



Advies verbeterpunten luchtvaartmodel AEOLUS

Eindrapport | februari 2023

Advies verbeterpunten luchtvaartmodel AEOLUS

Eindrapport | februari 2023

Auteurs:

Gijs van Eck, Marco Kouwenhoven

Projectnummer:

22048

Inhoudsopgave

| | |
|--|-----------|
| 1. Inleiding | 6 |
| 1.1 Doel van de opdracht | 6 |
| 1.2 Inbreng van deskundigen | 6 |
| 2. Verbeterpunt A1 - capaciteits-beperkingen regionale luchthavens | 8 |
| 2.1 Huidige situatie | 8 |
| 2.2 Beperkingen van de huidige situatie | 8 |
| 2.3 Discussie | 8 |
| 2.4 Voorgestelde verandering | 9 |
| 2.5 Plan van aanpak | 9 |
| 3. Verbeterpunt A2 - capaciteitsbeperkingen buitenlandse luchthavens | 10 |
| 3.1 Huidige situatie | 10 |
| 3.2 Beperkingen van de huidige situatie | 10 |
| 3.3 Discussie | 10 |
| 3.4 Voorgestelde verandering | 12 |
| 3.5 Plan van aanpak | 12 |
| 4. Verbeterpunt B - aanpasbaarheid vliegnetwerk | 13 |
| 4.1 Huidige situatie | 13 |
| 4.2 Beperkingen van de huidige situatie | 14 |
| 4.3 Discussie | 15 |
| 4.3.1 Mogelijkheid tot aanpassing van de ticketprijzen | 15 |
| 4.3.2 Mogelijkheid tot aanpassing van de netwerkstructuur | 15 |
| 4.3.3 Mogelijkheid tot aanpassing van de lijst met bestemmingen die rechtstreeks bereikbaar zijn | 15 |
| 4.4 Voorgestelde verandering | 17 |
| 4.5 Plan van aanpak | 17 |
| 5. Verbeterpunt C - zonerings | 19 |
| 5.1 Huidige situatie | 19 |
| 5.2 Beperkingen van de huidige situatie | 20 |
| 5.2.1 Afbakening achterland | 20 |
| 5.2.2 Gemodelleerde luchthavens in achterland | 21 |
| 5.2.3 Zonerings binnen Nederland | 22 |
| 5.2.4 Combineren van ongelijksoortige bestemmingen | 22 |
| 5.2.5 Combineren van bestemmingen met een ongelijke bereikbaarheid over land | 23 |
| 5.2.6 Omvang van de zones | 23 |
| 5.3 Discussie / voorgestelde verandering | 23 |
| 5.3.1 Afbakening achterland | 23 |
| 5.3.2 Lijst van te modelleren luchthavens | 24 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 5.3.3 | Zonering | 25 |
| 5.4 | Plan van aanpak | 29 |
| 6. | Verbeterpunt D - reiskosten andere modaliteiten | 31 |
| 6.1 | Huidige situatie | 31 |
| 6.2 | Beperkingen van de huidige situatie | 33 |
| 6.3 | Discussie | 33 |
| 6.4 | Voorgestelde verandering | 35 |
| 6.5 | Plan van aanpak | 36 |
| 7. | Verbeterpunt E - modellering vracht | 37 |
| 7.1 | Huidige situatie | 37 |
| 7.2 | Beperkingen van de huidige situatie | 39 |
| 7.3 | Discussie | 40 |
| 7.4 | Voorgestelde verandering | 42 |
| 7.5 | Plan van aanpak | 45 |
| 8. | Verbeterpunt F - invloed capaciteits-schaarste op aanbod en strategisch gedrag airlines | 47 |
| 8.1 | Huidige situatie | 47 |
| 8.2 | Beperkingen van de huidige situatie | 48 |
| 8.3 | Discussie | 48 |
| 8.4 | Voorgestelde verandering | 53 |
| 8.5 | Plan van aanpak | 54 |
| 9. | Verbeterpunt G - invloed capaciteits-schaarste op de vraag | 55 |
| 9.1 | Huidige situatie | 55 |
| 9.2 | Beperkingen van de huidige situatie en discussie | 55 |
| 9.3 | Voorgestelde verandering | 57 |
| 9.4 | Voorstel | 58 |
| 10. | Verbeterpunt H - autonome ontwikkeling regionale luchthavens | 59 |
| 10.1 | Huidige situatie | 59 |
| 10.2 | Beperkingen van de huidige situatie | 60 |
| 10.3 | Discussie | 61 |
| 10.4 | Voorgestelde verandering | 63 |
| 10.5 | Plan van aanpak | 63 |
| 11. | Verbeterpunt I - uitsplitsing motief niet-zakelijk | 65 |
| 11.1 | Huidige situatie | 65 |
| 11.2 | Beperkingen van de huidige situatie | 65 |
| 11.3 | Discussie | 65 |
| 11.4 | Voorgestelde verandering | 67 |
| 11.5 | Plan van aanpak | 67 |

