegingen op de tweede start- en landingsbaan om het aantal bewegingen op de vierde baan en het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour te kunnen bepalen.

Het aantal bewegingen op de tweede start- of landingsbaan volgt uit een relatie tussen de druk op de baancapaciteit (capaciteitsdruk) en de fractie van het verkeer dat bij die capaciteitsdruk op de tweede baan terecht komt. Deze relatie is afhankelijk van het operationeel concept (2+1 of 2+2 afhandelingsconcept³³); standaard wordt er uitgegaan van de 2+1 afhandelingsconcept. De gebruiker kan de standaardparameters (het afhandelingsconcept en daardoor de relatie tussen de capaciteitsdruk en de fractie van het verkeer op de tweede baan terecht komt) gebruiken of de parameters aanpassen en daarmee bijvoorbeeld de effecten van een aangepast afhandelingsconcept berekenen. Daarbij is het mogelijk onderscheid te maken naar seizoen en dagdeel (ochtend, middag, avond). De relaties kunnen zijn afgeleid van praktijkgegevens en baangebruikssimulaties maar het kan ook een theoretische functie zijn.

Figuur 2.2 geeft een voorbeeld van de relatie tussen de capaciteitsdruk en het deel van de vliegtuigbewegingen dat op de tweede landingsbaan wordt afgehandeld. De getoonde relatie is voor het 2+1 afhandelingsconcept waarin de tweede startbaan wordt ingezet als het verkeer niet meer op één startbaan kan worden afgehandeld. De capaciteitsdruk is gedefinieerd als de fractie van de maximale capaciteit die nodig is om het verkeer af te handelen.

³³ 2+1 = 2 startbanen + 1 landingsbaan of andersom; 2+2 = 2 start- en twee landingsbanen; voor meer informatie over baangebruik zie <https://www.lvn.nl/omgeving/baangebruik>



Figuur 10. Voorbeeld relatie capaciteitsdruk (=aantal vluchten/maximale capaciteit) en percentage verkeer op tweede baan

Voorbeeld - Capaciteitsdruk en Bewegingen op de tweede baan

Voor een periode van 5 uur met maximale capaciteit van 68 landingen/uur is de maximale capaciteit 340 landingen. Bij een verkeersvolume van 210 landingen is de capaciteitsdruk 0.62. Bij een capaciteitsdruk van 0.62 wordt conform bovenstaande figuur 26% van de landingen op de tweede baan afgehandeld. Dit komt overeen met $26\% \times 210 = 55$ landingen.

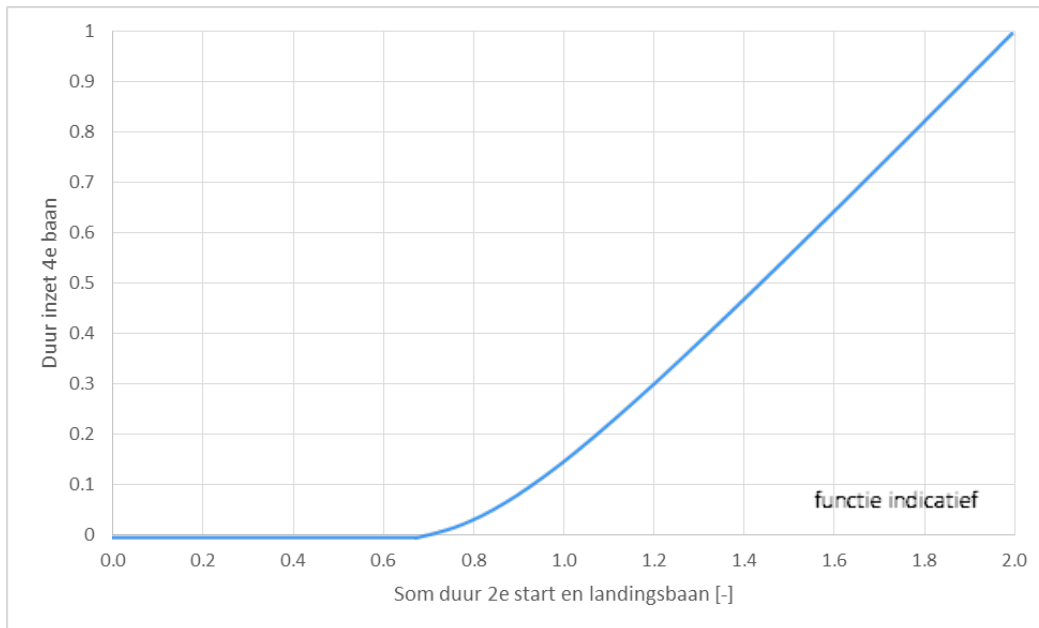
Het aantal bewegingen op de start- en landingsbaan wordt afzonderlijk bepaald per seizoen en per dagdeel waarbij het model rekening houdt met de variatie in het dagdeelvolume. De variatie beschrijft de typische afwijking van het totale aantal vliegbewegingen in een dagdeel van een individuele dag ten opzichte van het gemiddelde dagdeel per seizoen.

5.7.4 Aantal bewegingen op de vierde baan per dag

Het aantal bewegingen op de vierde baan kan ingesteld worden als een van de limieten waar AEOLUS onder moet blijven. Dit limiet is in te stellen door de gebruiker en kan aan en uit gezet worden. Het aantal bewegingen op de vierde baan wordt door het model bepaald op basis van het aantal bewegingen op de tweede start- en landingsbanen en de duur dat een tweede start- en landingsbaan wordt ingezet. De duur dat een tweede start- en landingsbaan worden ingezet wordt op een vergelijkbare manier bepaald als de fractie van het verkeer dat op de tweede baan wordt afgehandeld, zie paragraaf 5.7.3. In plaats van een relatie tussen de capaciteitsdruk en de fractie van het verkeer dat op de tweede baan wordt afgehandeld, wordt een relatie gebruikt tussen de capaciteitsdruk en de fractie van de duur van de periode (dagdeel) dat een tweede start- of landingsbaan in gebruik is.

De duur dat de tweede start- en landingsbaan in gebruik zijn, bepaalt de duur dat er vier banen tegelijkertijd in gebruik zijn. De relatie is afhankelijk van het gekozen afhandelingconcept. Figuur 11 geeft een voorbeeld van een dergelijke relatie, met name voor het 2+1 afhandelingconcept. De som van de duur van het gebruik van de tweede start- en landingsbaan en van de vierde baan zijn genormaliseerd naar de duur van de periode. De gebruiker kan kiezen voor de standaardrelaties die

zijn ingebouwd in AEOLUS of wijzigingen aan de parameters aanbrengen. Een beschrijving van de ingebouwde relatie wordt gegeven in Appendix B.



Figuur 11. Duur inzet vierde baan als functie van inzet tweede start en landingsbaan

Voorbeeld - Duur gebruik vierde baan als functie van duur gebruik tweede start- en landingsbaan.

In een periode van 5 uur wordt 3 uur gebruik gemaakt van een tweede landingsbaan en 3 uur gebruik van een tweede startbaan. De genormaliseerde duur van het gebruik van de tweede startbaan is 0.6, evenzo voor het gebruik van de tweede landingsbaan. De som van de genormaliseerde duur is 1.2. Uit de relatie gegeven in Figuur 11 volgt een genormaliseerde inzet van de vierde baan van 0.3, dit komt overeen met gebruik van de vierde baan voor een periode van anderhalf uur.

Het aantal bewegingen op de vierde baan volgt uit de duur dat een vierde baan wordt ingezet en het aantal bewegingen op de tweede start en landingsbaan en de duur dat een tweede start- of landingsbaan zijn ingezet. Het model berekent het aantal bewegingen op de vierde baan ervan uitgaande dat de vierde baan de tweede start- of landingsbaan is. Hiervoor wordt de volgende formule gebruikt:

$$Bewegingen_{4eba} = Bewegingen_{2eba} \cdot \frac{duur_{4eba}}{duur_{2eba}} \cdot \frac{utilisatie_{4eba}}{utilisatie_{2eba}}$$

In de berekening wordt ook rekening gehouden met de benutting van de capaciteit (utilisatie) op de vierde baan. Afhankelijk van het operationeel concept wijkt deze af van de benutting van de capaciteit op de tweede baan. De utilisatie van de capaciteit op de tweede baan is het quotiënt van het aantal bewegingen op de tweede baan gedeeld door de capaciteit van de tweede baan. De utilisatie van de vierde baan volgt uit een relatie tussen de utilisatie van de tweede en de vierde baan. De gebruiker kan de geïmplementeerde standaardrelatie toepassen of parameters zelf specificeren. Een beschrijving van de ingebouwde relaties wordt gegeven in Appendix B.

Het minimum van de berekening op basis van de tweede startbaan of van de tweede landingsbaan is het aantal bewegingen op de vierde baan.

Voorbeeld - Aantal bewegingen op de vierde baan

Baangebruik in een periode van 5 uur is als volgt:

3 uur inzet tweede startbaan met 110 starts vanaf tweede baan

3 uur inzet tweede landingsbaan met 90 landingen op tweede baan

Tweede start- en landingsbaan heeft capaciteit van respectievelijk 40 en 36 vliegtuigbewegingen per uur

1,5 uur inzet vierde baan

Aantal bewegingen vierde baan op basis van starts:

$$110 \cdot \frac{1.5}{3} \cdot \frac{0.8}{\frac{110}{3 \cdot 40}} = 48 \text{ vliegtuigbewegingen}$$

Hierbij volgt de utilisatie van de vierde baan (= 0.8) uit de relatie van de utilisatie van de tweede en vierde baan

Aantal bewegingen vierde baan op basis van landingen:

$$90 \cdot \frac{1.5}{3} \cdot \frac{0.85}{\frac{90}{3 \cdot 36}} = 41 \text{ vliegtuigbewegingen}$$

Hierin is 0.85 de utilisatie van de vierde baan. Nu volgt dat het aantal bewegingen op de vierde baan 41 is (= minimum van 41 en 48)

Het aantal bewegingen op de vierde baan wordt berekend per seizoen en per dagdeel voor de verkeersverdeling zoals bepaald in paragraaf 2.2. Uitkomst is het gemiddeld aantal bewegingen op de vierde baan per dag op jaarbasis.

6. Milieueffectenmodule

In de milieueffectenmodule worden milieueffecten rond de Nederlandse luchthaven berekend. Deze berekening wordt uitgevoerd op basis van het aantal vliegtuigbewegingen en de verdeling over grootteklassen, technologieklassen en periodes van de dag. Voor luchthaven Schiphol worden daarnaast ook geluidsemisies berekend.

6.1 Inleiding

Binnen AEOLUS worden de volgende milieueffecten berekend:

- Geluidsbelasting (alleen voor Schiphol);
- Emissies tijdens start en landen (LTO);
- CO₂ emissies tijdens de vluchtfase;
- Landzijdige CO₂ emissies.

In de volgende secties wordt de berekening van deze milieueffecten verder toegelicht. Bij de emissies worden de absolute emissies berekend en geen equivalenten. Emissies van broeikasgassen kunnen door de gebruiker van het model achteraf worden berekend op basis van de geleverde output.

6.2 Geluidsberekening

Voor luchthaven Schiphol kan de geluidsbelasting berekend worden. Voor deze luchthaven is per grootteklasse, technologieklasse, dagdeel en richting (vertrek of aankomst) bepaald wat de bijdrage van één vliegbeweging aan de totale geluidsbelasting is. Op basis hiervan kan de totale geluidsbelasting, oftewel de Hoeveelheid Geluid (HG) berekend worden. Bovendien kan met behulp van een geïmplementeerd raster het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{DEN}-contour worden berekend.

6.2.1 Hoeveelheid geluid (HG)

De hoeveelheid geluid (HG) voor Schiphol wordt berekend op basis van het jaarlijks aantal vliegtuigbewegingen én een set aannames over de verdeling over de seizoenen (zomer- en winterdienstregeling) en het banenstelsel (primaire en secundaire banen). Hierbij wordt uitgegaan van de tegenwoordige verdeling over aanvliegeroutes, hoogtes, etc. Het model maakt daarbij onderscheid naar de periode van de dag dat een vliegtuigbeweging plaatsvindt, de G/T-klasse waarin het vliegtuig valt en of het een start of landing betreft. Het model maakt gebruik van een HG-tabel die de bijdrage aan het HG per vliegtuigbeweging (start of landing) per periode van de dag per G/T-klasse geeft. Deze tabel is ontleend aan een bestaande geluidstudie. Het model bepaalt per vliegtuigbeweging de bijdrage aan het HG en sommeert deze vervolgens. Er is geen beperking op het aantal vluchten gerelateerd aan de HG voorzien in het model. De hoeveelheid geluid (HG) is gedefinieerd als:

$$HG^{ti} = 10 \cdot 10 \log(2 \cdot 365 \cdot \sum_{G,T,U,R} HGbase_{G,T,U,R} \cdot V_{G,T,U}^{ti} \cdot ShareVA_{U,R})$$

Waarin:

HG^{ti}	De hoeveelheid geluid in prognosejaar i gemeten in dB(A)
$HGbase_{G,T,U,R}$	De gemiddelde HG per vliegbeweging voor een vliegtuig met grootteklasse G , technologieklasse T , dagdeel U en richting R
$V_{G,T,U}^{ti}$	Het aantal vliegtuigbewegingen per grootteklasse G , technologieklasse T en dagdeel U per dag in het prognosejaar
$ShareVA_{U,R}$	Het aandeel start en landingen per dagdeel U en richting R

6.2.2 Aantal woningen binnen de 58 dB L_{DEN}-contour

Op basis van het totaal aantal bewegingen, het aantal bewegingen op de tweede start- en landingsbaan per dagdeel en de gemiddelde bijdrage aan het HG per vliegtuigbeweging bepaalt het model het aantal woningen³⁴ binnen de 58 dB(A) L_{den}-contour.

Het model maakt gebruik van een database met gegevens over de bijdrage per start- en landing aan de geluidbelasting in de omgeving van de luchthaven. De database bevat gegevens voor locaties rond de luchthaven (rasterpunten) die tenminste 100 meter van elkaar liggen, waar zich binnen een afstand van 50 meter tot het punt woningen bevinden en waar een geluidbelasting van 58 dB(A) of meer kan worden verwacht. De gekozen geluidstudie bepaalt de ligging van aan- en uitvliegroutes, naderings- en startprocedures en noord-zuid balans van het baangebruik. De gebruiker kan hiervoor de standaardrelaties toepassen, die in AEOLUS geïmplementeerd zijn, of de ingebouwde parameters zelf specificeren. Een beschrijving van de ingebouwde relaties wordt gegeven in Appendix C.

Het model bepaalt per vlucht (rekening houdend met de grootteklasse, technologieklasse en periode van de dag) de bijdrage aan de geluidbelasting. De bijdrage aan de geluidbelasting wordt gecorrigeerd voor de vlootontwikkeling op basis van de gemiddelde bijdrage aan het HG per vliegtuigbeweging. Uiteindelijk sommeert het model de geluidbelasting per rasterpunt. Indien de geluidbelasting op een punt in het raster hoger is dan 58 dB(A) dan telt het aantal woningen binnen 50 meter van dit rasterpunt mee in het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den}.

6.3 LTO-emissies

Het model 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). Dat houdt alle activiteiten van een vliegtuig in tot een hoogte van 3000 voet (ongeveer 1 km). Voor de berekening worden de in het vliegtuigmodule 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-invoertabellen. Deze bevatten de emissiekengetallen van volgende stoffen per LTO-cyclus:

³⁴ Woningssituatie 2005.

- Kooldioxide (CO₂);
- Koolstofmonoxide (CO);
- Stikstofoxides (NO_x);
- Vluchtige Organische Stoffen (VOS);
- Zwaveldioxide (SO₂);
- Fijnstof kleiner dan 10 µm (PM10);
- Brandstofgebruik voor LTO-cyclus.

Om de uitstoot van bovenstaande stoffen per vliegtuigcategorie, per LTO-cyclus en kg brandstof te bepalen zijn door To70 motortypen gekoppeld aan uitstootprofielen o.b.v. de Regeling Milieuinformatie Schiphol (RMI), c.q. Emissie Index (EI). Als daarbij motortypes ontbraken in de standaardtabellen van de RMI, zijn de ICAO-emissie tabellen gebruikt om aan te vullen. Vervolgens is 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 het opstellen van de LTO-tabel is, net als bij de geluidsemissies, gebruik gemaakt van het Concept MER Schiphol NNHS voor de situatie met 500.000 vliegtuigbewegingen. Hierbij is gekeken naar de uitstoot per vliegtuigcategorie en vliegtuigtype per LTO-cyclus en per kg brandstof.

De jaarlijkse emissies van schadelijke stoffen tijdens de LTO-fase rond de Nederlandse luchthavens is:

$$Em_{LH,LTO}^{ti} = 365 \cdot \sum_{G,T} V_{G,T,LH}^{ti} \cdot E_{G,T}^{LTO}$$

Waarin:

$Em_{LH,LTO}^{ti}$	De emissie van schadelijk stoffen tijdens de LTO-fase rond luchthaven <i>LH</i>
$V_{G,T,LH}^{ti}$	Het dagelijks aantal vliegtuigbewegingen per grootteklasse <i>G</i> , technologieklasse <i>T</i> en luchthaven <i>LH</i>
$E_{G,T,LTO}$	De LTO-emissie van één LTO-cyclus (start en landing) van een toestel met grootteklasse <i>G</i> en technologieklasse <i>T</i>

6.4 CO₂-emissies vluchtfase

Naast de CO₂-emissies tijdens de LTO-fase (tot een hoogte van ongeveer 1000 meter) worden ook de CO₂-emissies tijdens de vluchtfase berekend. Deze bestaat uit de drie onderdelen climb, cruise en decent.

De methode om de CO₂-uitstoot tijdens de vluchtfase te berekenen bestaat uit een combinatie van twee methodes, die SEO-methode en de ICAO-methode. In het model worden beide methodes gecombineerd omdat hiermee de nadelen van beide methodes het beste gecompenseerd kunnen worden. Beide methodes worden in het kort toegelicht, daarna wordt beschreven op welke manier de CO₂-uitstoot in het model wordt berekend.

6.4.1 SEO methode

SEO Economisch Onderzoek heeft op basis van BADA (Base of Aircraft Data, een database ontwikkeld door EUROCONTROL) een serie tabellen opgesteld waarbij per vliegtuigcategorie (GT-klasse) en per vluchtfase (klimmen, 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. Op basis van deze gegevens en de uitput van de vliegtuigmodule worden de CO₂-emissies tijdens de vluchtfase als volgt berekend:

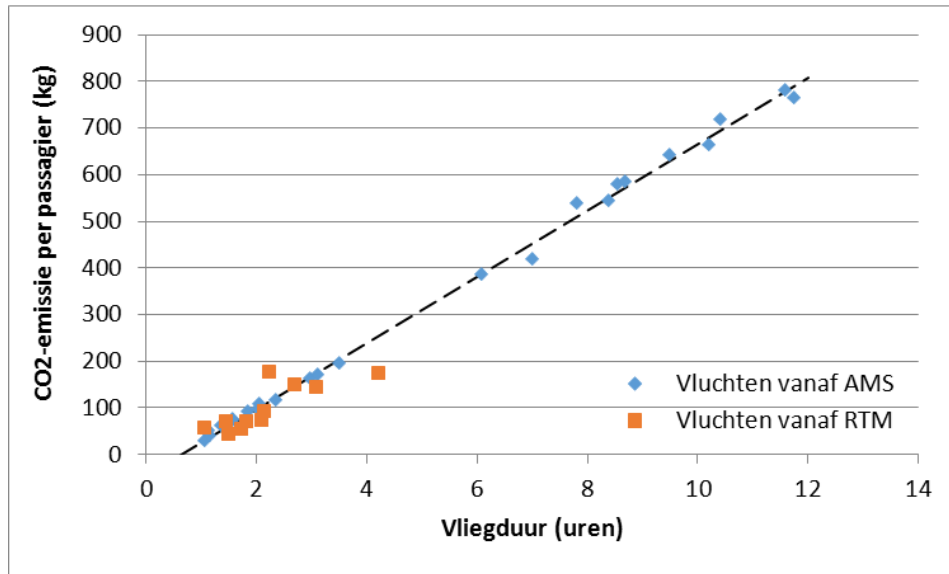
$$CO2_{LH,B}^{t_i,SEO} = 365 \cdot \sum_{G,T,VF} (V_{G,T,LH,B}^{t_i} \cdot Em_{G,T,VF} \cdot time_{LH,B,VF})$$

Waarin:

$CO2_{LH,B}^{t_i,SEO}$	Jaarlijkse CO ₂ emissie op de relatie van een luchthaven <i>LH</i> naar een bestemming <i>B</i> volgens de SEO methodiek in prognosejaar <i>i</i>
$V_{G,T,LH,B}^{t_i}$	Het aantal vliegtuigbewegingen met grootteklasse <i>G</i> en technologieklasse <i>T</i> vanaf een luchthaven <i>LH</i> naar een bestemmingsregio <i>B</i> ;
$Em_{G,T,VF}$	De CO ₂ -emissie per minuut in een vluchtfase (climb, cruise, decent) voor grootteklasse <i>G</i> en technologieklasse <i>T</i>
$time_{LH,B,VF}$	De vliegtijd per vluchtfase in minuten per verbinding tussen luchthaven <i>LH</i> en een bestemming <i>B</i>

Door de CO₂-uitstoot van alle vliegtuigbewegingen op een route te delen door de passagiers op deze route, kan voor passagiers vanaf Nederlandse luchthavens ook de CO₂-uistoot per passagier worden berekend. 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 aangenomen dat de CO₂-uitstoot per passagiers en de vliegtijd overal ter wereld overeenkomt met de uitstoot voor vluchten vanaf Nederland. De impliciete aanname hierbij is een vergelijkbare GT-verdeling overal ter wereld. Voor directe vluchten vanaf Nederlandse luchthavens zijn deze relaties bepaald voor het basisjaar en de zichtjaren 2030 en 2050 (zie Figuur 12 voor het basisjaar).