12. Verbeterpunt J - Schatting vraag buitenlandse luchtreizigers naar Nederland **68**

| | | |
|------|-------------------------------------|----|
| 12.1 | Huidige situatie | 68 |
| 12.2 | Beperkingen van de huidige situatie | 69 |
| 12.3 | Discussie | 69 |
| 12.4 | Voorgestelde verandering | 71 |
| 12.5 | Plan van aanpak | 71 |

13. Verbeterpunt K - Modelleren emissies **72**

| | | |
|------|-------------------------------------|----|
| 13.1 | Huidige situatie | 72 |
| 13.2 | Beperkingen van de huidige situatie | 75 |
| 13.3 | Discussie | 76 |
| 13.4 | Voorgestelde verandering | 78 |
| 13.5 | Plan van aanpak | 80 |

14. Verbeterpunt L - verbeteringen ten behoeve van MKBA's **82**

| | | |
|------|--------------------------|----|
| 14.1 | Inleiding | 82 |
| 14.2 | Voorgestelde verandering | 83 |
| 14.3 | Plan van aanpak | 83 |

15. Indicatie benodigde inspanning **84**

1. Inleiding

1.1 Doel van de opdracht

AEOLUS is een strategisch luchtvaartmodel waarmee langetermijn prognoses gemaakt kunnen worden van ondermeer het aantal passagiers, de hoeveelheid vracht en het aantal vliegbewegingen op Nederlandse luchthavens. Het model is eigendom van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en wordt beheerd door de Rijkswaterstaat dienst Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL).

In 2021 hebben vier academici een review uitgevoerd op het AEOLUS model. De conclusie van deze review was dat het een goed model is, dat geschikt is om gebruikt te worden voor scenario- en beleidsstudies en dat ook in vergelijking met andere (internationale) modellen indrukwekkend is. Verder is deze academici gevraagd om enkele verbeterpunten te identificeren.

In 2022 hebben IenW en WVL gesprekken gevoerd met diverse stakeholders van het AEOLUS luchtvaartmodel: partijen die met het model werken, gebruik maken van de uitkomsten en/of voor wie de resultaten van belang zijn. Ook uit die gesprekken zijn verdere verbeterpunten naar voren gekomen.

IenW en WVL hebben uit deze reviews elf thema's aangeduid waarop de huidige (goede) kwaliteit van AEOLUS verder verbeterd kan worden. Significance is benaderd om per thema uit te werken hoe deze modelverbeteringen gerealiseerd kunnen worden en inzicht te geven in de hiervoor benodigde data, inspanning en doorlooptijd.

De uitvoering van dit project is vanuit de opdrachtgevers begeleid door een begeleidingscommissie bestaande uit Anneke de Wit, Johannes Haverkate, Jesper van Manen (IenW-DGLM), Toon Zijlstra (KiM), Eric Molenwijk en Frank Hofman (WVL).

1.2 Inbreng van deskundigen

Bij een aantal verbeterpunten is de expertise van externe deskundigen ingeschakeld. De schrijvers van dit rapport zijn zeer erkentelijk voor de inbreng van de volgende deskundigen die gedurende dit onderzoek zijn geraadpleegd:

| Organisatie | Expert | Bijdrage aan |
|--------------------------------------|---|---|
| Air Cargo Netherlands (ACN) | Maarten van As | Verbeterpunt E – modellering vracht |
| Beelining | Rogier Lieshout | Verbeterpunt F – strategisch gedrag airlines |
| Breda University of Applied Sciences | Paul Peeters | Verbeterpunt K – emissies |
| CE Delft | Stefan Grebe, Martijn Blom | Verbeterpunt C – zonering Verbeterpunt I – uitsplitsing motief niet-zakelijk Verbeterpunt K – emissies Verbeterpunt L – MKBA's |
| Erasmus Universiteit | Floris de Haan | Verbeterpunt E – modellering vracht |
| Decisio | Menno de Pater, Niels Hoefsloot | Verbeterpunt C – zonering Verbeterpunt E – modellering vracht Verbeterpunt I – uitsplitsing motief niet-zakelijk Verbeterpunt L – MKBA's |
| Schiphol | Thijs Boonekamp, Guillaume Burghouwt | Verbeterpunt E – modellering vracht Verbeterpunt F – strategisch gedrag airlines |
| KLM | Michel Rijgersberg | Verbeterpunt E – modellering vracht Verbeterpunt F – strategisch gedrag airlines |

| Organisatie | Expert | Bijdrage aan |
|---|-------------------------------|--|
| KLM Cargo | Peter Nugteren, Tim Ogden | Verbeterpunt E – modellering vracht |
| Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat | Sander Hartjes | Verbeterpunt A1 – capaciteit regionale luchthavens |
| NLR | Jan Middel, Bram Peerlings | Verbeterpunt K – emissies |
| Universiteit Antwerpen | Eddy van de Voorde | Verbeterpunt E – modellering vracht |
| Vrije Universiteit Amsterdam | Eric Pels | Verbeterpunt F – strategisch gedrag airlines |

Deze experts hebben input geleverd door middel van (één of meerdere van de volgende punten):

- Online interviews;
- Online discussiesessies;
- Antwoorden per mail op specifieke vragen van ons;
- Reactie op conceptvoorstellen.

Deze input was zeer waardevol en is door ons zo veel mogelijk gebruikt bij de opstelling van dit rapport. Echter, in verband met haalbaarheid en consistentie (zowel binnen een verbeterpunt als tussen verbeterpunten onderling), hebben we niet alle adviezen kunnen overnemen en niet alle input kunnen gebruiken. De verantwoordelijkheid voor de uiteindelijke teksten en voorstellen ligt geheel bij Significance. De experts hebben alleen input geleverd en zijn niet betrokken geweest bij het opstellen van de uiteindelijke tekst.

2. Verbeterpunt A1 - capaciteitsbeperkingen regionale luchthavens

2.1 Huidige situatie

In de vliegbewegingenmodule van AEOLUS wordt in eerste instantie bepaald hoeveel vliegtuigbewegingen nodig zijn om de volledige vraag (passagiers + vracht) te accommoderen. Per luchthaven wordt dit aantal vliegtuigbewegingen vervolgens getoetst aan de geldende capaciteitsrestricties. Deze restricties zijn gebaseerd op de fysieke baancapaciteit en/of (hinder)regelgeving. Voor alle Nederlandse luchthavens kan in AEOLUS een jaarlimiet op het aantal vluchten opgelegd worden; voor Schiphol daarnaast ook een uurlimiet per dagdeel. Bij overschrijding van de maatgevende limiet worden schaduwkosten geïntroduceerd. Deze schaduwkosten werken door in de ticketprijzen en de kosten voor vrachtvervoer en reduceren daarmee de vraag. AEOLUS vindt door middel van een optimalisatie de minimale schaduwkosten waarbij de capaciteitsgrenzen nergens worden overschreden.

2.2 Beperkingen van de huidige situatie

De capaciteitslimiet op regionale luchthavens wordt grotendeels bepaald door de regelgeving met betrekking tot geluid. Om deze regelgeving mee te kunnen nemen in AEOLUS is eerst een vertaling van geluidscriteria naar een maximaal aantal vliegtuigbewegingen nodig. Voor de korte termijn (2030) is dit geen probleem, maar voor de lange termijn is hiervoor te veel onzekerheid over de technische ontwikkeling van de vloot qua geluid. Daarom wordt voor een aantal regionale luchthavens (Rotterdam, Maastricht en Groningen) momenteel geen capaciteitslimiet gehanteerd voor 2050. Dit impliceert dat het aantal vliegtuigbewegingen op deze luchthavens na 2030 in AEOLUS onbeperkt kan groeien.

2.3 Discussie

De geldende geluidsregelgeving is per luchthaven vastgelegd in een omzettingsregeling¹. Hierin zijn handhavingspunten rondom de luchthaven aangeduid. Daarbij worden grenswaarden voor de totale geluidsbelasting (uitgedrukt in dB(Lden)) gegeven die op deze handhavingspunten niet mogen worden overschreden. Voorafgaand aan een luchthavenbesluit worden voor de korte-/middellange termijn (~10 jaar) prognoses gemaakt voor scenario's met een verschillend aantal vliegtuigbewegingen. Op basis van o.a. de oppervlakte, aantal woningen, aantal ernstig gehinderden en het aantal ernstig slaapverstoorden binnen diverse geluidscontouren wordt vervolgens vastgesteld welk aantal vliegtuigbewegingen acceptabel is. Vervolgens worden de daarbij behorende grenswaarden op de handhavingspunten vastgesteld.