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



Het lineaire verband tussen uitstoot en vliegduur dat op basis van deze data is gevonden wordt niet ondersteund door andere bronnen. Deze zeggen dat de uitstoot op korte afstanden relatief groter is. Een van de bronnen hiervoor is de informatie uit de ICAO CO₂ Emissions Calculator³⁵.

6.4.2 ICAO methode

Op basis van de bijbehorende App is de CO₂-uitstoot voor een aantal routes 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. De data kan beschreven worden met de volgende functie:

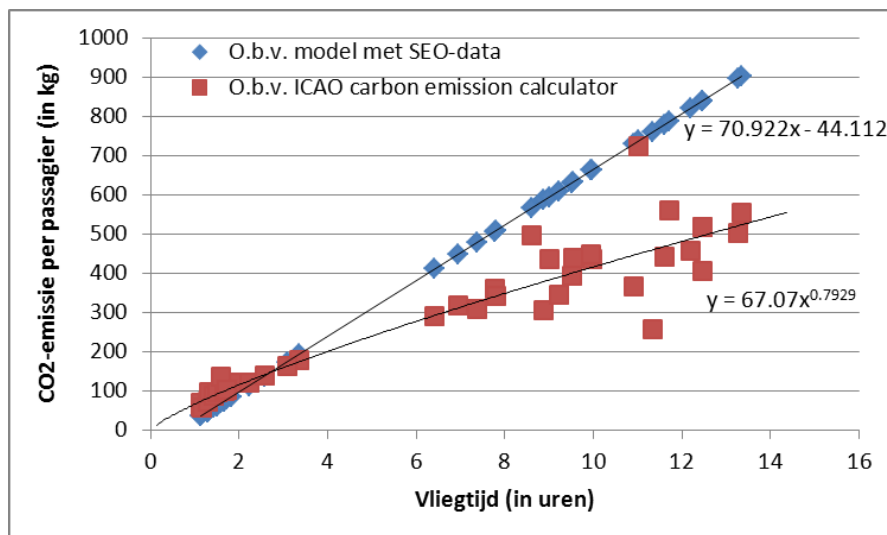
$$CO2_{LH,B}^{t_i,ICAO} = a \cdot (tottime_{LH,B})^b \cdot \sum_{M,AI} PAX_{LH,B,M,AI}^{t_i}$$

Waarin:

$CO2_{LH,B}^{t_i,ICAO}$	de CO ₂ -uitstoot van de vluchtfase tussen een luchthaven <i>LH</i> en een bestemming <i>B</i> in prognosejaar <i>t_i</i>
$tottime_{LH,B}$	de vliegtijd tussen een luchthaven en een bestemmingszone
a, b	de fitparameters met waarden van $a = 67,07$ en $b = 0,7929$ (gebaseerd op de vlootsamenstelling van 2017).
$PAX_{LH,B,M,AI}^{t_i}$	het aantal passagiers tussen een luchthaven in het achterland en de eerste bestemming per motief <i>M</i> en alliantie <i>AI</i> in prognosejaar <i>t_i</i> .

Figuur 13. Vergelijking model met SEO data en o.b.v. ICAO carbon Emission Calculator.

³⁵ <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>



6.4.3 Gecombineerde methode

Er zijn meerdere redenen waarom er verschillen zitten tussen beide bronnen. De berekeningen op basis van de 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 specifiek voor een route/luchtvaartmaatschappij en deelt wel een deel van de uitstoot toe aan de vracht. Bovendien bevat de ICAO calculator de hele vlucht inclusief de LTO-cyclus terwijl deze in de SEO data (voor de vluchtfase) geen onderdeel is. 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 ervoor gekozen de afstandsafhankelijkheid van de ICAO-calculator te gebruiken, maar de op deze wijze berekende uitstoot wordt wel 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.

$$CO2_{LH,B}^{t_i} = CO2_{LH,B}^{t_i,ICAO} \cdot \frac{CO2_{AMS,B}^{t_0,SEO}}{CO2_{AMS,B}^{t_0,ICAO}}$$

Waarin:

$CO2_{LH,B}^{t_i}$ de jaarlijkse CO₂-uitstoot van de vluchtfase tussen een luchthaven *LH* en een bestemming *B* in het prognosejaar t_i

$CO2_{LH,B}^{t_i,ICAO}$ de jaarlijkse CO₂-uitstoot van de vluchtfase tussen een luchthaven *LH* en een bestemming *B* in het prognosejaar t_i volgens de ICAO methodiek

$CO2_{LH,B}^{t_0,SEO}$ de jaarlijkse CO₂-uitstoot van de vluchtfase tussen Amsterdam en een bestemming *B* in het basisjaar 2017 volgens de SEO methodiek

$CO2_{LH,B}^{t_0,ICAO}$ de jaarlijkse CO₂-uitstoot van de vluchtfase tussen Amsterdam en een bestemming *B* in het basisjaar 2017 volgens de ICAO methodiek.

6.4.4 Totale CO₂-emissies vliegen

Om de totale CO₂-emissies te berekenen worden de emissies van de LTO-cyclus en de vluchtfase bij elkaar opgeteld:

$$CO2_{LH}^{t_i,tot} = (Em_{LH,CO2}^{t_i} + \sum_B CO2_{LH,B}^{t_i}) \cdot f^{Scen,t_i}$$

Waarin:

$CO2_{LH}^{t_i,tot}$	De totale CO ₂ uitstoot per luchthaven <i>LH</i> in prognosejaar t_i
$Em_{LH,CO2}^{t_i}$	De totale jaarlijks CO ₂ -emissie tijdens de LTO-cyclus van alle vliegtuigbewegingen op een luchthaven <i>LH</i> in prognosejaar t_i
$CO2_{LH,B}^{t_i,V}$	De totale jaarlijks CO ₂ -emissie voor de vluchtfase van alle vliegtuigbewegingen vanaf een luchthaven <i>LH</i> naar een bestemming <i>B</i> in prognosejaar t_i
f^{Scen,t_i}	Een door de gebruiker in te stellen aanvullende exogene efficiencywinst afhankelijk van het economische scenario per prognosejaar t_i .

De aanvullende efficiencywinst wordt ingevoerd als een aanvullende jaarlijkse CO₂-reductie. Deze komt boven op de efficiëntieverbeteringen die op basis van de intrinsieke verschuiving in technologieklassen die in de vliegtuigmodule plaatsvindt. In de WLO scenario's zijn de standaardwaardes vastgelegd. Deze is -1% per jaar voor het hoge scenario. In Tabel 17 zijn de aanvullende reductiefactoren getoond die noodzakelijk zijn om de WLO-aannames te realiseren. Deze worden toegepast op de CO₂-emissies tijdens de LTO cyclus en de vluchtfase.

Tabel 17. Standaardwaardes voor de aanvullende exogene CO₂-efficiencywinst.

Periode	Laag scenario	Hoog scenario
2017 – 2030	-	-0.194% per jaar
2030 – 2050	-	-0.297% per jaar

6.5 CO₂-emissies grondbonden vervoer

Naast de berekening van de CO₂-emissies voor de luchtvaart kunnen met het model ook de CO₂-emissies van het grondgebonden vervoer in het model worden berekend. Daarbij horen de emissies van het voor- of natransport naar de luchthaven aan de achterlandkant en de emissies van auto en trein als concurrerende hoofdvervoermiddelen. In de berekeningen van beide emissies worden de totaalaantallen passagiers³⁶ die gebruik maken van transport maken naar de luchthavens of van

³⁶ In de actuele modelversie wordt geen rekening gehouden met de gemiddelde bezettingsgraden in auto's waardoor de berekende emissies te hoog zijn. Bij een modelactualisatie zou dit verbeterd moeten worden. De aannames over het aantal passagiers per auto voor de emissieberekeningen zouden consistent moeten zijn met de aannames in de kostenfuncties.

grondgebonden hoofdvervoermiddelen vermenigvuldigd met de bijhorende afstanden en emissiekengetallen per vervoerwijze. De CO₂-emissies per kilometer zijn beschreven in Tabel 18.

Tabel 18. CO₂-emissie kengetallen voor grondgebonden vervoer.

	Auto	Taxi	Reguliere trein	HSL
Voortransport	125 g/km	125 g/km	60 g/km	60 g/km
Hoofdtransport	125 g/km	-	60 g/km	60 g/km

6.5.1 CO₂-emissies voortransport luchthaven

De emissies van voor- en natransport wordt berekend voor alle luchthaven en alle voortransportwijzen:

- Auto (en parkeren op de luchthaven)
- Kiss & Fly (brengen en halen door een bekende)
- Reguliere trein
- Hogesnelheidstrein
- Taxi.

Het aantal passagiers per voor- en natransport vervoerwijze volgt uit de marktaandeelen die zijn berekend in het voortransportkeuzemodel en de verdeling over de luchthavens die onderdeel is van het routekeuzemodel.

De gebruikte formule voor de CO₂-emissie berekening is:

$$CO2_{LH,VN}^{t_i,AccEgr} = (\sum_{H,B,M,R,AL,H} PAX_{H,B,M,R,LH,AL,H,VN}^t \cdot dist_{H,LH,VN} \cdot E_{VN}^{AccEgr})$$

Waarin:

$PAX_{H,B,M,R,LH,AL,H,VN}^{t_0}$	Totaalaantal luchtvaart reizigers tussen herkomst <i>H</i> en bestemming <i>B</i> voor motief <i>M</i> en richting <i>R</i> in het basisjaar dat reist met alliantie <i>A</i> , op- of uitstapluchthaven <i>LH</i> , via hub <i>H</i> en met voor- of natransport vervoerwijze <i>VN</i>
$dist_{H,LH,VN}$	Afstand tussen de achterlandzone <i>H</i> en de luchthaven <i>LH</i> per voor- of natransport vervoerwijze <i>VN</i> in kilometer
E_{VN}^{AccEgr}	CO ₂ -emissie kengetallen per voor- of natransport vervoerwijze <i>VN</i> .

6.5.2 CO₂-emissies auto en trein als hoofvervoermiddel

In de hoofdvervoerwijzekeuze worden de aantallen reizigers voor het vliegtuig en voor volgende grondgebonden hoofdvervoerwijzen berekend:

- Auto
- Reguliere trein

■ Hogesnelheidstrein

Het aantal passagiers per hoofdvervoerwijze wordt berekend in het bovenste niveau van het keuzemodel, de hoofdvervoerwijzekeuze. Op basis van het aantal passagiers per vervoerwijze, afstanden en kengetallen worden de totale emissies berekend:

$$CO2_{hvw}^{t_i,MM} = \sum_{H,B,M,R} (P_{H,B,M,R}^{hvw,t_i} \cdot dist_{H,B,hvw} \cdot E_{VN}^{MM})$$

Waarin:

$CO2_{hvw}^{t_i,MM}$	CO ₂ -emissie voor de grondgebonden hoofdvervoerwijzen in het prognosejaar t_i
$P_{H,B,M,R}^{hvw,t_i}$	Aantal reizigers per hoofdvervoerwijze hvw tussen herkomst H en bestemming B voor motief M en richting R in prognosejaar t_i
$dist_{H,B,VN}$	Afstand tussen de achterlandzone H en de bestemmingszone per hoofdvervoerwijze hvw in kilometer
E_{hvw}^{MM}	CO ₂ -emissie kengetallen per hoofdvervoerwijze hvw .

7. Beleidsmaatregelen

Met AEOLUS kunnen verschillende soorten beleidsmaatregelen doorgerekend worden. Deze maatregelen kunnen bovendien met elkaar gecombineerd worden. Hierdoor kunnen effecten van beleid op de luchtvaart en eventuele optredende knelpunten zichtbaar gemaakt worden.

7.1 Beleidsmaatregelen

Via verschillende beleidsmaatregelen kan invloed uitgeoefend worden op de luchtvaart. Daarnaast zijn er overige ontwikkelingen die de hoeveelheid luchtverkeer beïnvloeden. In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de volgende soorten beleid en ontwikkelingen behandeld:

- Prijsbeleid;
- Capaciteitsbeleid Nederlandse luchthavens;
- Aanvullend capaciteitsbeleid op Schiphol;
- Landzijdige en luchtzijdige verbindingkwaliteit.

De meeste beleidsmaatregelen zijn niet als simpele aan/uit knoppen geïmplementeerd. In plaats daarvan heeft de gebruiker veel vrijheid voor het precies instellen en combineren van maatregelen.

7.2 Prijsmaatregelen

Bij de modellering van de reiskeuzes van passagiers (hoofdstuk 3) wordt gebruik gemaakt van discrete keuzemodellen. In de gespecificeerde nutsfuncties van de verschillende alternatieven spelen kosten een belangrijke rol. Hierdoor werken prijsmaatregelen direct door op het keuzegedrag van reizigers. Dit geldt voor zowel prijsmaatregelen die werken op de vliegbelastingen, op de kosten van andere hoofdvervoerwijzen en op de voor- en natransport vervoerwijzen. Daarnaast is de ontwikkeling van het aantal vliegtuigpassagiers ook direct afhankelijk van de ontwikkeling van de vliegbelastingen door middel van een prijselasticiteit. Voor vracht werken prijsmaatregelen op vergelijkbare wijze door als schaduwkosten (in geval van een beperkte capaciteit). Dat betekent dat er een prijselasticiteit wordt toegepast om de vraag naar vracht te dempen ten gevolge van extra vrachtheffingen.

7.2.1 Vliegbelastingen

Bij een vliegbelasting zijn verschillende varianten denkbaar. Een aantal van deze varianten is reeds toegepast in een aantal beleidsstudies (Significance, 2018, en Significance, 2019a). Belastingen kunnen (1) geheven worden per vliegbeweging of (2) direct gericht zijn op de gebruiker van luchtvaart: passagiers of luchtvracht. Voor passagiers kan een belasting bovendien gericht zijn op vertrekkende passagiers of ook van toepassing zijn op transferpassagiers. Binnen elk van deze hoofdvarianten zijn weer een aantal keuzes mogelijk op basis waarvan specifieke subvarianten doorgerekend kunnen worden:

- Belasting op vertrekkende vluchten:
 - Voor Full Freighters en/of voor passagevluchten;

- Per toestel of per ton Maximum Take-off Weight (MTOW);
- Hoogte van de belasting;
- Uniform tarief of differentiatie van tariefhoogte naar vliegafstand en/of technologieklasse van het toestel.
- Passagiersbelasting voor vertrekkende passagiers:
 - Hoogte van de belasting;
 - Uniform tarief of differentiatie naar vliegafstand;
 - Nationale belasting (vanaf Nederlandse luchthavens) of Europese/internationale variant.
- Passagiersbelasting voor transferpassagiers:
 - Hoogte van de belasting (ten opzichte van vertrekkende passagiers);
 - Nationale belasting (alleen Schiphol) of Europese/internationale variant.
- Luchtvrachtbelasting:
 - In Full Freighters en/of in belly's van passagevliegtuigen;
 - Hoogte van de belasting per ton luchtvracht;
 - Uniform tarief of differentiatie naar vliegafstand.

Binnen het model wordt aangenomen dat belastingen volledig doorberekend worden aan de passagiers en verlader, tenzij er schaarstekosten zijn. In dat geval wordt een deel van de belasting geabsorbeerd in de winsten van luchtvaartmaatschappijen, en een deel doorberekend aan passagiers. Dit wordt in het model alleen verondersteld voor Sky Team vanaf Amsterdam en Parijs en Star Alliance vanaf Frankfurt (zie 5.5.4).

Bij belastingen per vertrekkend vliegtuig wordt aangenomen dat de belasting “eerlijk” over alle passagiers wordt verdeeld, dat wil zeggen dat transferpassagiers de dubbele belasting moeten betalen omdat zij twee keer zo veel gebruik maken van Schiphol (4 vliegbewegingen, namelijk één start en één landing op de heen- én op de terugvlucht) terwijl OD-passagiers voor een reis slechts twee vliegbewegingen (vertrek op de heenreis en aankomst op de terugreis voor originating passagiers en vice versa voor designating passagiers) maken op een Nederlandse luchthaven. Het effect van de vraagreductie op vracht door een belasting op Full Freighters wordt met behulp van een prijselasticiteit van -3 op de ontwikkeling van het luchtvrachtvolumen gemodelleerd.

Belastingen op vertrekkende passagiers of transferpassagiers worden in het model rechtstreeks opgeteld bij de ticketprijzen. Door deze aanpak wordt in de keuzemodellen rekening gehouden met de extra kosten en kunnen de effecten op het keuzegedrag gemodelleerd worden. Een belasting per ton luchtvracht is met het model nog niet doorgerekend. Deze kan niet op dezelfde manier als voor passagiers worden gemodelleerd, omdat voor luchtvracht geen keuzemodellen zijn geschat. Als alternatieve aanpak kan de vraag naar luchtvrachtvervoer via een prijselasticiteit gereduceerd worden.

7.2.2 Invoering van een BTW op vliegtickets

Op dit moment bestaat een BTW-vrijstelling voor vliegtickets. De effecten van het opheffen van deze uitzondering kunnen met behulp van het model worden berekend. Door de gebruiker kan het moment van invoering van de BTW en het percentage in een twee keer twee HB-matrix (Europa – Europa, Europa – Rest van de Wereld, Rest van de Wereld – Europa, Rest van de Wereld – Rest van de Wereld) worden ingesteld. Vanaf het jaar van invoering worden de ticketprijzen met het betreffende tarief verhoogd.

7.2.3 Overige prijsmaatregelen

Naast de genoemde beleidsmaatregelen die invloed hebben op de kosten voor vliegen is het ook mogelijk de kosten voor het voortransport naar de luchthaven (incl. de parkeerkosten) of de kosten voor auto en trein als concurrerende vervoersmiddelen aan te passen. Omdat deze kosten net als de ticketprijzen als verklarende variabelen zijn opgenomen in de discrete keuzemodellen berekent het model automatisch de keuze-effecten die optreden als het gevolg van wijzigingen in deze kosten. Deze kosten moeten in de landzijdige level-of-service bestanden worden aangepast.

7.3 Capaciteitsbeleid Nederlandse luchthavens

7.3.1 Jaarlimieten

Voor iedere Nederlandse luchthaven kan een jaarlimiet op het aantal vluchten worden ingesteld. Factoren die invloed hebben op de jaarlimiet zijn de fysieke baancapaciteit, de luchtruimcapaciteit, terminalcapaciteit, etc. Daarnaast kunnen opgelegde limieten een politieke achtergrond hebben. Standaard kunnen limieten worden ingesteld voor het basisjaar en de prognosejaren 2020, 2030, 2040 en 2050. Voor de tusseliggende jaren worden de ingegeven limieten automatisch geïnterpoleerd. Indien gewenst kan deze interpolatie ook overruled worden waardoor de mogelijkheid ontstaat om per jaar de gewenste limiet in te stellen.

7.3.2 Luchthaven Lelystad

Op het moment van opstellen van deze documentatie is de luchthaven Lelystad niet geopend voor het groot commercieel verkeer. Wel zijn er plannen om deze luchthaven op korte termijn voor lijndiensten open te stellen. In het model kan de gebruiker hiervoor de volgende instellingen aanpassen:

- Het moment (jaar) van opening;
- De hoeveelheid vluchten die tijdens de openingsperiode per jaar vanaf Schiphol worden uitgeplaatst;
- Welke vluchten worden verplaatst (combinaties van bestemming en alliantie);
- De ontwikkeling van de jaarcapaciteit.

7.4 Aanvullend capaciteitsbeleid Schiphol

Voor Schiphol wordt de afhandeling van vluchten over de verschillende banen van het banenstelsel apart gemodelleerd en worden bovendien geluidsemissies berekend (hoofdstuk 6). Op basis van deze gedetailleerde berekeningen worden een aantal aanvullende capaciteitsbeperkingen gemodelleerd. In de standaardinstellingen wordt de jaarlimiet vanaf 2020 met behulp van de 50/50-regel berekend.

7.4.1 Uurlimieten aantal vliegtuigbewegingen

Uurlimieten worden gebruikt om de baancapaciteit van Schiphol in te stellen. Actueel wordt een 2+1 afhandelingsconcept gebruikt. Dit betekent dat per tijdsperiode twee banen worden gebruikt voor landen en twee voor opstijgen (of andersom). Elke anderhalf uur wordt er gewisseld tussen een landingspiek (1 baan voor opstijgen en 2 banen voor landen) en een startpiek (2 banen voor starten en 1 baan voor landen). Dit is weergegeven voor het basisjaar in Tabel 19. Voor de zichtjaren kunnen andere limieten worden ingesteld.

Tabel 19. Uurlimieten Schiphol

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

Voor elke van de vier dagdelen (ochtend, middag, avond, nacht) kunnen uurlimieten worden ingesteld voor:

- Het aantal starts per uur;
- Het aantal landingen per uur;
- Het aantal vliegtuigbewegingen (starts plus landingen) per uur (piekuurcapaciteit).

Bovendien kan de gebruiker per dagdeel instellen hoeveel procent van de piekuurcapaciteit niet volgevlagen kan worden. Dit is nodig omdat de periodes tussen transfer golven niet helemaal gevuld kunnen worden. De standaardwaarden zijn 5% voor de ochtend, middag en avond en 0% voor de nacht.