De geluidsgrenzen op de handhavingspunten zijn an sich geen besliscriterium, maar volgen uit het aantal vliegtuigbewegingen en dienen puur ter handhaving. Deze handhaving gebeurt op basis van de daadwerkelijk uitgevoerde vluchten. Elke vlucht heeft hierbij (afhankelijk van onder meer het type vliegtuig, het tijdstip en het baangebruik) een bepaalde bijdrage aan de totale geluidsbelasting. Deze geluidsbelasting wordt niet gemeten, maar gemodelleerd.

Momenteel bevat AEOLUS geen geluidsberekeningen voor de regionale luchthavens. In principe kan dit wel geïmplementeerd worden. De bijdrage van elke vlucht aan de geluidsbelasting op een handhavingspunt kan dan op dezelfde wijze gemodelleerd worden als in de modellering die wordt toegepast voor handhaving. Omdat de geluidsbelasting in dB(Lden) op een locatie over het algemeen vrij vloeiend verloopt, kan deze berekening vervolgens gekoppeld worden aan een mechanisme dat het aantal vliegtuigbewegingen restrictieert zodra de geluidsgrenzen op één of meerdere punten worden overschreden. Op deze manier wordt de geluidscapaciteit endoogen in het model berekend.

¹ Deze worden in de komende jaren vervangen door luchthavenbesluiten.

Bij (de huidige) exogene aanpak wordt de capaciteit op regionale luchthavens vooraf berekend en als invoer voor het model gebruikt. Het is in principe dus wel mogelijk om in plaats hiervan de geluidscapaciteit op regionale luchthavens endogeen te gaan berekenen in AEOLUS (dit is in het verleden ook voor Schiphol gedaan). Dit blijft echter complex en onzeker en het voordeel hiervan t.o.v. het exogeen berekenen van de capaciteit is naar onze mening beperkt. Dit komt mede doordat – anders dan voor Schiphol in het verleden – de terugkoppelmechanismen voor kleine luchthavens veel beperkter zijn. Bovendien moet daarbij het volgende bedacht worden:

- De huidige geluidsgrenzen zijn gebaseerd op scenario's waarin het aantal vliegbewegingen is vastgelegd. Omdat AEOLUS reeds met aantal vliegbewegingen als restrictie kan omgaan, heeft het weinig toegevoegde waarde dit te vervangen door geluidsrestricties. Dit geldt vanuit het oogpunt van capaciteitsmodellering; het berekenen van geluidsemissies op regionale luchthavens kan op zichzelf natuurlijk wel een meerwaarde zijn.
- De omzettingsregelingen worden komende jaren vervangen door luchthavenbesluiten. In de luchthavenbesluiten wordt de geluidsruijnte opnieuw bepaald. Daarnaast is de kans zeer aanwezig dat er in de geluidsmodellering tot aan 2050 nog wijzingen gaan plaatsvinden.
- Op luchthaven Maastricht is ook de externe veiligheid een factor; het is dus niet voldoende om alleen naar geluid te kijken.

Een nog complexer alternatief is om alle relevante geluidscriteria te implementeren in AEOLUS. Een aantal van deze criteria zijn echter lastig te implementeren. Bovendien weegt de inspanning die hiervoor nodig is ons inziens niet op tegen de toegevoegde waarde voor de modellering.

2.4 Voorgestelde verandering

Op basis van bovenstaande discussie stellen wij voor om AEOLUS op dit punt niet aan te passen en daarmee de doorvertaling van de geluidsgrenzen naar randvoorwaarden met betrekking tot het aantal vliegbewegingen buiten AEOLUS te realiseren.

2.5 Plan van aanpak

Niet van toepassing.

3. Verbeterpunt A2 - capaciteitsbeperkingen buitenlandse luchthavens

3.1 Huidige situatie

AEOLUS modelleert de passagiersvraag op alle luchthavens in het achterland. Behalve de luchthavens in Nederland (AMS, RTM, EIN, MST, GRQ en eventueel in de toekomst LEY) gaat het om Brussel en Charleroi in België, Niederrhein, Düsseldorf, Köln en Frankfurt in Duitsland, Charles-de-Gaulle in Frankrijk en Luxemburg Airport. Maar alleen voor de Nederlandse luchthavens wordt gecontroleerd of de vraag groter is dan de capaciteit. Zo ja, dan worden er schaarstekosten toegevoegd om de vraag te reduceren, zodanig dat de vraag past binnen de beschikbare capaciteit.

3.2 Beperkingen van de huidige situatie

Door niet te controleren of de vraag groter is dan de capaciteit op concurrerende buitenlandse luchthavens en dus ook geen schaarstekosten op die luchthavens mee te nemen, ontstaat een modelmatig concurrentievoordeel voor deze buitenlandse luchthavens dat in de praktijk niet bestaat. Hierdoor worden de uitwijkmogelijkheden voor reizigers die last hebben van een capaciteitsbeperking op een Nederlandse luchthaven overschat.

Dit geldt zowel voor luchthavens die met Nederlandse luchthavens concurreren voor reizigers die vanuit Nederland vertrekken of naar Nederland toe reizen (de zogenaamde “originating/destinating passengers”), als ook voor luchthavens die met Schiphol concurreren voor reizigers die een overstap willen maken (de “transferring passengers”).

3.3 Discussie

De reden dat AEOLUS voor concurrerende luchthavens in het buitenland niet controleert of de vraag groter is dan het aanbod, is dat AEOLUS niet alle reizigers vanuit het achterland van de betreffende luchthavens modelleert. Bijvoorbeeld: de luchthaven Frankfurt trekt ook originating/destinating reizigers uit delen van Duitsland die niet tot het achterland van de Nederlandse luchthavens behoren. Daarom kan voor die luchthavens geen compleet beeld van de vraag worden gegeven en is het niet zinvol om te controleren of de vraag groter is dan het aanbod. Dit geldt helemaal voor concurrerende transferluchthavens zoals München, Milan, Madrid en verder weggelegen luchthavens.

De tweede reden dat AEOLUS voor concurrerende luchthavens in het buitenland niet controleert of de vraag groter is dan het aanbod is dat voor hoe meer luchthavens dit gedaan wordt, hoe meer luchthavens potentieel hun eigen schaarstekosten krijgen, en hoe meer vrijheidsgraden er zijn voor het vinden van de optimale verdeling van de schaarstekosten. Bij een hoger aantal vrijheidsgraden neemt de kans ook toe dat er meerdere (lokale) optima zijn van de optimalisatie (i.e. de laagste som van de betaalde schaarstekosten over alle reizigers), en daardoor neemt de kans ook toe dat AEOLUS in een dergelijk lokaal optimum blijft hangen in plaats van naar het absolute optimum te convergeren.

Welke oplossingsrichtingen zijn er denkbaar?

1. Voor de luchthavens in de ons omringende landen is het mogelijk om een groter gebied als achterland te modelleren. Dat zou bijvoorbeeld betekenen dat AEOLUS ook de verder weggelegen delen van Duitsland zou moeten modelleren om een compleet beeld van de vraag op Frankfurt te kunnen modelleren. Dat betekent ook dat de aldaar gelegen luchthavens moeten worden meegenomen. Echter, die luchthavens zullen dan aan de rand van het te modelleren gebied liggen, waardoor daar geen compleet beeld kan ontstaan over eventuele capaciteitsoverschrijdingen. Het probleem van het ontbreken van schaarstekosten / modelmatige oneerlijke concurrentie wordt daarmee verplaatst naar verder weg gelegen gebieden. Wel zal hierdoor de modellering van de Nederlandse luchthavens verbeteren. Maar deze methode biedt geen oplossing voor de concurrerende transferluchthavens.

2. Voor het basisjaar kan voor alle concurrerende luchthavens bekeken worden welk deel van het totaal aantal passagiers door AEOLUS wordt gemodelleerd. Door het ontbreken van (delen van) het achterland van deze luchthavens zal AEOLUS niet alle passagiers modelleren, dus de fractie die wel gemodelleerd wordt zal ergens tussen 0 en 1 liggen. Voor toekomstige scenario's kan aangenomen worden dat deze gemodelleerde fractie constant blijft. Er kan dan een fictieve capaciteitslimiet berekend worden voor dit deel van de vraag door de totale capaciteitslimiet te vermenigvuldigen met de gemodelleerde fractie. Als de gemodelleerde vraag groter is dan deze fictieve capaciteitslimiet, dan heeft de luchthaven waarschijnlijk met een capaciteitstekort te maken en kan AEOLUS schaduwkosten berekenen op vergelijkbare wijze als voor de Nederlandse luchthavens. Deze methode kan in principe werken voor zowel luchthavens die concurreren voor de originating/destinating reizigers, als voor de transferring reizigers.