De limiet op het aantal vliegtuigbewegingen per uur voor de nachtperiode wordt gebruikt om de voor Schiphol geldende limiet op het aantal nachtvluchten in te stellen. De actuele limiet is 32.000 nachtbewegingen per jaar, dat correspondeert met een limiet van 10,959 bewegingen per uur (keer 365 dagen en 8 uur per nachtperiode).

7.4.2 Limiet op aantal bewegingen op de vierde baan

In het model kan ook een limiet worden ingesteld op het aantal bewegingen op de vierde baan. Dit is de extra baan die bij het 2+1 afhandelingsconcept wordt gebruikt bij het overschakelen van een start- naar een landingspiek of andersom. Als bijvoorbeeld door vertraging niet alle vliegtuigen in een landingsbaan geland zijn en de verblijvende ene landingsbaan niet voldoende is om alle vliegtuigen naar beneden te brengen terwijl de tweede startbaan geopend wordt, wordt de tweede landingsbaan langer dan gepland open gehouden, waardoor tegelijkertijd 2 start- en 2 landingsbanen (4 banen in totaal) in gebruik zijn. Actueel geldt een limiet van 40 vliegtuigbewegingen per dag. De gebruiker kan de limiet op het gewenste aantal vliegtuigbewegingen instellen of de vierde baan regel helemaal laten vervallen.

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 alle economische scenario's niet duidelijk boven de grens van 500.000 vluchten uitkomen en heel sterk op elkaar lijken.

7.4.3 Limiet op aantal woningen binnen 58 dB(A) L_{DEN}-contour

Van de gelijkwaardigheidscriteria voor Schiphol is alleen de limiet op het aantal woningen binnen 58 dB(A) L_{DEN}-contour in het model geïmplementeerd. Tijdens de implementatie van het nieuwe normen- en handhavingssysteem voor Schiphol in het model (2017³⁷) werd er namelijk van uitgegaan dat dit criterium het meest knellend zou zijn voor de lange termijn.

³⁷ Aanpassing AEOLUS i.v.m. nieuwe normen en regels, Significance en To70 (2017).

De limiet kan door de gebruiker vrij worden ingesteld. Deze limiet wordt ook gebruikt bij het toepassen van de 50/50-regel.

7.4.4 50/50-regel.

Tot en met 2020 is voor Schiphol een limiet van 500.000 vliegtuigbewegingen per jaar afgesproken. Deze limiet wordt ook in de standaardinstelling van het model gehanteerd. 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 in prognosejaren het meeste beperkt. Om de groeirimte op basis van het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour te berekenen wordt de 50/50 regel gebruikt. Deze regel betekent dat de helft van de winst in geluidsemissies door technologische verbeteringen wordt gebruikt voor een verlaging van het toegestaan aantal woningen binnen de geluidscontour en de andere helft voor een groei van het aantal vliegtuigbewegingen. In deze sectie wordt de toepassing van deze regel toegelicht aan de hand van Tabel 20.

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 vallen³⁸. Op deze waarde is het model in 2020. Echter is dat niet helemaal mogelijk omdat AEOLUS voor 2020 twee verschillende prognoses berekent (WLO 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 het model voor het hoge en lage scenario een ander aantal woningen dat hoort bij de 500.000 vliegtuigbewegingen. 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 540.000 vluchten de limiet zou zijn voor 2030. Dat zijn 10.324 woningen in het lage scenario en 9.718 woningen in het hoge scenario door een andere verdeling over de technologieklassen. 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 vliegtuigbewegingen 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 luchtvaart, CPB & PBL, 2016) en het aandeel dat ze krijgen in de totale vloot door vlootvervanging

³⁸ 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.

en vlootuitbreiding. Door deze aannames zijn vliegtuigen in het scenario Hoog in 2030 gemiddeld stiller dan in het scenario Laag.

Tabel 20. Berekening van de jaarlimiet op Schiphol voor 2030 op basis van de 50/50 regel.

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 21.

Tabel 21. Limieten op het aantal vliegtuigbewegingen 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

7.5 Land- en luchtzijdige verbindingskwaliteit

Naast de hierboven beschreven prijs- en capaciteitsmaatregelen kunnen door de gebruiker aanvullende maatregelen worden ingevoerd via de level-of-service invoer. Hiermee kan de verbindingskwaliteit tussen zones en van zones naar luchthavens aangepast worden. Deze veranderingen werken door in het keuzegedrag van reizigers en in de ontwikkeling van het aantal luchtvaartreizigers:

- Veranderingen in bereikbaarheid van luchthavens (reistijden en kosten van het voor- en natransport, parkeerkosten op de luchthaven);
- Verandering in beschikbaarheid, reistijden en kosten van concurrerende vervoermiddelen (auto, trein, HSL) voor reizen binnen Europa;
- Veranderingen in vliegtijden (bijvoorbeeld door Single European Sky) door bijvoorbeeld langere check-in tijden ten gevolge van aanpassingen bij veiligheidscontroles of de douane.

De tijden, kosten, en andere kenmerken kunnen in het model met factoren worden aangepast. In deze aanpak zijn alleen globale aanpassingen mogelijk zoals een gemiddelde daling van alle vliegtijden om 10%. Voor gedetailleerdere aanpassingen van de luchtzijdige LoS is het noodzakelijk het NETSCAN model met andere instellingen opnieuw te draaien, waardoor bijvoorbeeld een scenario berekend kan worden, waarin Schiphol zijn hub-functie verliest. Deze uitkomsten worden vervolgens als nieuwe luchtzijdige LoS in AEOLUS ingelezen.

8. Modeloutput

Door de jaar-op-jaar methodiek genereert AEOLUS output voor ieder jaar. Bovendien bevat de uitvoer data voor de situatie met ingevoerde capaciteitsrestricties én voor de hypothetische situatie zonder capaciteitsrestricties. Op basis hiervan kan de niet geacommodeerde vraag per luchthaven worden bepaald.

8.1 Inleiding

AEOLUS genereert verschillende soorten output op jaarbasis. Voor de meeste projecten is de volgende output van belang:

- Aantal passagiers (aankomende en vertrekkende passagiers worden apart geteld, transferpassagiers maken bij een overstap twee keer gebruik van de luchthaven, bij een heen- en terugreis via Schiphol wordt een transferpassagier 4 keer geteld);
- Hoeveelheid luchtvracht (aankomende en vertrekkende vracht worden apart geteld);
- Aantal vliegtuigbewegingen (starts en landingen worden apart geteld);
- Milieueffecten;
- Verdeling over voorttransportmiddelen en hoofdtransportmiddelen

Deze output kan in principe voor alle onderliggende dimensies in het model worden weggeschreven. Echter, vanwege het grote aantal dimensies is het meestal niet zinvol om alle uitsplitsingen te laten wegschrijven. Naast de standaard output, wordt daarom per project vastgesteld welke output relevant is. Dit hoofdstuk geeft eerst een overzicht van de standaard output en behandelt daarna voor de hierboven genoemde soorten output welke verdere uitsplitsingen mogelijk zijn.

8.2 Standaard outputtabellen

Voor het basisjaar en de twee standaard zichtjaren (2030 en 2050) genereert AEOLUS een aantal geaggregeerde gegevens voor de Nederlandse luchthavens. Voor de gegevens worden ook de gemiddelde groeipercentages in de perioden 2017-2030 en 2030-2050 getoond. Hierbij gaat het om de volgende output:

Amsterdam:

- Totaal aantal passagiers
- OD passagiers (in miljoenen reizigers)
 - Totaal
 - Sky Team
 - Overige Full Service Carriers
 - Low Cost Carriers
 - Binnen Europa (alle allianties)

- Intercontinentaal (alle allianties)
- Transfer passagiers
 - Totaal aantal
 - Marktaandeel
- Zakelijke passagiers (OD plus transfer)
- Niet-zakelijke passagiers (OD plus transfer)
- Marktaandelen (OD + transfer, zakelijk + niet-zakelijk) op basis van het aantal passagier
 - Sky Team
 - Overige Full Service Carriers
 - Low Cost Carriers
- Hoeveelheid luchtvracht (in tonnen)
- Vliegtuigbewegingen
 - Passagebewegingen
 - Full Freighter bewegingen
 - Nachtbewegingen
- Overige gegevens
 - Aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{DEN} -contour
 - Gemiddelde grootteklasse (rekenkundig gemiddelde op basis van alle vliegtuigbewegingen)
 - Gemiddelde technologieklasse (rekenkundig gemiddelde op basis van alle vliegtuigbewegingen)
 - Gemiddeld aantal passagiers per vliegbeweging

Regionale luchthavens (Rotterdam, Eindhoven, Maastricht, Groningen en Lelystad):

- Aantal passagiers (alleen OD-passagiers voor deze luchthavens)
- Aantal passagiersbewegingen
- Aantal Full Freighter bewegingen (alleen voor Maastricht)

8.3 Passagiers

Passagiersaantallen kunnen voor de drie niveaus van het keuzemodel worden uitgesplitst in de volgende dimensies:

- Hoofdtransportmiddel (vliegtuig, auto, reguliere trein, hogesnelheidstrein):
 - Herkomstzone (56)
 - Bestemmingszone (56)
 - Motief (2; zakelijk/niet-zakelijk)
- Route
 - Luchthaven in het achterland (14)
 - Alliantie (5; Sky Team, Star Alliance, One World, Overig FSC, LCC)
 - Direct of via HUB (33; direct, AMS, FRA, CDG en alle 29 buitenlandse modelzones)

- Voor- of natransport vervoerwijze
 - Voortransportmiddel (5; auto, Kiss & Fly, reguliere trein, hogesnelheidstrein, taxi)

De volledige matrix bestaat uit meer dan 70 miljoen combinaties, waarvan een groot deel met nullen is gevuld omdat alleen routes worden gemodelleerd die potentieel via Nederland gaan (dus niet van Noord-Amerika naar Zuid-Amerika) en omdat vanaf de meeste luchthavens alleen een beperkt aantal bestemmingszones met een klein aantal allianties bereikbaar is.

8.4 Luchtvracht

Vervoer van luchtvracht wordt gemodelleerd voor 4 (Amsterdam, Maastricht, Frankfurt en Parijs) van de 14 luchthavens. De gebruikte eenheid is tonnen. De hoeveelheid vrachtvervoer kan worden uitgesplitst in volgende dimensies:

- Luchthaven (4)
- Herkomst-/bestemmingsregio (7; wereldregio's)
- Richting (2; import en export)
- Vrachtvervoer (2; belly, Full Freighter)

De totale matrix bestaat uit 112 combinaties.

8.5 Vliegtuigbewegingen

Voor vliegtuigbewegingen zijn de volgende dimensies beschikbaar:

- Luchthaven (14)
- Operator (6)
 - Alliantie (5; voor passagiersvervoer)
 - Full Freighter (1; voor vrachtvervoer)
- Bestemmingen (29)
 - Buitenlandse modelzones (29; voor personenvervoer + directe verbindingen in de driehoek Amsterdam, Frankfurt, Parijs)
 - Wereldregio's (7; voor Full Freighters, geaggregeerde modelzones)
- Grootteklasse (9)
- Technologieklasse (6)
- Periode van de dag (4; ochtend, middag, avond, nacht, alleen beschikbaar voor Amsterdam, Frankfurt en Parijs)

De totale matrix bestaat uit ongeveer 525.000 combinaties.

Voor Amsterdam wordt bovendien de verdeling over de banen gemodelleerd. Dat houdt in:

- Aantal starts op de tweede startbaan
- Aantal landingen op de tweede landingsbaan
- Aantal vliegtuigbewegingen op de vierde baan.

8.6 Milieueffecten

Tenslotte berekent AEOLUS een groot aantal milieueffecten:

Voor de Nederlandse luchthavens:

- LTO-emissies (totale emissies per jaar in ton en per vliegbeweging gram emissie/ton MTOW):
 - Kooldioxide (CO₂);
 - Koolstofmonoxide (CO);
 - Stikstofoxides (NO_x);
 - Vluchtige Organische Stoffen (VOS);
 - Zwaveldioxide (SO₂);
 - Fijnstof kleiner dan 10 µm (PM10);
- CO₂-emissies tijdens de vluchtfase
 - Alle vluchten in het model
 - Vluchten vanaf Nederland (tot eerste bestemming)
 - Passagiers vanaf Nederland (tot hun eindbestemming)
- Hoofdtransport per vervoermiddel (vliegtuig, auto, reguliere trein, hogesnelheidstrein)
 - Totaalaantal kilometers
 - Brandstofverbruik
 - CO₂-emissies
- Voortransport per vervoermiddel (Park & Fly, Kiss & Fly, reguliere trein, hogesnelheidstrein, taxi)
 - Totaalaantal kilometers
 - Brandstofverbruik
 - CO₂-emissies.

Aanvullend voor Amsterdam:

- Hoeveelheid Geluid (HG)
- Aantal woningen binnen de 58dB(A) L_{DEN}-contour

Bronnen

Burghouwt, G., Redondi, R. (2013). Connectivity in air transport networks: an assessment of models and applications. *Journal of Transport Economics and Policy* 47(1), 35-53.

CPB & PBL (2016). WLO-Achtergronddocument Mobiliteit en Luchtvaart.

Inspectie Leefomgeving en Transport (2020). Handhavingsrapportage Schiphol 2019.

Lieshout, R., Burghouwt, G. (2012). Airline competition in connecting markets. In: Niemeier et al. (eds), *Liberalization in aviation*. Aldershot: Ashgate.

NLR (2014). G.J.T. Heppe, Appendices van de voorschriften voor de berekening van de geluidsbelasting in Lden en Lnight voor Schiphol, Geluidsniveaus, prestatiegegevens en indeling naar categorie, NLR-CR-96650 L - Versie 12.3, 2014.

Significance (2009). 08017 Eindrapport omzetting Aeolus naar GAMS.

Significance (2010a). 10030 Eindrapport Resultaten AEOLUS

Significance (2010b). 10030 Eindrapport technische aanpassingen AEOLUS

Significance & SEO (2015). 14010 Eindrapport actualisatie AEOLUS model

Significance (2017). 16051-M02 Aannames AEOLUS voor doorrekening beleidsalternatieven. Memo voor Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Significance & To70 (2017). 15068-R01 Aanpassing AEOLUS i.v.m. nieuwe normen en regels. Rapport voor Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Significance (2018). 18011 Effect van een vliegbelasting op het vliegverkeer – Kwantitatieve doorrekening. Rapport in opdracht van het Ministerie van Financiën

Significance & To70 (2018). 17033-R01 Actualisatie AEOLUS 2018 en geactualiseerde luchtvaartprognoses. Rapport voor Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Significance (2019a). 19002 Effect van een vliegbelasting op het vliegverkeer (2) – Kwantitatieve doorrekening van nieuwe varianten. Conceptrapport in opdracht van het Ministerie van Financiën.

Significance (2019b). 19023-R01 AEOLUS berekening t.b.v. KEV2019 en MoBiBe2019

Significance (2019c). 17041-M01 Effecten klimaatbeleid op luchtvaart in Nederland. Rapport voor PBL.

AEOLUS Documentatie
1.0

Appendices

Appendix A: Bestandsstructuur van het model

A.1 Modelbestanden

Tabel 22. Overzicht bestanden AEOLUS.

Bestandsnaam	Toelichting	Allocatie variabelen
Aeolus_[xx].gms	Main file van het programma, xx = hi, lo voor de scenario's WLO Hoog en WLO Laag	<ul style="list-style-type: none"> - Basisjaar t0 - Zichtjaar t - Scenario (Hi, Lo), zorgt ervoor dat de juiste columns uit de invoertabellen worden ingelezen - Keuze beleidsalternatief - Instellingen vliegbelasting 1 (zie policy) - Aan/uitzetten van capaciteitsrestricties - Aan/uitzetten van capaciteitsreductiefactor voor Schiphol - Aan/uitzetten van uitplaatsingen
calc_CO2.gms	Berekening CO ₂ -emissies (let op: die is een oude versie, de geactualiseerde versie op basis van vliegbewegingen uit 2018 staat in PBL_CO2.gms)	
calc_fracTU.gms	Berekening verdeling vluchten per technologieklasse en per dagdeel voor Schiphol (na optimalisatie)	
calc_totals.gms	Aggregatie van OD- en transferpassagiers over alle routes per luchthaven	
flights.gms	Vliegtuigmodule	
gtushift.gms	Modellering van verschuivingen in de grootteklassen en technologieklassen van vliegtuigen én periode van de dag	
init_year1.gms	Berekening invoerwaardes per jaar op basis van 10 jaar invoer die niet afhankelijk zijn van schaarstekosten	
init_year2.gms	Berekening invoerwaardes per jaar op basis van 10 jaar invoer die wel afhankelijk zijn van schaarstekosten	
outplacement.gms	Input voor uitplaatsingen van Schiphol naar Lelystad	<ul style="list-style-type: none"> - Routes (vertrekluchthaven, direct/Hub, bestemming, alliantie) die worden uitgeplaatst
output_calib.gms	Wegschrijven van aanvullende output tijdens de kalibratie	
output_decisio.gms	Wegschrijven aanvullende output voor kost-baten-analyses	
output.gms	Aggregatie van resultaten en wegschrijven van output	
parameters_decisio.gms	Initialisatie van aanvullende variabelen voor kosten-batenanalyses	

Bestandsnaam	Toelichting	Allocatie variabelen
parameters.gms	Initialisatie van variabelen	
passenger.gms	Passagiersmodule	
PBL_CO2.gms	CO2-berekeningen (nieuwe methode sinds AEOLUS 2018)	<ul style="list-style-type: none"> – Fitparameters van de afstandsafhankelijkheden van de CO₂-emissies volgens de ICAO-emission calculator en de SEO-gegevens per zichtjaar en scenario – Kalibratiefactor voor CO₂-emissies
policy.gms	Instellingen capaciteitsrestricties en andere beleidsmaatregelen	<ul style="list-style-type: none"> – Instellingen vliegbelasting 1 (zie aeolus) – Instellingen kerosinebelasting – Instellingen BTW op vliegtickets – Aantal starts/landingen/vliegtuigbewegingen per uur voor de dagdelen (Amsterdam, Frankfurt, Parijs) – Reductiefactoren van de capaciteit per dagdeel (Amsterdam) – Jaarlimieten (NL luchthavens) – Instellingen ETS
read_exogen.gms	Inlezen groeicijfers macro-economie (bevolking, BNP en handel)	
read_fleet.gms	Inlezen periodes van productie en operatie van vliegtuigtypen en leeftijden van vliegtuigen in het basisjaar	<ul style="list-style-type: none"> – Start productie (T-klasse) – Einde productie (T-klasse) – Einde operatie (T-klasse) – Maximumleeftijd toestel (Alliantie/FF) – Instellingen vlootvervangning – Vrachtstromen tussen West-Europa en Wereldregio's (t₀) – Aantal FF per vrachtluchthaven (t₀) – Marktaandelen van vrachtstromen per vrachtluchthaven naar wereldregio's (t₀) – Veranderingen marktaandelen – Capaciteit FF per G-klasse – Capaciteit belly per G-klasse – Beladingsgraad FF per vrachtluchthaven naar wereldregio's (t₀) – Veranderingen beladingsgraden FF – Beladingsgraad belly's per vrachtluchthaven naar wereldregio's (t₀) – Veranderingen beladingsgraden belly's – Niet benutte slots FF (grandfathering regel)
read_freight.gms	Inlezen vrachtdata basisjaar Capaciteiten voor	
read_gtu.gms	Inlezen verdeling over grootteklassen, technologieklassen en periodes van de periode van de dag in he basisjaar	
read_LOSaccess.gms	Inlezen LoS voortransport in het basisjaar	
read_LOSair.gms	Inlezen LoS voor vliegen in het basisjaar en in de zichtjaren	
read_LOSland.gms	Inlezen LoS voor de hoofdvervoersmodellen auto, gewone trein en hogesnelheidstrein	
read_SchEnq2017.gms	Inlezen passagiersstromen op Schiphol in het basisjaar	<ul style="list-style-type: none"> – Kalibratiefactoren OD-PAX en Transfer-PAX voor AMS – Kalibratiefactoren Transferpassagiers per alliantie

Bestandsnaam	Toelichting	Allocatie variabelen
RegelsNormenInstellingen.gms	Instellingen voor berekeningen baangebruik en geluidsemissies voor Schiphol	<ul style="list-style-type: none"> - Limiet bewegingen vierde baan - Limiet aantal woningen 58 dB(A) - Ratio zomer-winter-dienstregeling - Weken pro seizoen - Variatie dagvolumes per seizoen, dagdeel en vertrek/aankomst - Verdeling vertrek/aankomst per dagdeel en seizoen - Parameters functies baanverdeling - Schaalingsparameter geluid per dagdeel, vertrek/aankomst en primaire/secundaire banen
RegelsNormenSchiphol.gms	Berekening baangebruik en geluidsemissies voor Schiphol	
sets_decisio.gms	Initialisatie van de dimensies en datastructuren voor extra output voor kosten-batenanalyses	
sets.gms	Initialisatie van de dimensies en datastructuren voor de berekeningen	
solve_normal.gms	Oplossingsalgoritme	

A.2 CSV invoerbestanden

In de CSV invoerbestanden worden tabellen met invoergegevens ingelezen. In volgende tabel worden de tabellen beschreven en aangegeven welke informatie in de columns te vinden is..

Tabel 23. Overzicht csv invoerbestanden AEOLUS.