Het nadeel van deze oplossing is driedelig:

- Dit vereist kennis van precieze capaciteitslimieten (in termen van maximaal aantal vluchten) op al deze luchthavens. Maar het is bekend dat sommige luchthavens limieten hebben die gebaseerd zijn op basis van geluid of mogelijk emissies. De omrekening hiervan naar een limiet op het aantal vluchten kan zeer complex zijn.
 - De aanname dat de gemodelleerde fractie constant blijft is erg twijfelachtig en heeft geen goede onderbouwing.
 - De extra vrijheidsgraden zorgen voor een grotere kans dat AEOLUS blijft hangen in een lokaal optimum.
3. Een proxy-methode: er worden drie niveaus van de mate van capaciteitsrestrictie gedefinieerd: matig, redelijk en sterk. Op basis van (a) de capaciteitsmonitor die momenteel in opdracht van het Ministerie wordt ontwikkeld², (b) (expert)kennis van de capaciteitssituatie op luchthavens, (c) literatuur en nieuwsberichten en (d) het doortrekken van de historisch waargenomen trend wordt een inschatting gemaakt voor alle relevante luchthavens van de mate waarin ze in de toekomst tegen hun capaciteitslimiet zullen aanlopen, bijvoorbeeld voor 2030, 2040 en 2050. Dit vormt een scenario-aanname die de gebruiker voorafgaand aan een AEOLUS-run moet invoeren.

Indien een luchthaven gerestrictieerd is, worden er vaste schaarstekosten bij de ticketprijs opgeteld. Bij een matige capaciteitsrestrictie is dit een beperkt bedrag, bij een redelijke capaciteitsrestrictie is dit een iets groter bedrag en bij een sterke restrictie is dit een groot bedrag. Deze drie standaardbedragen worden vooraf bepaald aan de hand van de schaarstekosten die op Nederlandse luchthavens gemiddeld gelden bij deze drie niveaus van restricties. De omvang van deze schaarstekosten liggen dus op voorhand vast en zijn niet afhankelijk van de modeluitkomsten. Voor de tussenliggende jaren worden de schaarstekosten geïnterpoleerd. Op deze manier wordt er voorkomen dat er een modelmatig competitief voordeel ontstaat voor buitenlandse luchthavens ten opzichte van Nederlandse luchthavens zonder dat het modelmatig complex wordt.

² Volgens het plan van aanpak zal hierbij alleen gekeken worden naar luchthavens die met Nederlandse luchthavens concurreren voor de originating en destinating passagiers, en dus niet voor de transferconcurrenten van Schiphol.

Voorbeeld indeling drie niveaus

Een nadeel van de proxy-methode is dat het niet eenduidig is en subjectief kan overkomen. Er zijn manieren om dit desalniettemin te objectiveren. Hiertoe kan bijvoorbeeld een lineaire regressie worden gedaan op het aantal vliegbewegingen in bijv. de laatste 10 jaar en deze trend kan worden doorgetrokken naar de toekomst. Voor een gegeven maximum aantal bewegingen (die op basis van de andere genoemde bronnen moet worden vastgesteld) kan dan voor elk jaar gekeken worden met welk percentage de trend de capaciteit overschrijdt. Dit percentage kan dan vertaald worden naar de mate van capaciteitsrestrictie: bijvoorbeeld 0-25% = matig, 25%-60% = redelijk, 60% en hoger = sterk. De drie standaardbedragen kunnen dan op vergelijkbare wijze worden bepaald door dezelfde methode toe te passen op de Nederlandse luchthavens: voor elk interval van het percentage waarin de trend de capaciteitslimiet overschrijdt, kan de gemiddelde schaduwprijs uit een reguliere AEOLUS-run worden bepaald, waarbij mogelijk apart waardes kunnen worden bepaald voor regionale luchthavens en luchthavens met een hub-functie.

3.4 Voorgestelde verandering

De derde oplossing is simpel en eenvoudig te implementeren. Dit detailniveau past bij het niveau waarop de buitenlandse luchthavens worden gemodelleerd. De eerste methode is niet generiek genoeg (werkt niet voor alle concurrerende luchthavens) en de nadelen van de tweede methode zijn te groot. Daarom stellen we voor om methode 3 te hanteren.