Invoerbestand	Toelichting	Columns in tabel
exogen.csv	Groecijfers voor bevolking, BNP en handel per wereldregio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Wereldregio 2. 10 jaar periode 3. Scenario 4. BNP-groei (% per jaar) 5. Bevolkingsgroei (% per jaar) 6. Handelsgroei (% per jaar)
fleet_age.csv	Leeftijden van de toestellen op Schiphol in het basisjaar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alliances / Full Freighter 2. G-klasse 3. T-klasse 4. Leeftijdsklasse 5. Aandeel leeftijdsklasse
HGdata.csv	Kengetallen voor geluidsemissie	<ol style="list-style-type: none"> 1. G-klasse 2. T-klasse 3. Vertrek / aankomst 4. Geluidsbijdrage ochtend (dB(A)) 5. Geluidsbijdrage middag (dB(A)) 6. Geluidsbijdrage avond (dB(A)) 7. Geluidsbijdrage nacht (dB(A))

Invoerbestand	Toelichting	Columns in tabel
losaccess2017_nzak.csv	LoS voortransport voor niet-zakelijke passagiers in het basisjaar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Naam zone 2. Naam luchthaven 3. Afstand auto (km) 4. Tijd auto (minuten) 5. Kosten auto (Euro) 6. Afstand reguliere trein (km) 7. In vehicle tijd reguliere trein (minuten) 8. Voortransporttijd reguliere trein (minuten) 9. Natransporttijd reguliere trein (minuten) 10. Kosten reguliere trein (Euro) 11. Afstand HSL (km) 12. In vehicle tijd HSL (minuten) 13. Voortransporttijd HSL (minuten) 14. Natransporttijd HSL (minuten) 15. Kosten HSL (Euro)
losaccess2017_zak.csv	LoS voortransport voor zakelijke passagiers in het basisjaar	Zie losaccess2017_nzak
LOSair_aggr_2017.csv	LoS vliegen voor alle routes in het basisjaar, xx = hi, lo voor de scenario's WLO Hoog en WLO Laag. Deze invoer is bepaald met het NETSCAN model (zie Appendix E)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Herkomst (zone) 2. Overstap (zone hub of "nu-hub") 3. Bestemming (zone) 4. Alliance 5. Frequentie (aantal verbindingen per week) 6. Vliegtijd directe verbinding (uur) 7. Vliegtijd met overstap (uur) 8. Ticketprijs zakelijk (Euro) 9. Ticketprijs niet-zakelijk (Euro) 10. Concurrentie index HHI 11. Aantal luchthavens voor deze route in bestemmingszone
losair_aggr_s[xx]_2030.csv	LoS vliegen voor alle routes in 2030, xx = hi, lo voor de scenario's WLO Hoog en WLO Laag	Zie LOSair_aggr_2017
LOSair_aggr_s[xx]_2050.csv	LoS vliegen voor alle routes in 2050, xx = hi, lo voor de scenario's WLO Hoog en WLO Laag	Zie LOSair_aggr_2017
losland2017.csv	LoS voor de hoofdtransportmiddel auto, reguliere trein en hogesnelheidstrein in het basisjaar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Herkomstzone 2. Bestemmingszone 3. Afstand auto (km) 4. Tijd auto (minuten) 5. Afstand reguliere trein (km) 6. Tijd reguliere trein (minuten) 7. Kosten reguliere trein (Euro) 8. Afstand HSL (km, 99999 bij niet beschikbaar) 9. Tijd HSL (minuten, 99999 bij niet beschikbaar) 10. Kosten HSL (Euro, 99999 bij niet beschikbaar)

Invoerbestand	Toelichting	Columns in tabel
noiseGridReduced.csv	Raster met geluidsemissies voor berekening van aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} -contour	<ol style="list-style-type: none"> Grid Id (1 – 2369) Aantal woningen Geluidsbijdrage per landing secundaire baan day (ochtend, middag) Geluidsbijdrage per landing secundaire baan avond Geluidsbijdrage per landing primaire baan day (ochtend, middag) Geluidsbijdrage per landing primaire baan avond Geluidsbijdrage per landing primaire baan nacht Geluidsbijdrage per start secundaire baan day (ochtend, middag) Geluidsbijdrage per start secundaire baan avond Geluidsbijdrage per start primaire baan day (ochtend, middag) Geluidsbijdrage per start primaire baan avond Geluidsbijdrage per start primaire baan nacht
Sch_Enq2017_OD_nzak.csv	Schiphol enquête data 2017 voor OD-reizigers, niet-zakelijk	Aantal niet-zakelijke passagiers tussen Amsterdam en bestemmingszone (originating passagiers in rijen, destinating passagiers in columns)
Sch_Enq2017_OD_zak.csv	Schiphol enquête data 2017 voor OD-reizigers, zakelijk	Aantal zakelijke passagiers tussen Amsterdam en Bestemmingszone
Sch_Enq2017_TR_nzak.csv	Schiphol enquête data 2017 voor transferreizigers, niet-zakelijk	Herkomst-bestemmingsparen voor niet-zakelijke transferpassagiers in Amsterdam
Sch_Enq2017_TR_zak.csv	Schiphol enquête data 2017 voor transferreizigers, zakelijk	Herkomst-bestemmingsparen voor zakelijke transferpassagiers in Amsterdam

A.3 GMS invoerbestanden

In de GAMS software kunnen tabellen direct in de programmacode ingevoerd worden. In de GMS invoerbestanden wordt gebruik gemaakt van deze functionaliteit. De verdeling over de grootteklassen in het basisjaar is als voorbeeld getoond in Tabel 24. De dimensies van de tabel zijn luchthavens, wereldregio van bestemming, alliance en grootteklasse. In iedere column wordt het aandeel getoond. Tabel 25 toont een overzicht van de dimensies van de gms invoertabellen.

Tabel 24: BaseFracG invoertabel met de dimensies [NL luchthaven, Wereldregio, Alliance, G-klasse] als voorbeeld voor een GAMS invoertabel.

			G1	G2	G3	G4	G5 - G8	G9		
AMS	.	W-Europa	.	SkyTeam	0	16.91955	30.35018	50.10666	...	0
AMS	.	W-Europa	.	OtherFSC	0.001736	15.81007	9.884226	71.09022	...	0.000868
AMS	.	W-Europa	.	LowCost	0.446382	0.481255	0.006975	95.62162	...	0
AMS	.	N-Amerika	.	SkyTeam	0	0	0	0	...	0
AMS	.	N-Amerika	.	OtherFSC	0	0	0.019029	70.61846	...	0
AMS	.	N-Amerika	.	LowCost	0	0	0	97.51155	...	0
AMS	.	L-Amerika	.	SkyTeam	0	0.955379	8.708225	17.21146	...	0
AMS	.	L-Amerika	.	OtherFSC	0	0.061782	8.501174	39.34264	...	0

AMS	.	L-Amerika	.	LowCost	0	0	0	63.28182	...	0
AMS	.	Afrika	.	SkyTeam	0	12.4895	2.198264	0	...	0
AMS	.	Afrika	.	OtherFSC	0	0.236407	0.236407	0.472813	...	0
AMS	.	Afrika	.	LowCost	0	0	0	33.20388	...	0
AMS	.	M-Oosten	.	SkyTeam	0	0	0	17.13748	...	0
AMS	.	M-Oosten	.	OtherFSC	0	0	0.107148	45.50742	...	22.33277
AMS	.	M-Oosten	.	LowCost	0	0	0	99.29907	...	0
AMS	.	Ver-Oosten	.	SkyTeam	0	16.0203	13.74619	0	...	0
AMS	.	Ver-Oosten	.	OtherFSC	0	0	0	0.814111	...	0
AMS	.	Ver-Oosten	.	LowCost	0	0	0	54.54545	...	0
RTM	.	W-Europa	.	SkyTeam	0.000462	0.301293	0.104722	0.592426	...	0
EIN	.	W-Europa	.	SkyTeam	0.000262	0.000229	0.000392	0.999019	...	0
MST	.	W-Europa	.	SkyTeam	0.006275	0.031373	0.018824	0.941176	...	0
GRQ	.	W-Europa	.	SkyTeam	0.001341	0.236083	0.005366	0.75721	...	0

Tabel 25: Overzicht gms invoerbestanden AEOLUS.

Invoerbestand	Toelichting	Allocatie variabelen
baseG_Fr2017.gms	Verdeling van Full Freighters over grootteklassen in het basisjaar	<ul style="list-style-type: none"> – Aandeel per G-klasse [AMS, G-klasse] – Aandeel per G-klasse [NL luchthaven, Wereldregio, Alliance, G-klasse]
baseG2017.gms	Verdeling van passagevluchten over grootteklassen in het basisjaar	<ul style="list-style-type: none"> – Aantal stoelen per G-klasse[G-klasse] – Kalibratiefactoren aantal vliegtuigbewegingen [NL luchthaven] – Shift G factor [G-klasse]
baseT_Fr2017.gms	Verdeling van Full Freighters over grootte- en technologieklassen in het basisjaar	<ul style="list-style-type: none"> – Aandeel per T-klasse [AMS, T-klasse]
baseT2017.gms	Verdeling van passagevluchten over grootte- en technologieklassen in het basisjaar	<ul style="list-style-type: none"> – Aandeel per T-klasse [NL luchthaven, Wereldregio, Alliance, G-klasse, T-klasse]
baseU_Fr2017.gms	Verdeling van Full Freighters over de dagdelen in het basisjaar	<ul style="list-style-type: none"> – Aandeel per U-klasse [AMS, U-klasse]
baseU2017.gms	Verdeling van passagevluchten over de dagdelen in het basisjaar	<ul style="list-style-type: none"> – Aandeel per U-klasse [NL luchthaven, Wereldregio, Alliance, U-klasse]
calib_data.gms	Data voor de modelkalibratie van het basisjaar	<ul style="list-style-type: none"> – OD-passagiers per luchthaven [Luchthaven] – Transferpassagiers per Hub [Hub luchthavens] – Aandeel passagiers met indirecte verbindingen³⁹ [AMS] – Aandeel passagiers per alliantie in Amsterdam [Alliance]

³⁹ Dat zijn passagiers die vanaf AMS vertrekken en ergens op een andere hub overstappen voordat ze hun finale bestemming bereiken en vice versa.

Invoerbestand	Toelichting	Allocatie variabelen
input_other.gms	Overige invoer	<ul style="list-style-type: none"> - Handelselasticiteit [10 jaar periode, Scenario] - Prijselasticiteit [Motief, Routetype⁴⁰, 10 jaar periode, Scenario] - Tijdelasticiteit [Motief, Routetype, 10 jaar periode, Scenario] - Frequentie elasticiteit [Motief, Routetype, Scenario] - Inkomenselasticiteit [Motief, Routetype, 10 jaar periode, Scenario] - VoT [Motief] - Verandering VoT [Motief, 10 jaar periode, Scenario] - VoWT [Motief] - Verandering VoWT [Motief, 10 jaar periode, Scenario] - Gemiddelde brandstofprijs auto - Brandstofprijsverandering auto [10 jaar periode, Scenario] - Benzineverbruik auto - Benzineverbruikverandering auto [10 jaar periode, Scenario] - Autobezetting voortransport (parkeren/Kiss&Fly) [Motief] - Verandering autobezetting [Motief, 10 jaar periode, Scenario] - Gemiddelde snelheid auto basisjaar - Gemiddelde snelheid auto zichtjaar [Scenario] - Jaar van snelheidsverandering auto [Scenario] - Verandering snelheid voortransport (auto, Trein, HSL) [10 jaar periode, Scenario] - Verandering snelheid hoofdtransport (auto, Trein, HSL) [10 jaar periode, Scenario] - Verandering kosten (trein, HSL, taxi) [10 jaar periode, Scenario] - Parkeerkosten per reis [Luchthaven, Motief] - Verandering parkeerkosten [luchthaven, Scenario] - Check-in tijd [Routetype, Motief] - Verandering check-in tijd [Motief, Routetype, Periode 10 jaar, Scenario] - Check-out tijd [Motief] - Verandering check-out tijd [Motief, Periode 10 jaar, Scenario] - Bezettingsgraad [Routetype] - Verandering bezettingsgraad [Routetype, Periode 10 jaar, Scenario] - Luchthavenheffingen [luchthaveb/zone, OD/transfer] - Nationale heffingen [Herkomstzone, Bestemmingszone]
OD_distances.gms	Afstanden tussen luchthavens en modelzones voor CO2-berekening (PBL_CO2)	Afstanden tussen [Herkomst, Bestemmingen, Afstand in km]
TimeOD_original.gms	Vliegtijden in het basisjaar	Vliegtijden [Herkomst, Bestemmingen, Tijd in uur]

⁴⁰ Kort, Europees, Intercontinentaal.

Invoerbestand	Toelichting	Allocatie variabelen
TRG_emissie_data.gms	Gemiddelde MTOW per grootteklasse Emissiefactoren LTO-emissies Emissiefactoren voortransport en trein/auto voor hoofdtransport Vliegafstanden (daadwerkelijk)	<ul style="list-style-type: none"> - Kalibratiefactoren LTO-emissies - LTO emissies [G-klasse, T-klasse] - MTOW [G-klasse] - Kans op een ongeluk [G-klasse, T-klasse] - Exogene CO2-reductie [10 jaar periode, Scenario] - CO2-emissie per access kilometer [Voortransportmiddel] - CO2-emissie per kilometer hoofdtransport [Hoofdtransportmiddel] - Afstanden tussen luchthavens en modelzones in km [Luchthaven, Zones]
utilcoeff.gms	Coëfficiënten voor nutsfuncties	<ul style="list-style-type: none"> - AlphaRouteBase[RouteType, Motief] - BetaRouteBase_Inwoner[RouteType, Motief] - BetaRouteBase_Bezoeker[RouteType, Motief] - BetaMainModeBase_Inwoner[RouteType, Motief] - BetaMainModeBase_Bezoeker[RouteType, Motief] - GammaRouteBase_Inwoner[RouteType, Motief] - GammaRouteBase_Bezoeker[RouteType, Motief] - GammaMainModeBase[RouteType, Motief] - BetaAccessBase[AccessModes, Motief, Originating/Destinating] - ASC_Access_Bezoeker[Voortransportmiddel, Motief] - ASC_Access_Inwoner[Voortransportmiddel, Motief] - ASC_regulier [Motief, Originating/Destinating] - ASC_TGV [Motief, Originating/Destinating] - ASC_Inwoner[Hoofdvervoerwijze] - ASC_Bezoeker[Hoofdvervoerwijze] - TrainDistCoef [Motief, Originating/Destinating] - IDontLikeForeignAirportsBase [Motief] - DummyAlliance_Inwoner [Alliance, Motief] - DummyAlliance_Bezoeker [Alliance, Motief] - DummyDirect [Originating/Destinating, Motief] - NestCoeffTrein [Motief] - MainModeNestCoef [Motief]
utilcorfac_data.gms	Kalibratiefactoren (ASC's) voor nutsfuncties	<ul style="list-style-type: none"> - Correctie OD passagiers [Luchthaven] - Correctie transferpassagiers [Hub luchthaven] - Correctie voor indirecte verbindingen - Correctie per alliantie [Alliance] - Correctie OD passagiers naar bestemming [Luchthaven, Bestemmingszone, Alliantie]

Appendix B: Algoritmen baangebruik en geluidsberekening Schiphol

Deze appendix geeft de detailbeschrijving van de algoritmen voor de geluidsberekeningen en het baangebruik voor Schiphol. De beschrijving gaat in op:

- De uitvoer van het algoritme;
- Benodigde invoergegevens die binnen AEOLUS beschikbaar zijn;
- Aanvullende invoergegevens die de gebruiker dient in te voeren;
- Brongegevens die benodigd zijn om tot de uitvoer te komen;
- Uit te voeren bewerkingen.

6 geeft een overzicht van de specificatie van de brongegevens die zijn gebruikt bij de validatie van het model.

B.1 Bepalen Hoeveelheid geluid

Beschrijving

Berekening van de hoeveelheid geluid (HG) in L_{den} per jaar voor Schiphol.

Invoer

Per dagdeel (ochtend, middag, avond, nacht):

- Aantal starts
- Aantal landingen
- Verdeling starts en landingen over G/T -klassen

Deze gegevens zijn beschikbaar binnen AEOLUS. Er is geen aanvullende gebruikersinvoer nodig.

Brongegevens

De berekening wordt uitgevoerd op basis van een HG-tabel die per vliegtuigbeweging de bijdrage aan het HG geeft. Bron voor de HG-tabel is een door de gebruiker te kiezen geluidstudie. Onderstaande tabel geeft een deel van de HG-tabel weer:

DEN Periode	Landing /Take-off	HG energetisch	HG dB	G/T- klasse
D	L	0.244338	-6.12008	1/3
D	T	0.135715	-8.67373	1/3
E	L	0.772109	-1.12321	1/3
E	T	0.428859	-3.67686	1/3
N	L	2.443384	3.879917	1/3
N	T	1.357147	1.32627	1/3

Algoritme

1. Bepaal het aantal starts en landingen per DEN periode per G/T klasse, waarbij:

- a. D = Ochtend en Middag
 - b. E = Avond
 - c. N = Nacht
2. Vermenigvuldig de aantallen bepaald onder a. met de bijdragen uit in de HG-tabel
 3. Sommeer de subtotalen zoals bepaald onder b., dit geeft het energetische HG
 4. Zet het energetische HG om naar dB(A), $10 \times \log_{10}(\text{energetisch HG})$

B.2 Seizoensinvloeden en variatie dag volumes

Beschrijving

Gemiddeld verkeersvolume per dagdeel in de zomer en winter en de variatie in het verkeersvolume per dagdeel per seizoen.

Invoer

Per dagdeel (ochtend, middag, avond, nacht)

- Aantal starts (= $vtb_{dagdeel}^{starts}$)
- Aantal landingen (= $vtb_{dagdeel}^{arrivals}$)

Deze gegevens zijn beschikbaar binnen AEOLUS. Aanvullend hierop zijn de volgende gegevens nodig (die als nieuwe invoer aan AEOLUS zijn toegevoegd):

- Duur zomer- en winterseizoen (= t_{winter} en t_{zomer} , standaard: 21 weken winter, 31 zomer);
- Ratio da volume zomer en winterdag (= $r_{\frac{zomer}{winter}}$ met een waarde tussen 1 en 1.3);
- Standaarddeviatie dagdeel volume (excl. nacht) (= σ met een waarde tussen 10 en 25 vliegtuigbewegingen) voor
 - zomer – starts
 - zomer – arrivals
 - winter – starts
 - winter - arrivals

Algoritme

1. Het aantal vliegtuigbewegingen (per dagdeel) kan vermeerderd of verminderd worden, door $vtb_{dagdeel}$ aan te passen op basis van de standaarddeviatie. Op deze manier bekomt men een verkeersverdeling (gebaseerd op normaalverdeling).
2. $\overline{vtb_{winter}}$ – Bepaal het gemiddelde dagvolume (per dagdeel) voor de winter (de factor 7 is nodig voor de omrekening van weken naar dagen):

$$\overline{vtb_{winter}} = \frac{1}{7} \frac{vtb_{dagdeel}}{t_{zomer} * r_{\frac{zomer}{winter}} + t_{winter}}$$

3. $\overline{svtb_{zomer}}$ – Bepaal het gemiddelde dagvolume (per dagdeel) voor de zomer:

$$\overline{svtb_{zomer}} = \overline{vtb_{winter}} * r_{zomer/winter}$$

B.3 Aantal bewegingen op de tweede start- of landingsbaan

Beschrijving

Het aantal bewegingen op de tweede start of landingsbaan.

Invoer

- Het aantal starts of landingen binnen de periode ($= vtb_{periode}$);
- De duur van de periode (dagdeel) in uren ($= t_{dagdeel}$);
- De piekcapaciteit ($= C_{piek}$ in aantal vliegtuigbewegingen per uur; standaard = 68 arrivals per uur of 74 starts per uur);
- Bestemming/herkomst die op twee start- of landingsbaan worden afgehandeld.

Brongegevens

- Relatie capaciteitsdruk CD en fractie verkeer op de tweede baan, F_2 . Capaciteitsdruk heeft bereik van 0 tot 1. Fractie verkeer op tweede baan heeft bereik van 0 tot 0.5.
- Fractie verkeer dat op basis van herkomst of bestemming in potentie op de twee baan terecht kan komen, P_{2ref}

Algoritme

1. Bepaal de beschikbare capaciteit:

$$C_{dagdeel} = C_{piek} * t_{dagdeel}$$

2. Bepaal de capaciteitsdruk:

$$CD = \frac{vtb_{periode}}{C_{dagdeel}}$$

3. Bepaal op basis van de opgegeven relatie F_2 ; de fractie van het verkeer dat op de tweede baan terecht komt (zie Appendix B.1).
4. Bepaal het aantal bewegingen op de 2^e baan binnen de periode:

$$vtb_{2e\ baan} = \min\left(F_2 * \frac{P_2}{P_{2ref}} * vtb, 0.5 * C_{dagdeel}\right)$$

B.4 Duur gebruik tweede start- of landingsbaan

Beschrijving

Duur gebruik tweede start of landingsbaan

Invoer

- Het aantal starts of landingen binnen de periode ($= vtb_{periode}$);
- De duur van de periode (dagdeel) in uren ($= t_{dagdeel}$);
- De piekcapaciteit ($= C_{piek}$ in aantal vliegtuigbewegingen per uur; standaard = 68 arrivals per uur of 74 starts per uur);
- Bestemming/herkomst die op twee start- of landingsbaan worden afgehandeld.

Brongegevens

- Relatie capaciteitsdruk en duur tweede baan in gebruik, D_2 (zie Appendix B.2). Capaciteitsdruk heeft bereik van 0 tot 1. Duur tweede baan heeft bereik van 0 tot 1.

Algoritme

1. Bepaal de beschikbare capaciteit:

$$C_{dagdeel} = C_{piek} * t_{dagdeel}$$

2. Bepaal de capaciteitsdruk:

$$CD = \frac{vtb_{periode}}{C_{dagdeel}}$$

- Bepaal op basis van de opgegeven relatie D_2 ; de duur dat een tweede baan wordt gebruikt genormaliseerd naar de duur van de periode.

B.5 Aantal bewegingen op de 4^e baan

Beschrijving

Het gemiddeld aantal bewegingen per dag op de 4^e baan

Invoer

- Het aantal bewegingen (vtb_{2eb}) op de tweede start- en landingsbaan (opsplitsing starts en landingen: $vtb_{2eb,start}$ en $vtb_{2eb,land}$)
- Capaciteit (C_{2eb}) tweede start- en landingsbaan (opsplitsing starts en landingen: $C_{2eb,start}$ en $C_{2eb,land}$)
- Duur gebruik tweede start- en landingsbaan, $D2_{start}$ en $D2_{land}$ (zie Appendix B.2)
- Aantal landingen

Brongegevens

- Relatie duur 4^{de} baan en totale duur 2^{de} baan. Duur 4^{de} baan heeft bereik van 0 tot 1. Totale duur 2^{de} baan heeft bereik van 0 tot 2 (zie Appendix B.3).
- Relatie utilisatie 4^{de} baan en utilisatie 2^{de} baan. Beide parameters hebben bereik van 0 tot 1 (zie Appendix B.4).

Algoritme

- Bepaal totale duur gebruik tweede baan ($D22$), en normaliseer op basis van de duur van de periode ($D_{periode}$):

$$D22 = \frac{D2_{start} + D2_{land}}{D_{periode}}$$

- Bepaal de utilisatie van zowel de tweede start- als landingsbaan (U_2):

$$U_{2,start} = vtb_{2eb,start} / C_{2eb,start}$$

$$U_{2,land} = vtb_{2eb,land} / C_{2eb,land}$$

- Gebruik relatie duur 4^{de} baan en totale duur 2^{de} baan, om de duur 4^{de} baan ($D4$) te berekenen.

$$D4 = f(D22)$$

- Gebruik relatie utilisatie 4^{de} baan en utilisatie 2^{de} baan, om de utilisatie van de 4^{de} baan (U_4) te bepalen.

$$U_{4,start} = g(U_{2,start})$$

$$U_{4,land} = h(U_{2,land})$$

- Op basis hiervan kan het aantal bewegingen op de 4^{de} baan (vtb_{4eba}) bepaald worden – zowel op basis van de starts en landingen – waarna het minimum geselecteerd wordt als vtb_{4eba} :

$$vtb_{4eba} = \min \left(vtb_{2eb,start} * \frac{D4}{D2_{start}} * \frac{U_{4,start}}{U_{2,start}}, vtb_{2eb,land} * \frac{D4}{D2_{land}} * \frac{U_{4,land}}{U_{2,land}} \right)$$

B.6 Aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} contour

Beschrijving

Aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} contour

Invoer

Per dagdeel (ochtend, middag, avond, nacht) op jaarbasis:

- Aantal starts;
- Aantal landingen;
- Aantal starts op de tweede baan;
- Aantal landingen op de twee baan;
- Het percentage van het totaal volume verkeer dat aangenomen mag worden als zijnde General Aviation (GA) verkeer. Typische waarde hiervoor is 2.5%.

Brongegevens

- Raster met per rasterpunt:
 - Aantal woningen
 - Energetische bijdrage per vliegtuigbeweging uitgesplitst naar:
 - i) Dagdeel;
 - ii) Richting (landen, starten);
 - iii) Landen of starten op een of twee banen.
- Verhouding verkeer tussen eerste en tweede baan (percentueel) hierbij wordt aangenomen dat de kaag- en de polderbaan de eerste baan is, uitgesplitst naar:
 - Dagdeel;
 - Richting (landen, starten);
 - Landen of starten op een of twee banen.
- Gemiddelde hoeveelheid geluid, energetisch, uitgesplitst naar
 - Dagdeel;
 - Richting;
 - Technologieklaas;

Algoritme

1. Bepaal per dagdeel en richting de rekenkundige vluchten, $VTBS_{rekenkundig}$ door de volgende methode van schalen toe te passen:
 - a. Het aantal rekenkundige bewegingen op de tweede baan wordt bepaald door het aantal vluchten op de tweede baan, bepaald door Aeolus, te delen door het referentie percentage verkeer tweede baan.

$$VTBS_{rekenkundig,2debaan} = \frac{VTBS_{2debaan}}{perc_{2debaan}^{ref}}$$

- b. Het aantal rekenkundige bewegingen voor de eerste baan wordt bepaald door het aantal vluchten op de eerste baan, bepaald door Aeolus, te verminderen met het rekenkundige vluchten bepaald in 1) vermenigvuldigd met de referentie percentage verkeer eerste baan.

$$VTBS_{rekenkundig,1e_baan} = VTBS_{1e_baan} - VTBS_{rekenkundig,2debaan} \cdot perc_{1e_baan}^{ref}$$

Voorbeeld voor aankomst gedurende dag:

Referentieverhouding: 40% eerste baan, 60% tweede baan;
 Bepaalde verkeersvolume Aeolus: 100,000 eerste baan, 30,000 tweede baan;
 Rekenkundige volume landingen gedurende dag LD: 50,000 (30,000/0.6);
 Rekenkundige volume landingen gedurende dag SON: 80,000 (100,000-50,000*0.4);

2. Bepaal per rasterpunt de energetische bijdrage van vluchten, door het aantal rekenkundige vluchten, zoals is bepaald in stap 1, te vermenigvuldigen met de individuele energetische uitsplitsing;
3. Bepaal per rasterpunt de geluidsdruk, noiseload ($NL_{i,j,k,l}$) energetisch, op basis van de volgende sommatie:

$$NL_{i,j,k,l} = \sum_{i=grid} \sum_{j=DEN} \sum_{k=L/T} \sum_{l=1e/2de} HG_{j,k} \cdot \frac{HS_{i,j,k,l}}{HG_{j,k}^{ref}}$$

Met:

- $\sum_i \sum_{L/T} \sum_{DEN} \sum_{PC}$, de sommaties per rasterpunt, dagdeel, richting en eerste of tweede baan;
- $\frac{HS_{i,j,k,l}}{HG_{j,k}^{ref}}$, genormaliseerde geluidsdruk per rasterpunt naar hoeveelheid geluid;
- $HS_{i,j,k,l}$, de referentie hindersonderzoek per rasterpunt;
- $HG_{j,k}^{ref}$, de referentie hoeveelheid geluid.

4. Per rasterpunt de GA contributie, GA_{factor} , erbij op tellen volgens:

$$NL_{GA} = NL_{i,j,k,l} \cdot GA_{factor}$$

5. Energetische geluidsdruk per woning omrekenen naar dB:

$$NL = 10 \cdot \log_{10}(NL_{GA}) - 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{T_D}{T_0}\right)$$

Met:

- NL_{GA} , Geluidsdruk per woning inclusief GA factor;
- $T_0 = 1$, een referentie tijd in seconden;
- $T_D = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$.

6. Sommeer alle woningen in het raster $NL > 58$ dB(A).

Appendix C: Standaardparameters voor algoritmes

Deze bijlage bevat de standaard parameters voor vier algoritmes:

1. Fractie vliegtuigbewegingen op de tweede start- en tweede landingsbaan;
2. Duur van de inzet van de tweede start- en landingsbaan;
3. Fractie vliegtuigbewegingen op de vierde baan;
4. Utilisatie van de vierde baan.

De in deze bijlage opgenomen parameters zijn afgeleid van simulatieresultaten van het '510k model'.

C.1 Fractie 2^{de} baan

Beschrijving

Fractie vliegtuigbewegingen op de tweede baan (F2), als functie van de corresponderende capaciteitsdruk (CD)

- Output: fractie vliegtuigbewegingen op de tweede baan, opgesplitst in starts/landingen en per periode
 - $F2_{st,ochtend}$
 - $F2_{st,middag}$
 - $F2_{st,avond}$
 - $F2_{arr,ochtend}$
 - $F2_{arr,middag}$
 - $F2_{arr,avond}$

- Input: capaciteitsdruk, opgesplitst in starts/landingen en per periode
 - $CD_{st,ochtend}$
 - $CD_{st,middag}$
 - $CD_{st,avond}$
 - $CD_{arr,ochtend}$
 - $CD_{arr,middag}$
 - $CD_{arr,avond}$

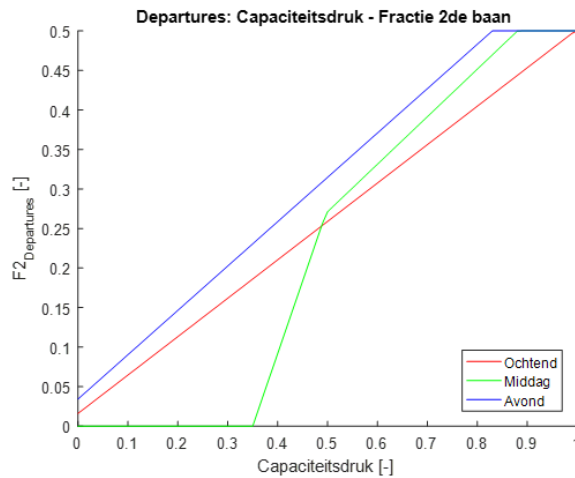
Relaties voor starts:

$$F2_{st,ochtend} = 0.4858 * CD_{st,ochtend} + 0.0161$$

$$F2_{st,middag} = \max(0, \min(0.5, 1.8347 * CD - 0.6421)), \quad CD < 0.5$$

$$F2_{st,middag} = \max(0, \min(0.5, 0.601 * CD - 0.0292)), \quad CD \geq 0.5$$

$$F2_{st,avond} = \max(0, \min(0.5, 0.5610 * CD_{st,avond} + 0.0343))$$



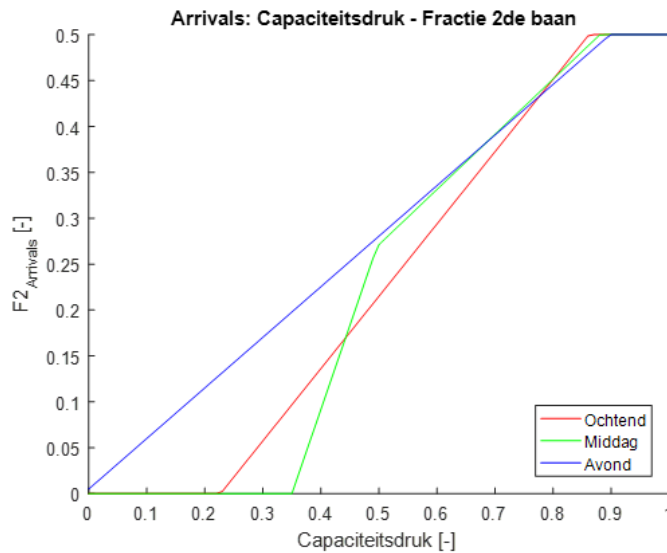
Relaties voor arrivals:

$$F2_{arr,ochtend} = \max(0, \min(0.5, 0.7877 * CD - 0.1788))$$

$$F2_{arr,middag} = \max(0, \min(0.5, 1.8347 * CD - 0.6421)), \quad CD < 0.5$$

$$F2_{arr,middag} = \max(0, \min(0.5, 0.601 * CD - 0.0292)), \quad CD \geq 0.5$$

$$F2_{arr,avond} = \max(0, \min(0.5, 0.5511 * CD_{arr,avond} + 0.0050))$$



C.2 Duur 2^{de} baan

Beschrijving

Duur gebruik tweede baan (D2), als functie van de corresponderende capaciteitsdruk (CD)

- Output: duur gebruik tweede baan, opgesplitst in starts/landingen en per periode
 - $D2_{st,ochtend}$
 - $D2_{st,middag}$

- $D2_{st,avond}$
- $D2_{arr,ochtend}$
- $D2_{arr,middag}$
- $D2_{arr,avond}$

- Input: capaciteitsdruk, opgesplitst in starts/landingen en per periode

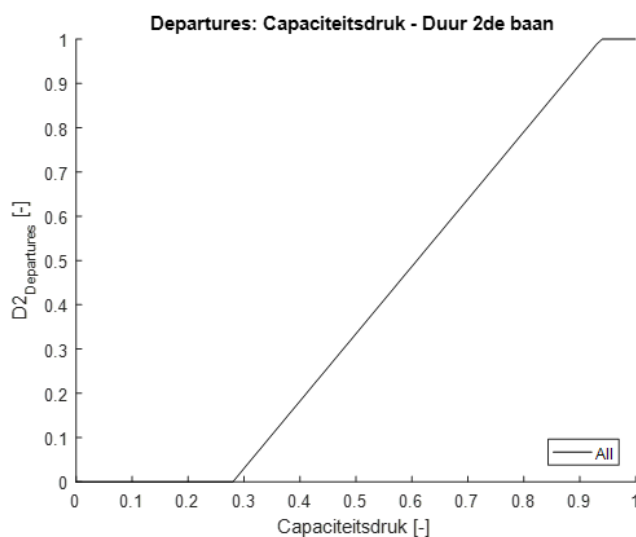
- $CD_{st,ochtend}$
- $CD_{st,middag}$
- $CD_{st,avond}$
- $CD_{arr,ochtend}$
- $CD_{arr,middag}$
- $CD_{arr,avond}$

Relaties voor starts

$$D2_{st,ochtend} = \max(0, \min(1, 1.5206 * CD - 0.4257))$$

$$D2_{st,middag} = \max(0, \min(1, 1.5206 * CD - 0.4257))$$

$$D2_{st,avond} = \max(0, \min(1, 1.5206 * CD - 0.4257))$$

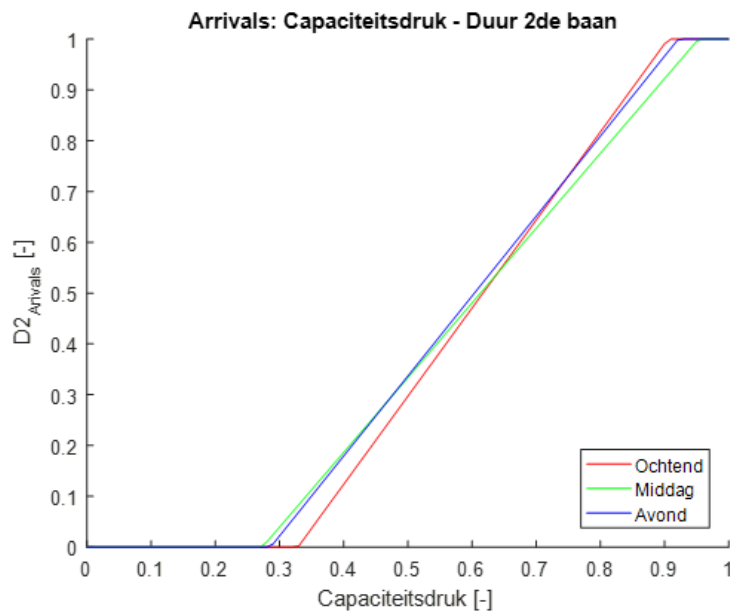


Relaties voor starts

$$D2_{arr,ochtend} = \max(0, \min(1, 1.7343 * CD - 0.5701))$$

$$D2_{arr,middag} = \max(0, \min(1, 1.4713 * CD - 0.4020))$$

$$D2_{arr,avond} = \max(0, \min(1, 1.5742 * CD - 0.4503))$$



C.3 Fractie 4^{de} baan

Beschrijving

Fractie vliegtuigbewegingen op de vierde baan (F4), als functie van de totale duur gebruik tweede baan (D22)

- Output: fractie vliegtuigbewegingen op de vierde baan, opgesplitst per periode
 - $F4_{ochtend}$
 - $F4_{middag}$
 - $F4_{avond}$
- Input: totale duur gebruik tweede baan
 - $D22_{ochtend}$
 - $D22_{middag}$
 - $D22_{avond}$

Relaties voor vierde baan

$$F4_{ochtend}(D22 > 0.36) = \max(0, \min(1, 0.5090 * (D22_{ochtend})^2 - 0.4906 * D22_{ochtend} + 0.0913))$$

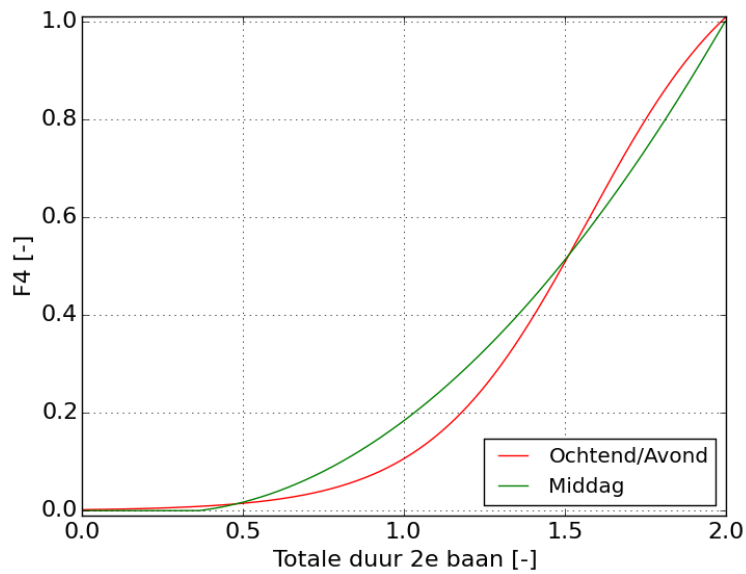
$$F4_{ochtend}(D22 \leq 0.36) = 0$$

$$F4_{middag}(D22 \leq 0.36) = 0$$

$$F4_{middag}(D22 > 0.36) = \max(0, \min(1, 0.3241 * (D22_{middag})^2 - 0.1531 * D22_{middag} + 0.0129))$$

$$F4_{avond}(D22 > 0.36) = \max(0, \min(1, 0.5090 * (D22_{avond})^2 - 0.4906 * D22_{avond} + 0.0913))$$

$$F4_{avond}(D22 \leq 0.36) = 0$$



C.4 Utilisatie 4^{de} baan

Beschrijving

Utilisatie vierde baan (U4), als functie van de utilisatie tweede baan (U2)

- Output: utilisatie vierde baan, opgesplitst in starts/landingen en per periode
 - $U_{4, \text{st}, \text{ochtend}}$
 - $U_{4, \text{st}, \text{middag}}$
 - $U_{4, \text{st}, \text{avond}}$
 - $U_{4, \text{arr}, \text{ochtend}}$
 - $U_{4, \text{arr}, \text{middag}}$
 - $U_{4, \text{arr}, \text{avond}}$
- Input: utilisatie tweede baan, opgesplitst in starts/landingen en per periode
 - $U_{2, \text{st}, \text{ochtend}}$
 - $U_{2, \text{st}, \text{middag}}$
 - $U_{2, \text{st}, \text{avond}}$
 - $U_{2, \text{arr}, \text{ochtend}}$
 - $U_{2, \text{arr}, \text{middag}}$
 - $U_{2, \text{arr}, \text{avond}}$

Relaties voor duur vierde baan

$$U_{4, \text{st}, \text{ochtend}} = 0.732 * U_{2, \text{st}, \text{ochtend}} + 0.0099$$

$$U_{4, \text{st}, \text{middag}} = 0.315 * U_{2, \text{st}, \text{middag}} + 0.3830$$

$$U_{4, \text{st}, \text{avond}} = 0.732 * U_{2, \text{st}, \text{avond}} + 0.0099$$

$$U_{4, \text{arr}, \text{ochtend}} = 0.655 * U_{2, \text{arr}, \text{ochtend}} + 0.1471$$

$$U_{4, \text{arr}, \text{middag}} = 0.677 * U_{2, \text{arr}, \text{middag}} + 0.1453$$

$$U_{4, \text{arr}, \text{avond}} = 0.756 * U_{2, \text{arr}, \text{avond}} + 0.0006$$

Appendix D: Luchtzijdige LoS input

D.1 Invoer op basis van het NETSCAN model

De luchtzijdige level-of-service is aangeleverd door SEO Economisch Onderzoek (SEO) op basis van het NETSCAN model (Burghouwt, 2013 en Lieshout 2012). 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). AEOLUS rekent echter 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. 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 26 zijn alle variabelen weergegeven die in het level-of-service invoerbestand voor AEOLUS staan.

Tabel 26. Variabelen in het luchtzijdige Level-of-Service bestand.

Variabele	Beschrijving
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 (Sky Team, Star Alliance, One World, Overige FSC, 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

D.2 Indeling van luchtvaartmaatschappijen in allianties

In AEOLUS wordt onderscheid gemaakt in 5 allianties. In volgende overzichtstabel wordt de koppeling tussen de luchtvaartmaatschappijen en de allianties getoond.