3.5 Plan van aanpak

Omdat de eerste oplossing het verbeterpunt niet volledig dekt, hebben we daar geen plan van aanpak voor uitgewerkt. Volledigheidshalve hebben we voor beide andere oplossingen een stappenplan uitgewerkt (waarbij ons advies is om voor de derde oplossing te kiezen).

Voor de tweede oplossing moeten de volgende stappen worden doorlopen.

1. Vaststellen voor welke luchthavens capaciteitslimieten moeten worden meegenomen
2. Verzamelen kennis van precieze capaciteitslimieten op deze luchthavens
3. Aanpassen invoerbestanden zodat er voor meer luchthavens limieten kunnen worden opgegeven
4. Aanpassen AEOLUS-scripts om voor meer luchthavens controles uit te voeren op het overschrijden van de limiet + toevoegen schaarstekosten (waar nodig)
5. Testen van het iteratieschema: moeten er startwaardes voor de optimalisatie worden meegegeven? Converteert AEOLUS goed. Zo niet, kan dat met andere startwaardes worden opgelost, of moet het iteratieschema worden aangepast.
6. Aanpassen documentatie.

Voor de derde oplossing moeten de volgende stappen worden doorlopen.

1. Vaststellen voor welke luchthavens capaciteitslimieten moeten worden meegenomen
2. Definiëren van de niveaus van capaciteitsrestrictie
3. Verzamelen kennis van de mate van capaciteitsrestrictie (matig, redelijk, sterk) op deze luchthavens
4. Bepalen van de standaardwaardes van de schaarstekosten die overeenkomen met de drie niveaus van capaciteitsgerestricteerdheid
5. Aanpassen AEOLUS-scripts om standaard deze schaarstekosten toe te voegen aan de ticketprijs als er (conform de invoer) sprake is van een bepaald niveau van capaciteitsrestrictie
6. Aanpassen documentatie

4. Verbeterpunt B - aanpasbaarheid vliegnetwerk

4.1 Huidige situatie

AEOLUS gebruikt een invoerfile met de luchtzijdige level-of-service voor de jaren 2017, 2030 en 2050. Deze file bevat per route³ gegevens over:

- Het aantal reismogelijkheden per week (de “frequentie”);
- De reistijd in het vliegtuig, inclusief overstaptijd op een eventuele hub;
- De reistijd in het vliegtuig voor een rechtstreekse vlucht;
- De reiskosten voor de vliegreis (per motief).

Voor de tussenliggende jaren worden deze gegevens geïnterpoleerd.

Deze AEOLUS-invoerfiles zijn afgeleid van NETCOST-uitvoerfiles. Deze NETCOST-files zijn op het niveau van individuele luchthavens. Daarom worden in een tussenstap alle verbindingen van/naar luchthavens in dezelfde AEOLUS-zone geaggregeerd en worden de bijbehorende reistijden en reiskosten gemiddeld (gewogen met de frequentie). Deze stap gebeurt in een SPSS-script en hoeft slechts eenmalig te worden uitgevoerd (na levering van een nieuwe NETCOST-file).

Voor het basisjaar haalt NETCOST de kenmerken (frequentie, reistijd, reiskosten) voor alle rechtstreekse verbindingen uit de OAG-database met informatie over (geplande) vluchten. Vervolgens bekijkt NETCOST welke indirecte reismogelijkheden er allemaal zijn en welke daarvan realistisch zijn (op basis van een overstaptijd die niet te groot mag zijn, en een omvliegtijd die niet te groot mag zijn).⁴

Het netwerk voor een toekomstjaar baseert NETCOST op de rechtstreekse vluchten in het basisjaar. Op basis van WLO-aannames wordt bepaald hoe de frequentie, reistijd en reiskosten zullen veranderen naar het toekomstjaar. Vervolgens worden wederom de indirecte reismogelijkheden geconstrueerd.

De laatste keer dat deze procedure op deze manier is gevolgd was in 2013. Later is het AEOLUS basisjaar geactualiseerd naar 2017. NETCOST is toen gebruikt voor het maken van de nieuwe level-of-service voor 2017 volgens de normale procedure. Echter, de AEOLUS-files voor 2030 en 2050 zijn niet gebaseerd op nieuwe NETCOST-runs, maar zijn ongeveer gelijk gebleven aan de in 2013 bepaalde files.⁵

De ticketprijzen in NETCOST (en dus in AEOLUS) zijn gebaseerd op een regressie die een flink aantal jaar geleden is uitgevoerd op MIDT-yield-data. Dit is de ticketprijs zonder de airport- en vertrekbelasting. Voor de ontwikkeling van de ticketprijs naar 2030 en 2050 zijn aannames gedaan uit welke componenten de ticketprijs bestaat, bijv. welk deel van de ticketprijs in NETCOST/AEOLUS gerelateerd is aan CO₂-beprijzing.