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
1time	T6	TVR	LCC/Charter
1time	RNX	RNX	LCC/Charter
40 Mile Air	Q5	MLA	overige FSC
Aeg Air Cargo Germany	6U	ACX	overige FSC
ACT Airlines Inc	9T	ABS	overige FSC
Adam Air	KI	AAG	LCC/Charter
Adria Airways	JP	ADR	STAR
Aegean Airlines	A3	AEE	STAR
Aer Arann	RE	REA	overige FSC
Aer Lingus	EI	EIN	overige FSC
Aero Benin	EM	CFS	overige FSC
Aero Lineas Sosa	P4	NSO	overige FSC
Aero Lloyd	YP	AEF	LCC/Charter
Aero VIP	RVP	AOG	overige FSC
Aerobratsk	BRP	BRP	overige FSC
Aerocaribbean	7L	ERO	overige FSC
Aerocon	A4	SWD	overige FSC
Aerocondor	ARD	ARD	overige FSC
Aerocontractors	NIG	NIG	overige FSC
Aeroflot Russian Airlines	SU	AFL	SkyTeam
AEROGAL	2K	GLG	overige FSC
Aerogaviota	KG	BNX	overige FSC
Aerolinea Principal	5P	PCP	LCC/Charter
Aerolineas Argentinas	AR	ARG	SkyTeam
Aerolineas MAS	N3	MAF	overige FSC
Aerolink Uganda Ltd	A8	XAU	overige FSC
Aeromar, C. Por A.	BQ	ROM	overige FSC
Aeromexico	AM	AMX	SkyTeam
Aeromexico Connect	5D	SLI	SkyTeam
Aeromexpress	QO	MPX	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
AeroMongolia	M0	MNG	overige FSC
AeroMongolia	MNG	MNG	overige FSC
Aeropelican Air Services	OT	PEL	overige FSC
Aeroperlas	WL	APP	overige FSC
Aeroperlas	APP	APP	overige FSC
Aerpostal, Alas De Venezuela S.A.	VH	ALV	overige FSC
Aerorepublica	P5	RPB	overige FSC
Aerosur	5L	RSU	overige FSC
Aerounion	6R	DRU	overige FSC
Aerovip	2D	AOG	overige FSC
Afghan Airlines	HN	HVY	overige FSC
Africa West	FK	WTA	overige FSC
Africa World Airlines Limited	AW	AFW	overige FSC
African Express Airways	XU	AXK	overige FSC
African SAFari Airways	QSC	OSC	LCC/Charter
Afriqiyah Airways	8U	AAW	overige FSC
Afrique Airlines	X5	FBN	overige FSC
AHK Air Hong Kong	LD	AHK	overige FSC
Aigle Azur	ZI	AAF	overige FSC
Air Algerie	AH	DAH	overige FSC
Air Alps Aviation	A6	LPV	overige FSC
Air Alsie	6I	IBZ	overige FSC
Air Andaman	2Y	ADW	overige FSC
Air Antilles	3S	BOX	overige FSC
Air Arabia	G9	ABY	LCC/Charter
Air Arabia Egypt	E5	BRZ	overige FSC
Air Arabia Maroc	3O	MAC	overige FSC
Air Armenia	QN	ARR	overige FSC
Air Astana	KC	KZR	overige FSC
Air Austral	UU	REU	overige FSC
Air Azul	ZQ	AZU	overige FSC
Air Bagan	W9	AAB	overige FSC
Air Baltic Corporation	BT	BTI	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Air Bashkortostan	ZU	HCY	LCC/Charter
Air Berlin	AB	BER	oneworld
Air Bishkek	KR	CWK	overige FSC
Air Bissau International	YL	LLM	overige FSC
Air Botswana	BP	BOT	overige FSC
Air Burkina	2J	VBW	overige FSC
Air Busan	BX	ABL	overige FSC
Air Caledonie	TY	TPC	overige FSC
Air Caledonie International	SB	ACI	overige FSC
Air Canada	AC	ACA	STAR
Air Caraïbes	TX	FWI	overige FSC
Air Caucasus Ltd.	UY	UYC	overige FSC
Air Chathams	CVA	CVA	overige FSC
Air China	CA	CCA	STAR
Air Class Lineas Aereas	QD	QCL	overige FSC
Air Company SCAT	DV	LTF	overige FSC
Air Corsica	XK	CCM	overige FSC
Air Cote d'Ivoire	HF	VRE	LCC/Charter
Air Creebec (1994) Inc.	YN	CRQ	overige FSC
Air Dolomiti	EN	DLA	STAR
Air Dominicana	ED	RDO	overige FSC
Air Europa	UX	AEA	SkyTeam
Air Excursions, LLC	X4	-	overige FSC
Air Finland	OF	FIF	overige FSC
Air Flamenco	F4	NBK	overige FSC
Air France	AF	AFR	SkyTeam
Air Gabon	GN	AGN	overige FSC
Air Georgian Ltd dba Air Alliance	ZX	ABL	LCC/Charter
Air Greenland	GL	GRL	overige FSC
Air Iceland	NY	FXI	overige FSC
Air Incheon	KJ	AAZ	overige FSC
Air India	AI	AIC	overige FSC
Air India Express	IX	AXB	LCC/Charter

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Air India Express	AXB	AXB	LCC/Charter
Air Indus (pvt.) Ltd.	I6	SEQ	overige FSC
Air Inuit	3H	AIE	overige FSC
Air Italy	I9	IBU	overige FSC
Air Ivoire	VU	VUN	overige FSC
Air Jamaica	JM	AJM	overige FSC
Air Japan	NQ	AJX	STAR
Air KBZ	K7	KBZ	overige FSC
Air Koryo	JS	KOR	overige FSC
Air LAbrador	WJ	LAL	overige FSC
Air Liaison	MAX	MAX	overige FSC
Air Liaison	L4	SSX	LCC/Charter
Air Libya	TLR	TL	overige FSC
Air Littoral	FU	LIT	overige FSC
Air Lituanica	LT	LTU	LCC/Charter
Air Macau	NX	AMU	overige FSC
Air Madagascar	MD	MDG	overige FSC
Air Malawi	QM	AML	overige FSC
Air Mali	I5	IAD	overige FSC
Air Malta	KM	AMC	overige FSC
Air Manas	ZM	MBB	overige FSC
Air Mauritius	MK	MAU	overige FSC
Air Mediterranee	ML	BIE	overige FSC
Air Mekong	P8	MKG	overige FSC
Air Minas Linhas Aereas	6M	AMG	LCC/Charter
Air Moldova	9U	MLD	overige FSC
Air Namibia	SW	NMB	overige FSC
Air Nepal International	XN	XAR	overige FSC
Air New Zealand	NZ	ANZ	STAR
Air Next	7A	XRC	overige FSC
Air Niamey	A7	MPD	overige FSC
Air Nigeria	VK	FVK	overige FSC
Air Nippon	EL	ANK	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Air Nippon Network	EH	AKX	overige FSC
Air Niugini	PX	ANG	overige FSC
Air North	4N	ANT	overige FSC
Air Norway/north Flying	M3	TUS	overige FSC
Air Nostrum	YW	ANE	overige FSC
Air One	AP	ADH	LCC/Charter
Air Onix	OG	ONX	overige FSC
Air Panama	PST	PST	overige FSC
Air Panama	7P	PST	overige FSC
Air Rarotonga	GZ	RAR	overige FSC
Air Saint-Pierre	PJ	SPM	overige FSC
Air Santo Domingo	EX	BJK	overige FSC
Air Scotland	GRE	GRE	LCC/Charter
Air Serbia	JU	ASL	overige FSC
Air Seychelles	HM	SEY	overige FSC
Air Sinai	4D	ASD	overige FSC
Air Southwest	WOW	WOW	overige FSC
Air Sunshine	YI	RSI	overige FSC
Air Tahiti	VT	VTA	overige FSC
Air Tahiti Nui	TN	THT	overige FSC
Air Tanzania	TC	ATC	overige FSC
Air Timor	6C	-	overige FSC
Air Tindi Ltd	8T	TID	overige FSC
Air Transat A.T.Inc.	TS	TSC	LCC/Charter
Air Turks & Caicos	JY	IWY	overige FSC
Air Uganda	U7	UGA	overige FSC
Air Urga	3N	URG	overige FSC
Air Vallee	DO	DOA	overige FSC
Air Vanuatu	NF	AVN	overige FSC
Air Via	VIM	VIM	LCC/Charter
Air Zara International	AZD	AZD	overige FSC
Air Zimbabwe	UM	AZW	overige FSC
Airasia	AK	AXM	LCC/Charter

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
AirAsia Philippines	PQ	APG	overige FSC
Airasia X	D7	XAX	overige FSC
Airblue	ABQ	ABQ	overige FSC
Airblue	PA	FCL	overige FSC
AirBridgeCargo	RU	ABW	overige FSC
Aircompany Khors	KO	AER	LCC/Charter
Aircompany Kokshetau	OK	KRT	overige FSC
Aircompany Polet	YQ	LCT	overige FSC
Aires	4C	ARE	oneworld
AirKenya Express	P2	XAK	overige FSC
Airline Tajmyr	Y7	TYA	overige FSC
Airlines Of Kuban	GW	KIL	overige FSC
Airlines of Papua New Guinea	CG	TOK	overige FSC
Airlines of Papua New Guinea	TOK	TOK	overige FSC
Airlines Of Tasmania	ATM	ATM	overige FSC
AirMax Cargo S.A	M8	MKN	overige FSC
Airnet Systems, Inc.	USC	USC	LCC/Charter
Airnorth Regional	TL	ANO	overige FSC
Airport Express Rail	9G	-	overige FSC
Airtran Airways	FL	TRS	LCC/Charter
Aklak Air	6L	AKK	overige FSC
Aladia Airlines	9A	EZX	overige FSC
Alajnihah AirTransport	2T	HAM	overige FSC
Alajnihah AirTransport	ANH	ANH	overige FSC
Alaska Airlines	AS	ASA	overige FSC
Alaska Seaplane Service L.L.C.	J5	-	overige FSC
Alidaunia	D4	LID	overige FSC
Alitalia - Compagnia Aerea Italiana Spa	AZ	AZA	SkyTeam
Alitalia CityLiner S.p.A.	CT	CAT	overige FSC
All Nippon Airways	NH	ANA	STAR
Allegiant Air LLC	G4	AAY	LCC/Charter
Alliance Airlines	QQ	UTY	LCC/Charter
ALMasria Universal Airlines	UJ	LMU	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Al-naser Airlines	6N	NIN	overige FSC
Aloha Air Cargo	KH	AAH	overige FSC
Alpine Air Private	AYL	AIP	overige FSC
Alpine Air Private Ltd.	N6	JEV	overige FSC
Alsa Grupo Slu	5I	-	overige FSC
Amazonas	Z8	AZN	overige FSC
Amber Air	0A	GNT	overige FSC
America West Airlines	HP	AWE	LCC/Charter
American Airlines	AA	AAL	oneworld
American Eagle	MQ	EGF	oneworld
Amsterdam Airlines	AAN	AAN	LCC/Charter
Andes Lineas Aereas	OY	ANS	LCC/Charter
Angara Airlines	2G	CRG	overige FSC
Angara Airlines	AGU	AGU	overige FSC
Anguilla Air Services	Q3	MBN	overige FSC
Ansett Australia	AN	AAA	overige FSC
Antrak Air	O4	ABV	overige FSC
Arctic Circle Air Service	5F	CIR	overige FSC
Ariana Afghan Airlines	FG	AFG	overige FSC
Arik Air	W3	FYH	overige FSC
Arik Air	ARA	ARA	overige FSC
Arkefly	OR	TFL	LCC/Charter
Arkia - Israeli Airlines	IZ	AIZ	overige FSC
Armavia	U8	RNV	overige FSC
ASERCA Airlines	R7	OCA	overige FSC
Asia Atlantic Airlines	HB	HAR	overige FSC
Asia Sahand Airlines	IRS	IRS	overige FSC
Asian Air Express	KV	MVD	overige FSC
Asian Wings Airways	YJ	AWM	LCC/Charter
Asiana Airlines	OZ	AAR	STAR
ASKY Airlines	KP	KIA	overige FSC
Astra Airlines	A2	AZI	LCC/Charter
Astraeus	5W	AEU	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Ata Airlines	I3	AMT	overige FSC
Athens Airways	ZF	ATW	overige FSC
Atlantic Air Lift	HGH	HGH	overige FSC
Atlantic Airways Faroe Islands	RC	FLI	overige FSC
Atlantis European Airways	TD	LUR	overige FSC
Atlas Air	5Y	GTI	overige FSC
Atlasjet Airlines	KK	KKK	overige FSC
Augsburg Airways	IQ	AUB	overige FSC
Auric Air Services	H8	KHB	overige FSC
Auric Air Services	AUK	AUK	overige FSC
Aurigny Air Services	GR	AUR	overige FSC
Austral	AU	AUT	SkyTeam
Austrian Airlines AG dba Austrian	OS	AUA	STAR
Austrojet	AUJ	AUJ	overige FSC
AVANZA	6V	VGA	overige FSC
Avia Traffic Company	YK	KYV	overige FSC
Aviacon Zitotrans	ZR	AZS	LCC/Charter
AVIACSA	6A	CHP	LCC/Charter
AVIACSA	CHP	CHP	LCC/Charter
Aviaexpresscruise Airlines	E6	-	overige FSC
Avianca	AV	AVA	STAR
Avianova	AO	AUZ	overige FSC
Aviaprad	WR	HRH	overige FSC
Aviateca	GU	GUG	overige FSC
Avies Air Company	U3	AIA	overige FSC
Avies Air Company	AIA	AIA	overige FSC
Avion Express	X9	NVD	overige FSC
AVIOR Airlines	9V	VPA	overige FSC
Axis Lines	O8	OHK	overige FSC
Azerbaijan Airlines	J2	AHY	overige FSC
Aztec Worldwide Airlines	AJ	NIG	overige FSC
Azul Airlines	AD	PRZ	overige FSC
BA Cityflyer	CJ	CFE	oneworld

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Badr Airlines	J4	BFL	overige FSC
Bahamasair	UP	BHS	overige FSC
Bahrain Air	BN	BNF	overige FSC
Balkan Holidays Air	BGH	BGH	LCC/Charter
Bangkok Airways	PG	BKP	overige FSC
Bankair, Inc.	B4	BCF	overige FSC
Batavia Air	BTV	BTV	overige FSC
Batavia Air	Y6	BTV	overige FSC
Batik Air	ID	BTK	overige FSC
BB Airways PVT Ltd	BO	BOU	overige FSC
Bearskin Lake Air Services LP	JV	BLS	overige FSC
Beijing Capital Airlines	JD	CBJ	overige FSC
Bek Air	Z9	BEK	overige FSC
Belair Airlines	4T	BHP	overige FSC
Belavia	B2	BRU	overige FSC
Belle Air	LZ	LBY	overige FSC
Belle Air Europe	L9	MLI	overige FSC
Bemidji Airlines	CH	BMJ	overige FSC
Bering Air	8E	BRG	overige FSC
Berjaya Air	J8	BVT	overige FSC
BH Airlines	JA	BON	overige FSC
Bhutan Airlines	B3	BLV	overige FSC
Biman Bangladesh Airlines	BG	BBC	overige FSC
Binter Canarias	NT	IBB	overige FSC
Blue Air	OB	BMS	LCC/Charter
Blue Air	JOR	BMS	LCC/Charter
Blue Dart Aviation Limited	BZ	BDA	overige FSC
Blue Islands	BCI	BCI	overige FSC
Blue Islands	SI	SIH	overige FSC
Blue Panorama Airlines	BV	BPA	overige FSC
Blue Wing Airlines	BWI	BWI	overige FSC
Blue Wings	QW	BWG	LCC/Charter
Blue1	KF	BLF	STAR

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
bmi british midland	BD	BMA	STAR
BMI Regional	BM	BMR	overige FSC
BMI Regional	A526	BMR	overige FSC
bmibaby	WW	BMI	LCC/Charter
Boliviana de Aviacion - BoA	OB	ASZ	overige FSC
Boutique Air	4B	BTQ	overige FSC
BQB Air	5Q	BQB	overige FSC
BQB Air	BQB	BQB	overige FSC
Braathens Regional AB	DC	GAO	overige FSC
Branson AirExpress	1X	-	overige FSC
Brindabella Airlines	FQ	BRI	overige FSC
British Airways	BA	BAW	oneworld
British International	BS	BIH	overige FSC
Brussels Airlines	SN	BXI	STAR
Budapest Aircraft Service Ltd.	BPS	BPS	overige FSC
Buddha Air	U4	PMT	overige FSC
Buddha Air	BHA	BHA	overige FSC
Buffalo Airways	BFL	BFL	overige FSC
Bulgaria Air	FB	LZB	overige FSC
Buraq Air	UZ	BRQ	overige FSC
Business Air Centre Co	8B	GFI	overige FSC
Business Aviation Centre	UQ	OCM	overige FSC
BVI Airways	XV	BVI	overige FSC
BVI Airways	BVI	BVI	overige FSC
CAI First	XM	SMX	SkyTeam
CAI Second	VE	AVE	LCC/Charter
Caicos Express Airways	9Q	PBA	overige FSC
Cairo Aviation	OE	AOT	overige FSC
Calm Air Intl Ltd	MO	AUH	overige FSC
Camair-Co	QC	CRD	overige FSC
Cambodia Angkor Air	K6	KHV	overige FSC
Canadian North	5T	MPE	overige FSC
CANARY FLY	PM	TOS	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Canjet Airlines	C6	CJA	LCC/Charter
Cape Air	9K	KAP	overige FSC
Cargolux Airlines International	CV	CVA	overige FSC
Carib Aviation	3Q	CYH	overige FSC
Caribbean Airlines	BW	BWA	overige FSC
Carpatair	V3	KRP	overige FSC
Caspian Airlines	RV	ROU	overige FSC
Caspian Airlines	CPN	CPN	overige FSC
Cathay Pacific Airways	CX	CPA	oneworld
Catovair	0C	IBL	overige FSC
Cayman Airways	KX	CAY	overige FSC
CDI Cargo Airlines Ltd	GJ	MXC	overige FSC
Cebu Pacific Air	5J	CEB	LCC/Charter
CEIBA Intercontinental S.A.	C2	CEL	overige FSC
Central Air Transport Services (CATS)	ZO	-	overige FSC
Central Mountain Air Ltd.	9M	GLR	overige FSC
centralwings	C0	CLW	LCC/Charter
Centre-avia Airlines	J7	CVC	overige FSC
Centurion Air Cargo	WE	CWC	overige FSC
Chalair	CE	NTW	overige FSC
Cham Wings Airlines	6Q	SLL	overige FSC
Cham Wings Airlines	SAW	SAW	overige FSC
Chanchangi Airlines	NCH	NCH	overige FSC
Charlan Air	S8	CSU	overige FSC
Chautauqua Airlines, Inc.	RP	CHQ	overige FSC
Chengdu Airlines	EU	EEA	overige FSC
China Airlines	CI	CAL	SkyTeam
China Eastern Airlines	MU	CES	SkyTeam
China Express Airlines	G5	HXA	overige FSC
China Express Airlines	HXA	HXA	overige FSC
China Postal Airlines	8Y	PBU	overige FSC
China Southern Airlines	CZ	CSN	SkyTeam
China United Airlines	CUA	CUA	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
China United Airlines	KN	CUA	overige FSC
China West Air	PN	CHB	overige FSC
Chinggis Airways	CW	CWM	overige FSC
Cimber Sterling	QI	CIM	overige FSC
Cinnamon Air	C7	CIN	overige FSC
Cirrus Airlines	C9	RUS	overige FSC
Citilink Indonesia	QG	CTV	overige FSC
City Airline	CF	SDR	overige FSC
City Airways	E8	ELG	overige FSC
City Jet	WX	BCY	overige FSC
Cityjet	VG	VLM	SkyTeam
Citywing	V9	BTC	overige FSC
CJSC East Air	EG	JAA	overige FSC
Click Airways	C4	IMX	LCC/Charter
CM Airlines	CC	ABD	overige FSC
Coastal Air Transport	CXT	TCL	overige FSC
Comair	MN	CAW	oneworld
Commercial Aviation Services, LLC	7U	LLC	LCC/Charter
Comores Aviation International	O5	KMZ	overige FSC
Compagnie Africaine d'Aviation	BU	BUN	overige FSC
Compania Aerea Viajes Guinea Airlines	G2	VXG	overige FSC
Compass Airlines, Inc.	CP	CDN	overige FSC
Condor Flugdienst	DE	CFG	LCC/Charter
Congo Express	9X	EXY	overige FSC
Contact Air	C3	IPR	overige FSC
Contactair And CO	A333	KIS	LCC/Charter
Continental Airlines	CO	COA	STAR
Conviasa	V0	VCV	overige FSC
Copa Airlines	CM	CMP	STAR
Corendon Airlines	XC	CAI	overige FSC
Corendon Airlines	CAI	CAI	LCC/Charter
Corendon DUTCH Airlines	CND	CND	LCC/Charter
Corporate Express Airlines	CPB	CPB	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Corsair	SS	CRL	LCC/Charter
Cotai Ferry Company	8C	ATN	overige FSC
Croatia Airlines	OU	CTN	STAR
CRONOSAIR	C8	ICV	overige FSC
CRONOSAIR	CRA	CRA	overige FSC
Crossair Europe	QE	ECC	overige FSC
Cubana	CU	CUB	overige FSC
Cyprus Airways	CY	CYP	overige FSC
Czech Airlines	OK	CSA	SkyTeam
Czech Connect Airlines	CQ	CCW	overige FSC
D.E.T.A. Air JSC	DI	BAG	LCC/Charter
Daallo Airlines	D3	DAO	overige FSC
Dairo Air Services	WD	DSR	overige FSC
Dana Airlines Ltd	9J	DAN	overige FSC
Danish Air Transport	DX	DTR	overige FSC
Danube Wings	V5	VLI	overige FSC
Darwin Airline	0D	DWT	overige FSC
Darwin Airline	F7	BBO	overige FSC
D-Connection	DQ	DCP	overige FSC
Delta Air Lines	DL	DAL	SkyTeam
Denim Air	3D	DNM	overige FSC
DHL Aero Expreso S.A.	D5	DAU	overige FSC
DHL de Guatemala, S.A.	L3	JOS	overige FSC
Directflight	DCT	DCT	overige FSC
DirektFlyg	HS	HSV	overige FSC
Djibouti Airlines	D8	IBK	overige FSC
Dnieproavia Joint Stock Aviation Co	Z6	UDN	overige FSC
Donavia	D9	DNV	overige FSC
Donbassaero Airlines	7D	UDC	overige FSC
Donghai Airlines	DZ	EPA	overige FSC
DOT LT	R6	DNU	overige FSC
Douniah Airlines	DH	DVA	LCC/Charter
Dragonair	KA	HDA	oneworld

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Druk Air	KB	DRK	overige FSC
Dutch Antilles Express	9H	DNL	overige FSC
Eagle Air	H7	EGU	overige FSC
Eagle Atlantic Airlines	E2	KMP	overige FSC
Eagles Airlines	E3	DMO	overige FSC
East African SAFari Air Express	B5	FLT	overige FSC
East Horizon Airlines	EA	EAL	overige FSC
Eastar Jet	ZE	AZE	overige FSC
Eastern Airways	T3	EZE	overige FSC
Eastern Skyjets	EE	EAY	overige FSC
Eastland Air	DK	ELA	overige FSC
Easyjet	U2	EZY	LCC/Charter
EasyJet Switzerland SA	DS	EZS	LCC/Charter
ECAIR	LC	LOG	overige FSC
Edelweiss Air	WK	AFB	LCC/Charter
Edelweiss Air	EDW	EDW	LCC/Charter
Egyptair	MS	MSR	STAR
El Al Israel Airlines	LY	ELY	overige FSC
Elysian Airlines	E4	RSO	overige FSC
Emirates	EK	UAE	overige FSC
Endeavor Air	9E	FLG	overige FSC
Eos Airlines	E0	ESS	overige FSC
Equaflight	E7	ESF	overige FSC
Equaflight Gabon	L8	LXG	overige FSC
ERA Aviation	7H	RVF	overige FSC
Eram Airlines	IRY	IRY	overige FSC
Eritrean Airlines	B8	ERT	overige FSC
Estonian Air	OV	ELL	overige FSC
Ethiopian Airlines	ET	ETH	STAR
Etihad Airways	EY	ETD	overige FSC
Euro Asia Air Intl	1M	EAK	overige FSC
Euro-Asia Air	6Z	UKS	overige FSC
Euro-Asia Air International	5B	KZE	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Euroatlantic Airways	YU	ADM	LCC/Charter
Euroatlantic Airways	MMZ	MMZ	LCC/Charter
Eurocypria Airlines	UI	ECA	overige FSC
Eurolot	K2	ELO	overige FSC
Europe Airpost	5O	FPO	overige FSC
Eurowings	EW	EWG	STAR
EVA Airways	BR	EVA	STAR
Everts Air	5V	UKW	overige FSC
EWA Air	ZD	EWR	overige FSC
Exec Direct Aviation	XO	CXH	overige FSC
ExecAir	X7	CHF	overige FSC
Express Air	WEW	FXA	overige FSC
ExpressJet Airlines, Inc.	XE	BTA	overige FSC
Eznis Airways	EF	EFA	overige FSC
Eznis Airways	EZA	EZA	overige FSC
Eznis Airways	O7	OZJ	LCC/Charter
Falcon Express	FC	WBA	overige FSC
Far Eastern Air Transport	FE	WCP	overige FSC
Faraz Qeshm Airline	QB	AAJ	overige FSC
Farnair Switzerland AG	FT	SRH	overige FSC
FaroeJet	F6	RCK	overige FSC
Fastjet Tanzania Ltd	FN	RGL	overige FSC
Federal Airlines (Pty) Ltd	7V	FDR	overige FSC
Felix Airways	FO	ATM	overige FSC
Fiji Airways	FJ	FJI	overige FSC
Finnair	AY	FIN	oneworld
Firefly	FY	FFM	overige FSC
First Air	7F	FAB	overige FSC
First Choice Airways	FCA	FCA	LCC/Charter
First Choice Airways	DP	FCA	LCC/Charter
First Nation Airways	FRN	FRN	overige FSC
Five Forty Aviation	5H	FFV	overige FSC
Flexflight Aps	W2	CWA	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Flight Alaska	4Y	AIB	overige FSC
Florida Coastal Airlines, Inc.	FCL	FCL	overige FSC
Fly 540 Ghana	5G	SSV	overige FSC
Fly Excellent AB	F3	FSW	overige FSC
Fly Georgia	9Y	FGE	overige FSC
Fly Jamaica	OJ	FJM	overige FSC
Fly Yeti	0Y	-	overige FSC
Fly540 S.A	F5	COZ	overige FSC
Flybe	BE	BEE	overige FSC
FlyCongo	EO	LHN	overige FSC
Flydubai	FZ	FDB	LCC/Charter
flyglobespan	Y2	AFJ	LCC/Charter
FlyMe	VP	VSP	overige FSC
FlyMontserrat	5M	MNT	overige FSC
Freedom Air	FP	FRE	overige FSC
Freedom Air (NZ)	FOM	FOM	LCC/Charter
Freedom Airways	3W	EMX	overige FSC
Fresh Air	Z7	FRR	overige FSC
FreshAer	FA	SFR	overige FSC
Frontier Airlines Inc.	F9	FFT	LCC/Charter
Frontier Flying Service	2F	FTA	overige FSC
Fuji Dream Airlines	JH	NES	overige FSC
Futura International Airways	FH	FHY	LCC/Charter
Gambia Bird Airlines Ltd.	3G	AYZ	overige FSC
Garuda Indonesia	GA	GIA	overige FSC
Gazpromavia	4G	GZP	overige FSC
Georgian Airways	A9	TGZ	overige FSC
Georgian International Airlines	4L	GNN	overige FSC
Germania	ST	GMI	overige FSC
Germania Fluggesellschaft	GMI	GMI	overige FSC
germanwings	4U	GWI	LCC/Charter
Ghadames Air Transport	G6	BSR	overige FSC
Ghadames Air Transport	0G	GHT	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Ghana International	G0	GHB	overige FSC
GIRjet	8G	GJT	LCC/Charter
Global Aviation	GBB	GBB	overige FSC
Global Feeder Services	GC	GNR	overige FSC
Globus LLC	GH	GLP	oneworld
GMG Airlines	Z5	GMG	overige FSC
Go Air	G8	AGB	LCC/Charter
Go Air	GOW	GOW	LCC/Charter
GoJet Airlines	G7	GNF	overige FSC
Golden Myanmar Airlines	Y5	GMR	overige FSC
Grand China Air	CN	GDC	overige FSC
Grant Aviation, Inc.	GV	ARF	overige FSC
Great Lakes Airlines	ZK	GLA	overige FSC
Great Wall Airlines	IJ	GWL	overige FSC
Gromov Air	3R	GAI	overige FSC
Gromov Air	GAI	GAI	overige FSC
Gryphon Airlines	6P	ISG	overige FSC
Gulf Air	GF	GBA	overige FSC
Hageland Aviation Services Inc	H6	HAG	overige FSC
Hahn Air	HR	HHN	overige FSC
Hainan Airlines	HU	CHH	overige FSC
Halcyonair Cabo Verde Airways S.A.	7Z	HCV	overige FSC
Hamburg Airways	HK	FSC	overige FSC
Hamburg International	4R	HHI	overige FSC
Happy Air	HPY	HPY	overige FSC
Hawaiian Airlines	HA	HAL	overige FSC
Hawkair	BH	BHA	overige FSC
Hebei Airlines	NS	HBH	overige FSC
Hebridean Air Services	HBR	HBR	overige FSC
Heli Air Monaco	YO	MCM	overige FSC
Heli Securite	H4	HLI	overige FSC
Helijet International Inc	JB	JBA	overige FSC
Helitrans AS	9I	LLR	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Helitt Lineas Aereas	H9	HAD	LCC/Charter
Hellenic Imperial Airways	HT	AHW	overige FSC
Hello	FHE	FHE	LCC/Charter
Helvetic Airways	2L	OAW	LCC/Charter
Hermes Airlines	H3	HRM	overige FSC
Hex'Air	UD	HER	overige FSC
Hi Fly Transportes Aereos	5K	HFY	overige FSC
Highland Airways	8H	BGH	overige FSC
Hokkaido International Airlines	HD	HLN	LCC/Charter
Hola Airlines	H5	HOA	LCC/Charter
Holidays Czech Airlines	HC	ATI	overige FSC
Hong Kong Airlines	HX	CRK	overige FSC
Hong Kong Express Airways	UO	HKE	overige FSC
HOP!	A5	RLA	overige FSC
HOP! Brit Air	DB	BZH	overige FSC
HOP! Regional	YS	RAE	overige FSC
Iberia	IB	IBE	oneworld
Iberia Express	I2	IBS	oneworld
IBEX Airlines	FW	IBX	overige FSC
Icaro	X8	ICA	overige FSC
Icaro	ICD	ICA	overige FSC
Icelandair	FI	ICE	overige FSC
Iliamna Air Taxi	V8	VAS	overige FSC
INAER Helicopteros S.A.U.	UV	-	overige FSC
Indian Airlines	IC	IAC	overige FSC
IndiGo Air	6E	IGO	LCC/Charter
Indonesia AirAsia	QZ	AWQ	LCC/Charter
Insel Air	7I	INC	overige FSC
Insel Air Aruba	8I	INC	LCC/Charter
Inter Air	D6	ILN	overige FSC
Interjet	4O	AIJ	LCC/Charter
Intersky	3L	ISK	LCC/Charter
InvestAvia	IN	MAK	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
IrAero	IO	IAA	overige FSC
Iran Air	IR	IRA	overige FSC
Iran Air Tours	B9	BGD	overige FSC
Iran Aseman Airlines	EP	IRC	overige FSC
Iranian Naft Airlines	NV	CRF	overige FSC
Iraqi Airways	IA	IAW	overige FSC
Iraqi Airways	IAW	IAW	overige FSC
Irtysh-Air	IH	MZA	overige FSC
Irtysh-Air	MZA	MZA	overige FSC
Island Air	WP	ISI	overige FSC
Island Air Service	2O	RNE	overige FSC
Island Airlines, Inc.	IS	ISA	overige FSC
Islas Airways	IF	ISW	overige FSC
Islena Airlines	WC	ISV	overige FSC
Isles Of Scilly Skybus	IOS	IOS	overige FSC
Israir	6H	ISR	overige FSC
ItAli Airlines	ACL	ACL	overige FSC
Itek Air	GI	IKA	overige FSC
IzAir	4I	IZM	overige FSC
Izhavia	I8	IZA	overige FSC
Izhavia	IZA	IZA	overige FSC
Jade Cargo International	JI	JAE	overige FSC
Jal Express	JC	JEX	oneworld
Jalways	JO	JAZ	overige FSC
Jamaica Air Shuttle	J6	AOC	overige FSC
Japan Airlines	JL	JAL	oneworld
Japan Transocean Air	NU	JTA	oneworld
Jazeera Airways	J9	GIF	LCC/Charter
Jeju Airlines	7C	COY	LCC/Charter
Jet Air	O2	JEA	overige FSC
Jet Airways (india) Ltd	9W	JAI	overige FSC
Jet Airways Inc.	QJ	-	overige FSC
Jet Lite	S2	RSH	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Jet2.com	LS	EXS	overige FSC
Jet4you	8J	KMV	LCC/Charter
Jetairfly	TB	JAF	overige FSC
Jetairfly	JAF	JAF	LCC/Charter
JetBlue Airways Corporation	B6	JBU	LCC/Charter
JetGo Australia	JG	JGO	LCC/Charter
Jetlink Express	J0	JLX	overige FSC
Jetstar Airways	JQ	JST	LCC/Charter
Jetstar Asia	3K	JSA	LCC/Charter
Jetstar Japan	GK	JJP	overige FSC
Jetstar Pacific Airlines	BL	PIC	LCC/Charter
Jetstar Pacific Airlines	PIC	PIC	LCC/Charter
Jett8 Airlines Cargo	JX	JEC	overige FSC
JetX	GX	GBC	LCC/Charter
Jin Air	LJ	SLA	overige FSC
Job Air - Central Connect Airlines	3B	JBR	overige FSC
Joint Stock Aviation Company RusLine	7R	BRB	overige FSC
Jordan Aviation	R5	JAV	overige FSC
Joy Air	JR	SER	overige FSC
Jubba Airways	6J	JUB	overige FSC
Jubba Airways Ltd	3J	AAQ	LCC/Charter
Juneyao Airlines	HO	DJA	overige FSC
Kabo Air	N9	QNK	overige FSC
Kalitta Air	K4	CKS	overige FSC
Kalstar Aviation	KD	AEN	overige FSC
Kalstar Aviation	KLS	KLS	overige FSC
Kam Air	RQ	KMF	overige FSC
Kan Air	K8	ZAK	overige FSC
Karthago Airlines	5R	KAJ	overige FSC
Kartika Airlines	KAE	KAE	overige FSC
Katmai Air LLC	KT	-	overige FSC
Kaya Airlines	IK	KAR	overige FSC
Kenmore Air	M5	KEN	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Kenn Borek Air	4K	KBA	overige FSC
Kenya Airways	KQ	KQA	SkyTeam
Kibris Turkish Airlines	KYV	KYV	overige FSC
Kingfisher Airlines	IT	KFR	overige FSC
Kish Air	Y9	IRK	overige FSC
KLM Cityhopper	WA	KLC	overige FSC
KLM Cityhopper	A192	KLC	SkyTeam
KLM uk	UK	KLM	overige FSC
KLM-Royal Dutch Airlines	KL	KLM	SkyTeam
K-Mile Air Co	8K	KMI	overige FSC
Kogalymavia	7K	KGL	overige FSC
Komiinteravia	KMV	KMV	overige FSC
Korean Air	KE	KAL	SkyTeam
Korong Airlines	ZC	KGO	overige FSC
Kun Peng Airlines	VD	LIB	overige FSC
Kunming Airlines	KY	EQL	overige FSC
Kuwait Airways	KU	KAC	overige FSC
Kuzu Airlines Cargo	GO	KZU	overige FSC
Kyrgyz Airlines	LK	LXR	overige FSC
Kyrgyz Airways	EAA	KGA	overige FSC
Kyrgyzstan	QH	LYN	overige FSC
Kyrgyzstan	LYN	LYN	overige FSC
Kyrgyzstan Airlines	R8	KGA	overige FSC
KyrgyzTransAvia	6K	RIT	overige FSC
L.A.B Flying Services	JF	JAA	overige FSC
LAC Linea Aerea Cuencana	L5	LAC	overige FSC
LACSA-Lineas Aereas Costarricenses	LR	LRC	overige FSC
LAM-Linhas Aereas De Mocambique	TM	LAM	overige FSC
Lan Airlines	LA	LAN	oneworld
Lan Peru	LP	LPE	oneworld
LanArgentina	4M	DSM	oneworld
LanEcuador	XL	LNE	oneworld
LanExpress	LU	LXP	oneworld

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Lao Airlines	QV	LAO	overige FSC
Lao Central Airlines	LF	NDC	LCC/Charter
Laparkan Airways	LE	-	overige FSC
LASER Airlines	QL	RLN	overige FSC
Lauda Air	NG	LDA	LCC/Charter
L'avion	A0	MCJ	overige FSC
Lc Busre	W4	BES	overige FSC
Liaison	6O	-	overige FSC
LIAT (1974)	LI	LIA	overige FSC
Libyan Airlines	LN	LAA	overige FSC
Lignes Aeriennes Congolaises	4V	LCG	overige FSC
Linea Aerea Carguera de Colombia S.A.	L7	LPN	overige FSC
Lineas Aereas Allegro, S.A. de C.V.	LL	GRO	overige FSC
Lineas Aereas del Estado	LDE	LDE	overige FSC
Lion Air	JT	LNI	LCC/Charter
Livingston	LVG	LVG	LCC/Charter
Livingston Air	JN	XLA	overige FSC
Lloyd Aereo Boliviano	LB	LLB	overige FSC
Loganair	LOG	LOG	overige FSC
Loganair	LM	LVG	LCC/Charter
LOT - Polish Airlines	LO	LOT	STAR
Lucky Air Co. Ltd.	8L	CGP	overige FSC
Lucky Air Co. Ltd.	LKE	LKE	overige FSC
Luftfahrt Gesellschaft Walter	HE	LGW	overige FSC
Lufthansa Cityline GMBH	CL	CLH	STAR
Lufthansa German Airlines	LH	DLH	STAR
Luxair	LG	LGL	overige FSC
Lydd Air	LYD	LYD	LCC/Charter
LynxAir International	LXF	LXF	overige FSC
Macair Jet	VM	VOA	overige FSC
Madina Air	3Y	MDH	overige FSC
Mahan Air	W5	IRM	overige FSC
Mahfooz Aviation (gambia) Ltd	M2	MZS	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Malaysia Airlines	MH	MWG	oneworld
Maldivian	Q2	DQA	overige FSC
MALEV Hungarian Airlines	MA	MAH	overige FSC
Malindo Airways	OD	MXD	overige FSC
Malmo Aviation	TF	SCW	overige FSC
Mandala Airlines	MDL	MDL	overige FSC
Mandarin Airlines	AE	AE	SkyTeam
Mango	JE	MNO	LCC/Charter
Manx2	NM	DRD	overige FSC
MapJet	AQ	AAH	overige FSC
Marsland Aviation	M7	MAA	overige FSC
Martinair Holland	MP	MPH	LCC/Charter
Master Airways	MSW	MSW	overige FSC
MAT Airways	6F	MKD	overige FSC
Mauritania Airways	YD	CAT	overige FSC
Mauritanian Airlines International	L6	VNZ	overige FSC
Mauritanian Airlines International	MAI	MAI	overige FSC
Max Air	NR	PIR	overige FSC
Maya Island Air	MY	MXJ	overige FSC
Mayair, S.A. de C.V.	7M	MYI	overige FSC
MED Airways	7Y	MED	overige FSC
MeeladAir S.A.	MLW	MRL	overige FSC
Mega Global Air Services (Maldives)	LV	LBC	overige FSC
menaJet	IM	MNJ	LCC/Charter
Mercury World Cargo	4X	-	overige FSC
Meridiana fly S.p.A.	IG	ISS	overige FSC
Merpati Nusantara Airlines	MNA	MNA	overige FSC
Mesa Airlines	YV	ASH	overige FSC
Mesaba Airlines	XJ	MES	overige FSC
Mexicana de Aviacion	MX	MXA	overige FSC
MIAT - Mongolian Airlines	OM	MGL	overige FSC
Middle East Airlines	ME	MEA	SkyTeam
Midex Airlines	MG	CCP	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Mihin Lanka	MJ	LPR	LCC/Charter
Mokulele Airlines	MW	MYD	overige FSC
Moldavian Airlines	2M	MDV	overige FSC
Monarch Airlines	ZB	BUB	LCC/Charter
Monarch Charter	MON	MON	LCC/Charter
Mongolian Airlines Group	MR	MRT	overige FSC
Montenegro Airlines	YM	MGX	overige FSC
Moscow Airlines	7B	KJC	overige FSC
Motor Sich PJSC	M9	MSI	overige FSC
Multi-Aero, Inc. D/b/A Air Choice One	3E	WBR	overige FSC
Myanma Airways	UB	UBA	overige FSC
Myanmar Airways International	8M	MXL	overige FSC
Mytravel Airways	MYT	MYT	overige FSC
NAS Air - National Air Service	KNE	KNE	LCC/Charter
NAS AIR - National Air Services	XY	-	overige FSC
Nasair	UE	NAS	overige FSC
National Airlines	N8	HGK	overige FSC
National Airways	7N	PWD	overige FSC
National Airways Cameroon	9O	-	overige FSC
NatureAir	5C	ICL	overige FSC
NAYSA	ZN	NAY	overige FSC
Nepal Airlines Corporation	RA	RNA	overige FSC
New England Airlines	EJ	NEA	overige FSC
Nextjet	2N	NTJ	overige FSC
NHT Linhas Aereas	N7	ROK	overige FSC
NHT Linhas Aereas	NHG	NHG	overige FSC
NIKI	HG	NLY	oneworld
Nile Air	NP	NIA	overige FSC
Nok Air	DD	DDL	LCC/Charter
Nok mini	5E	SGN	overige FSC
Nordavia - Regional Airlines	5N	AUL	overige FSC
Norfolk Air	N5	KGZ	overige FSC
North American Airlines	NA	NAL	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Northern Air Cargo, Inc.	NC	NJS	overige FSC
Northwest Airlines	NW	NWA	SkyTeam
Northwestern Air Lease Ltd.	J3	PLR	overige FSC
North-Wright Airways Ltd.	HW	FHE	overige FSC
Norwegian Air Shuttle	DY	NAX	LCC/Charter
Norwegian Long Haul A/S	DU	NLH	overige FSC
Nouvelair	BJ	LBT	overige FSC
Nova Airways	O9	NOV	overige FSC
NovoAir	VQ	NVQ	overige FSC
Nuovo Trasporto Viaggiatori	2Q	SNC	overige FSC
OceanAir	O6	ONE	overige FSC
OJSC AK BARS AERO	2B	ARD	overige FSC
OJSC AK BARS AERO	BGM	BGM	overige FSC
Okapi Airlines	OI	OKP	overige FSC
Okay Airways	BK	PDC	overige FSC
OLT Express Germany GmbH	OL	OLT	overige FSC
Olympic Air	OA	OAL	overige FSC
Olympic Airlines	OP	CHK	overige FSC
Oman Air	WY	OMA	overige FSC
Onur Air	8Q	OHY	overige FSC
Openskies	EC	TWN	oneworld
Orbest	IP	JOL	overige FSC
Orenair	R2	ORB	overige FSC
Orient Thai Airlines	OX	OEA	overige FSC
Oriental Air Bridge Co., Ltd. (ORC)	OC	ORC	overige FSC
Our Airline	ON	RON	overige FSC
Pacific Airways Inc	3F	FJI	overige FSC
Pacific Coastal Airlines Limited	8P	PCO	overige FSC
Pacific Royale Airways	ROY	PRQ	overige FSC
Pacific Wings	LW	NMI	overige FSC
Pakistan International Airlines	PK	PIA	overige FSC
PAL Express	2P	GAP	LCC/Charter
Palau Airways	P7	REP	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Palau Asia Pacific Air	OP	-	overige FSC
Palmailr	EAF	EAF	overige FSC
Pan Am Clipper Connection	E9	CXS	overige FSC
Panama Airways, Inc	8A	BMM	LCC/Charter
Pantanal Linhas Aereas	GP	RIV	overige FSC
Papillon Airways	HI	-	overige FSC
Paradise Air	RN	-	LCC/Charter
Paramount Airways	I7	PMW	LCC/Charter
Pascan Aviation Inc.	P6	PVG	overige FSC
Passaredo	P3	PTB	overige FSC
Passaredo Transportes Aereos	PTB	PTB	overige FSC
Peach Aviation Limited	MM	MMZ	overige FSC
Pegasus Airlines	PC	PGT	LCC/Charter
Penair	KS	PEN	overige FSC
Peoples Vienna Line	PE	AEL	overige FSC
Peoples Vienna Line	PEV	PEV	overige FSC
Perm Airlines	PGP	PGP	overige FSC
Peruvian Airlines	P9	PVN	overige FSC
Petra Airline	9P	PTR	overige FSC
Philippine Airlines	PR	PAL	overige FSC
Piedmont Southern Airways	PDT	PDT	STAR
Pineapple Air	PNP	PNP	overige FSC
Pison Airways	3I	-	overige FSC
Pluna	PU	PUA	overige FSC
PM Air LLC	Z3	SMJ	overige FSC
Polar Airlines Ltd	PI	PDT	overige FSC
Polynesian Airlines	PAO	PAO	overige FSC
Porter Airlines Inc.	PD	POE	overige FSC
Portugalia	NI	PGA	STAR
Precisionair	PW	PRF	overige FSC
Premier Trans Aire	3X	JAC	overige FSC
Primera Air Scandinavia	PF	PNW	overige FSC
Privatair SA	A444	PTI	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Private JSC Aerosvit Airlines	VV	AEW	overige FSC
Private Wings	8W	PWF	overige FSC
Proflight Commuter Services	P0	PFZ	overige FSC
Provincial Airlines	PB	SPR	overige FSC
PT Aviastar Mandiri	MV	RML	overige FSC
PT Pacific Royale Airlines	RY	PRQ	overige FSC
PT Trigana Air	TGN	TGN	overige FSC
PT Trigana Air	IL	TGN	LCC/Charter
PublicCharters.com	P1	-	LCC/Charter
Pullmantur Air	EB	PLM	overige FSC
Puma Air	Z4	OOM	LCC/Charter
Qantas Airways	QF	EAQ	oneworld
Qatar Airways	QR	QTR	overige FSC
Quebecair Express	Q0	-	overige FSC
RAK Airways	RT	RKM	overige FSC
Regent Airways	RX	AEH	overige FSC
Regional Air (KE)	RM	REG	overige FSC
Regional Air Services	8N	NKF	overige FSC
Regional Express	ZL	RXA	overige FSC
Region-Avia	RK	RCT	overige FSC
RegionsAir	3C	CMV	overige FSC
Republic Airline	RW	RPA	overige FSC
Republic Airline Inc	YX	MEP	overige FSC
Riau Air	RIU	RIU	overige FSC
Robin Hood Aviation	RH	HKC	overige FSC
Romavia	WQ	RMV	overige FSC
Rossiya Airlines	FV	PLK	overige FSC
Rotanajet Aviation	RG	VRN	overige FSC
Royal Air Force	RR	RFR	overige FSC
Royal Air Maroc	AT	RAM	overige FSC
Royal Airlines	R0	RPK	overige FSC
Royal Bengal Airline	4A	AKL	overige FSC
Royal Brunei Airlines	BI	RBA	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Royal Falcon	RL	RIO	overige FSC
Royal Jordanian	RJ	RJA	oneworld
Ruili Airlines	DR	RLH	overige FSC
Rus Aviation	R4	-	overige FSC
Rwandair Express	WB	RWD	overige FSC
Ryan Air	7S	RCT	overige FSC
Ryan International Airlines	RD	RYN	overige FSC
Ryanair	FR	RYR	LCC/Charter
S7 Airlines	S7	SBI	overige FSC
Saereo S.A	MZ	MNA	overige FSC
SafariLink	F2	FLM	overige FSC
SAFi Airways	4Q	SFW	overige FSC
Saint Barth Commuter	PV	PNR	overige FSC
Sakhalinskie Aviatrassy	HZ	SHU	overige FSC
SALSA d'Haiti	SO	HKA	overige FSC
SANSA Airlines	RZ	LRS	overige FSC
Santa Barbara Airlines C.A.	S3	BBR	overige FSC
Saratov Airlines	6W	SOV	overige FSC
SAS Scandinavian Airlines	SK	SAS	STAR
SATA Air Acores	SP	SAT	overige FSC
Sata International	S4	RZO	overige FSC
SATENA	9R	VAP	overige FSC
Saudi Arabian Airlines	SV	SVA	SkyTeam
Sayakhat Air Company	W7	SAH	LCC/Charter
Scenic Airlines	YR	SCE	overige FSC
Scoot	OQ	TGW	overige FSC
Scoot	TZ	TWG	LCC/Charter
Scott Air LLC	I4	FWA	overige FSC
Seaborne Airlines	BB	SBS	overige FSC
Seawings	OPS	-	LCC/Charter
Senegal Airlines	DN	SGG	overige FSC
Servant Air, Inc.	8D	EXV	overige FSC
Sevenair	UG	SEN	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Severstal Aircompany	D2	SSF	overige FSC
SF Airlines	O3	CSS	overige FSC
Shaheen Air International	NL	SAI	overige FSC
Shandong Airlines	SC	CDG	overige FSC
Shanghai Airlines	FM	CSH	SkyTeam
Sharp Airlines	SH	FLY	overige FSC
Shenzhen Airlines	ZH	CSZ	STAR
Shuttle America	S5	TCF	overige FSC
Sichuan Airlines	3U	CSC	overige FSC
Silk Way Airlines	ZP	AZP	overige FSC
SilkAir	MI	SLK	overige FSC
Silver Airways Corp	3M	SIL	overige FSC
Singapore Airlines	SQ	SIA	STAR
Sky Airline	H2	SKU	overige FSC
Sky Airlines	ZY	SHY	overige FSC
Sky Bishkek	GY	BIS	overige FSC
Sky Express	XW	NCT	LCC/Charter
Sky Express S.A.	GQ	BSY	LCC/Charter
Sky Jet M.G. Inc	Q9	AFU	overige FSC
Sky Lease Cargo	GG	GUY	overige FSC
Sky Regional Airlines	RS	ICT	overige FSC
Sky Wings Airlines	ND	GSW	overige FSC
Sky Work Airlines	SX	SRK	LCC/Charter
Skybahamas	Q7	SBM	overige FSC
SkyEurope	NE	ESK	LCC/Charter
Skyjet Aviation Uganda Ltd	SJA	SJU	overige FSC
Skymark Airlines	BC	SKY	LCC/Charter
Skynet Asia Awys	LQ	LAQ	overige FSC
SkySouth	SDL	SDL	overige FSC
Skystar Airways	XT	AXL	overige FSC
SkyTaxi	TE	LIL	overige FSC
Skytrans	Q6	CDP	overige FSC
Skyway Airlines dba Midwest Connect	AL	SYX	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Skyways	JZ	SKX	overige FSC
Skywest Airlines	XR	SKW	overige FSC
Skywings Asia Airlines	ZA	CYD	overige FSC
Slok Air International	S0	OKS	overige FSC
Small Planet airlines		LLX	overige FSC
Smart Aviation Company	M4	MSA	overige FSC
Smartlynx Airlines Ltd	6Y	ART	overige FSC
SmartWings	QS	QSC	overige FSC
Smokey Bay Air	2E	-	overige FSC
Sol Air	ZS	AZI	LCC/Charter
Sol Lineas Aereas	8R	OLS	overige FSC
Sol Lineas Aereas	OLS	OLS	overige FSC
Sol Linhas Aereas Ltda	SBA	SBA	overige FSC
Solar Cargo	4S	FNC	overige FSC
Solomon Airlines	IE	SOL	overige FSC
Somon Air	SZ	WOW	overige FSC
Somon Air	4J	SMR	overige FSC
Sonicblue Airways	VL	VIM	overige FSC
South African Airways	SA	SAA	STAR
South African Express Airways	XZ	EXY	STAR
South Airlines	YG	OTL	overige FSC
Southern Air Charter	PL	PLI	overige FSC
Southern Star Airlines	4P	-	LCC/Charter
Southwest Airlines	WN	SWA	LCC/Charter
Spanair	JK	JKK	overige FSC
SpiceJet	SG	JGO	LCC/Charter
SpiceJet	0S	SEI	LCC/Charter
Spirit Airlines	NK	NKS	LCC/Charter
Spirit of Manila Airlines	SM	AAW	overige FSC
Spring Airlines	9C	CQH	LCC/Charter
Srilankan Airlines	UL	ALK	overige FSC
Sriwijaya Air	SJ	FOM	overige FSC
Star Air Aviation	6S	URJ	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Star Aviation	SVP	STA	overige FSC
Star Flyer	7G	SFJ	LCC/Charter
Star Peru	2I	SRU	overige FSC
Starbow Airlines	S9	HSA	overige FSC
Starlight Airlines	QP	SLT	overige FSC
Starlink Aviation	Q4	TLK	overige FSC
Sterling	NB	SNB	LCC/Charter
Sterling Blue	DM	SNB	LCC/Charter
STP Airways	8F	FFR	overige FSC
STP Airways	STP	STP	overige FSC
Strategic Airlines Pty Ltd	VC	VCX	overige FSC
Sudan Airways	SD	SUD	overige FSC
Sun Air	S6	SRR	overige FSC
Sun Air International	6G	AWW	overige FSC
Sun Air Of Scandinavia	EZ	EIA	oneworld
Sun Country Airlines	SY	SCX	LCC/Charter
Sun d'Or International Airlines	2U	GIP	overige FSC
SunExpress	XQ	SXS	overige FSC
SunExpress Deutschland GmbH	XG	CLI	LCC/Charter
Sunny Airways	2S	SDY	overige FSC
Sunny Airways	SUW	SUW	LCC/Charter
Sunwing Airlines Inc.	WG	SWG	overige FSC
Surinam Airways	PY	SLM	overige FSC
SWISS European Air	A535	SWU	STAR
Swiss/Crossair	LX	CRX	STAR
Swissair	SR	SWR	overige FSC
Sylt Air	7E	AWU	overige FSC
Syphax Airlines	FS	ACL	overige FSC
Syrian Arab Airlines	RB	SBK	overige FSC
TAAG Angola Airlines	DT	DTA	overige FSC
Taban Air	HH	TBM	overige FSC
TACA International Airlines	TA	TAI	STAR
TACV Cabo Verde Airlines	VR	TCV	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Tailwind Airlines	TI	TOL	LCC/Charter
Tailwind Airlines	TWI	TWI	LCC/Charter
Tajikistan Airlines	7J	TJK	overige FSC
TAM Linhas Aereas	JJ	AGX	STAR
TAME Linea Aerea Del Ecuador	EQ	TAE	overige FSC
Tampa Airlines Cargo	QT	TPA	overige FSC
Tanana Air Service	4E	TNR	overige FSC
Tandem Aero	TQ	TDM	overige FSC
TAP Portugal	TP	TAP	STAR
Taquan Air Services	K3	TQN	overige FSC
Tarom	RO	ROT	SkyTeam
Tasman Cargo Airlines Pty Ltd	HJ	AXF	overige FSC
Tassili Airlines	SF	DTH	overige FSC
Tatarstan	U9	TAK	overige FSC
Tbilaviamsheni	VNZ	VNZ	overige FSC
Thai AirAsia	FD	AIQ	LCC/Charter
Thai Airways International	TG	THA	STAR
Thai Lion Air	SL	RSL	overige FSC
Thomas Cook Airlines	TCX	TCW	LCC/Charter
Thomas Cook Airlines Belgium N.V	HQ	HMY	overige FSC
Thomas Cook Airlines of Manchester	MT	JMC	overige FSC
Thomson Airways	TOM	TOM	LCC/Charter
TianJin Airlines	GS	UPA	overige FSC
Tiara Air Aruba	3P	TNM	overige FSC
Tibet Airlines	TV	VEX	LCC/Charter
Tiger Airways	TR	TGW	LCC/Charter
Tiger Airways Australia	TT	KLA	LCC/Charter
Tigerair Mandala	RI	MDL	overige FSC
Tigerair Philippines	DG	SRQ	overige FSC
Titan Airways	ZT	AWC	overige FSC
TonleSap Airlines	K9	KFS	overige FSC
Toumai Air Tchad	9D	THE	overige FSC
Tradewind Aviation	TJ	GPD	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Trans African Airlines	T8	-	overige FSC
Trans Air Benin	N4	MTC	overige FSC
Trans Air Congo	Q8	PEC	overige FSC
Trans Am Aero Exp. Del Ecuador Cia.ltda	7T	AGV	overige FSC
Trans American Airlines dba TACA Peru	T0	TPU	overige FSC
Trans Caribbean Air	CB	BWA	overige FSC
Trans Mediterranean Airways	N2	DAG	overige FSC
Trans Mediterranean Airways	T2	TCG	overige FSC
Trans States Airlines	AX	LOF	overige FSC
Transaero Airlines	UN	TSO	overige FSC
Transasia Airways	GE	TNA	overige FSC
transavia Denmark	PH	PAO	LCC/Charter
Transavia.com	HV	TRA	LCC/Charter
Transavia.com France	TO	TVF	LCC/Charter
Transcarga Intl Airways	T9	TRZ	LCC/Charter
Transmile Air	TH	TSE	overige FSC
Transportes Aereo Guatemaltecos	5U	TGU	overige FSC
Transportes Aereos Del Mercosur	PZ	LAP	overige FSC
Transportes Aeromar S.A. De C.V.	VW	TAO	overige FSC
Trast Aero	TSJ	TSJ	overige FSC
Travel Service	QS	TVS	overige FSC
Travel Service Hungary	7O	GAL	overige FSC
Travel Service Polska	3Z	TVP	overige FSC
Travel Service Slovakia	6D	TVQ	overige FSC
Tri MG Airlines	GM	SVK	overige FSC
TRIP Linhas Aereas	T4	TIB	overige FSC
Tropic Air	9N	TOS	overige FSC
TTA	2Z	CGN	overige FSC
TUIfly	X3	HLX	LCC/Charter
Tunisair	TU	TAR	overige FSC
Turan Air	3T	URN	overige FSC
TurboJET	8S	-	overige FSC
Turkish Airlines	TK	THY	STAR

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Turkmenistan Airlines	T5	TUA	overige FSC
Turks Air	6T	THY	overige FSC
T'way Air	TW	TWB	overige FSC
Twin Jet	T7	TJT	overige FSC
Tyrolean Airways	VO	TYR	STAR
Ukraine International Airlines	PS	AUI	overige FSC
Ukrainian-mediterranean Airlines	UF	UKM	overige FSC
Ulendo Airlink	7Q	-	overige FSC
Ulendo Airlink	NYS	-	overige FSC
Uni Airways	B7	UIA	overige FSC
United Airlines	UA	UAL	STAR
United Airways Bangladesh	4H	UBD	overige FSC
Uni-top Airlines	UW	UTP	overige FSC
Ural Airlines	U6	SVR	overige FSC
US Airways	US	AWE	STAR
US Helicopter	UH	USH	overige FSC
Usa 3000 Airlines	U5	GWY	overige FSC
UTair Aviation	UT	UTA	overige FSC
UTair-Express	UR	UTX	overige FSC
Utair-ukraine	QU	UTN	overige FSC
Uzbekistan Airways	HY	UZB	overige FSC
Valuair	VF	VLU	LCC/Charter
Vanguard Airlines	NJ	VGD	LCC/Charter
Vanilla Air	JW	APW	overige FSC
VARIG-gol Airlines/vrg Linhas Aereas Sa	G3	CIX	LCC/Charter
Varsity Express	LNQ	-	overige FSC
Velvet Sky	VZ	MYT	LCC/Charter
Vieques Air Link	V4	REK	overige FSC
Vieques Air Link	VES	VES	overige FSC
VietJet Air	VJ	AFF	overige FSC
VietJet Air	VJC	VJC	LCC/Charter
Vietnam Air Service Company	OV	VFC	overige FSC
Vietnam Airlines	VN	HVN	SkyTeam

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
VIM Airlines	NN	MOV	overige FSC
Vincent Aviation	BF	RSR	LCC/Charter
VIP S.A.	V6	-	overige FSC
Virgin America	VX	AES	LCC/Charter
Virgin Atlantic Airways	VS	VIR	overige FSC
Virgin Australia Airlines	DJ	WAJ	LCC/Charter
Virgin Australia International	VA	OZW	overige FSC
Vision Airlines	V2	AKT	overige FSC
Viva Macau	ZG	VVM	LCC/Charter
Vivaaerobus	VB	VIV	overige FSC
Vladivostok Air	XF	VLK	overige FSC
Volaris	Y4	VOI	LCC/Charter
Volga-Aviaexpress	WLG	WLG	overige FSC
Volga-Dnepr Airlines	VDA	VDA	overige FSC
Volga-Dnepr Airlines	VI	VDA	overige FSC
Volotea	V7	SNG	overige FSC
Vueling Airlines	VY	VLG	LCC/Charter
Warbelow's Air Ventures Inc.	4W	WAV	overige FSC
Wasaya Airways LP	WT	WSG	overige FSC
Wataniya Airways	KW	KHK	overige FSC
Webjet	WEB	-	overige FSC
Welcome Air	2W	WLC	overige FSC
West African Airlines	WZ	WSF	overige FSC
West Coast Air	8O	YWZ	overige FSC
Westair Benin	WH	CNW	overige FSC
Westjet	WS	WJA	LCC/Charter
White Coloured By You	WI	WHT	LCC/Charter
Wideroe's Flyveselskap	WF	WIF	overige FSC
Wind Jet	IV	JET	overige FSC
Wind Rose Aviation	7W	QGA	overige FSC
Windward Island Airways International	WM	WIA	overige FSC
Wings Air	IW	AOM	overige FSC
Wings Air (US)	WV	SWV	overige FSC

Airline	IATA code	ICAO code	Alliantie (AEOLUS)
Wings Of Alaska Seaport Airline	K5	SQH	overige FSC
Wizz Air	W6	WZZ	LCC/Charter
Wizz Air Bulgaria	8Z	WVL	LCC/Charter
Wizz Air Ukraine	WU	WZZ	LCC/Charter
Wizz Air Ukraine	WAU	WZZ	LCC/Charter
World Airways	WO	WOA	overige FSC
Wright Air Service	8V	ACP	overige FSC
Xiamen Airlines Company	MF	CXA	SkyTeam
XL Airways France	SE	SEU	overige FSC
XTRA Airways	XP	CXP	LCC/Charter
Yakutia	R3	RME	overige FSC
Yamal Airlines	LLM	LLM	overige FSC
Yamal Airlines	YC	LLM	overige FSC
Yanair	YE	ACQ	overige FSC
Yangon Airways	YH	WCW	overige FSC
Yangtze River Express Airlines	Y8	YZR	overige FSC
Yellow Air Taxi	Y0	EMJ	overige FSC
Yemenia Yemen Airways	IY	IYE	overige FSC
Yeti Airlines	YT	TGA	overige FSC
Zagros Airlines	ZV	AMW	LCC/Charter
Zambezi Airlines	ZJ	ZMA	overige FSC
Zestair	Z2	Philippines AirAsia	overige FSC
Zimbabwe Airlink	YZ	FEM	overige FSC

D.3 Internationale hubs

In het AEOLUS model wordt de routekeuze van passagiers gemodelleerd via 162 internationale hubs. De volledige lijst van alle hubs (IATA code) is samengevat in volgende tabel.

ABV	BOM	DEL	GUA	KEF	MEM	PHX	SVO	ZAG
ADD	BRU	DEN	GVA	KHI	MEX	PMI	SYD	ZRH
AEP	BSB	DFW	GYD	KIV	MIA	POM	TAS	
AKL	BUD	DME	GYE	KIX	MNL	PRG	TBS	
ALA	BWN	DMM	HAN	KUL	MRU	PTP	THR	
ALG	CAI	DOH	HAV	KWI	MSP	PTY	TIP	

AMM	CAN	DPS	HEL	LAX	MUC	PVG	TLV
AMS	CDG	DTW	HKG	LGW	NAN	RIX	TPE
ARN	CGH	DUB	HND	LHE	NBO	RUH	TSE
ASU	CGK	DUS	HNL	LHR	NRT	RUN	TUN
ATH	CLE	DXB	IAD	LIM	NUE	SAH	TXL
ATL	CLT	ESB	IAH	LIS	ORD	SAL	ULN
AUH	CMB	EWR	ICN	LJU	ORN	SEA	VIE
BAH	CMN	EZE	IKA	LOS	ORY	SEZ	VLI
BCN	CPH	FCO	ISB	LUX	OSL	SFO	WAW
BEG	CPT	FNJ	IST	LYS	OTP	SGN	WDH
BEY	CTU	FRA	JED	MAD	OVB	SHA	YUL
BKK	CUR	GIG	JFK	MAO	PEK	SIN	YVR
BNE	CVG	GMP	JNB	MCT	PER	SJO	YYC
BOG	DAC	GRU	KBP	MEL	PHL	SLC	YYZ

significance

quantitative research

Significance

Grote Marktstraat 47

2511 BH

Den Haag

Nederland

info@significance.nl

+31 70 312 1530