Recentelijk zijn nieuwe scenario's doorgerekend (bijv. KEV, verhoging vliegbelasting, invoering CO₂-plafond). Hierin zijn onder meer recente ontwikkelingen over CO₂-beprijzing meegenomen.⁶ Dit is gedaan door in de AEOLUS-invoer de prijzen aan te passen: de CO₂-specifieke component uit de (oude) NETCOST-prijzen is eruit gehaald en vervangen door een CO₂-prijs die consistent is met onder meer CORSIA. Ook dit gebeurt in een script of in een Excel-file buiten AEOLUS om.

³ Een route loopt tussen twee regio's buiten het achterland, tussen een luchthaven in het achterland en een regio buiten het achterland, of tussen twee luchthavens in het achterland.

⁴ In appendix B van de ACCM technische documentatie (NLR & Significance, 2007) staat de precieze methodiek van SEO beschreven, waarbij opgemerkt wordt dat de gebruikte coëfficiënten inmiddels zijn herschat en afwijken van de waardes die in die handleiding vermeld staan.

⁵ Het idee hierachter is dat er in de WLO-scenario's niets veranderd was, dus dat het toekomstbeeld voor 2030 en 2050 onveranderd moest blijven. Echter, enkele kleinere aanpassingen waren nodig om de netwerkstructuur in 2030 en 2050 gelijk te maken aan die van 2017.

⁶ Dit is niet gedaan voor de doorrekening van de referentieprognose 2021.

Frequenties in AEOLUS

AEOLUS werkt op twee plaatsen met frequenties.

1. Het model gebruikt een invoerfile met de luchtzijdige level-of-service waarin voor elke verbinding een frequentie is gegeven (zoals ook in de tekst hierboven is uitgelegd). Dit wordt de invoerfrequentie genoemd.
2. AEOLUS berekent per bestemming het aantal passagiers dat daarop zal gaan vliegen en welk type vliegtuig zal worden ingezet. Hiermee wordt een aantal vliegtuigbewegingen berekend, en dit komt overeen met een bepaalde frequentie. Dit wordt de uitvoerfrequentie genoemd.

In principe zijn deze twee niet gekoppeld. Dat is niet wenselijk (anders zou de invoerfrequentie al direct de uitvoerfrequentie bepalen en is er geen model meer nodig) en niet mogelijk onder capaciteitsrestricties: als niet aan de restrictie is voldaan, worden schaarstekosten toegevoegd, hierdoor daalt de vraag, en dalen de uitvoerfrequenties. Als dan bij een nieuwe iteratie ook de invoerfrequenties worden aangepast, daalt de vraag nog verder, waardoor de uitvoerfrequenties weer dalen. Dit leidt uiteindelijk tot een evenwichtoplossing met 0 passagiers en 0 vliegbewegingen.

De invoerfrequentie wordt alleen gebruikt om het reisgedrag, en in het bijzonder de routekeuze te modelleren. Deze frequenties fungeren als een soort attractievariabele in deze modellen. Niet zo zeer de hoogte van de frequenties als wel de onderlinge verhoudingen van de frequenties zijn dan bepalend voor de verdeling van de vraag over de beschikbare route-alternatieven. Vandaar dat het vooral de structuur van het netwerk in het invoerbestand is, dat van belang is van in model, en niet zo zeer de precieze hoogte van de invoerfrequenties.

4.2 Beperkingen van de huidige situatie

De huidige situatie kent de volgende drie beperkingen:

1. De aanpassing van de ticketprijzen als gevolg van CO₂-beprijzing gebeurt ad-hoc. Verschillende partijen (PBL, consultants) doen dit op hun eigen manier. Zolang dat gebeurt omdat ze verschillende aannames doen over de hoogte van de CO₂-beprijzing, is dat acceptabel, maar de manier waarop de aannames doorwerken op de ticketprijzen zou transparant, consistent en reproduceerbaar moeten zijn. Bovendien is het wenselijk dat dit makkelijker wordt voor alle gebruikers van AEOLUS. Dat betekent dat er helder moet zijn welke aannames gedaan moeten worden, en dat die vervolgens rechtstreeks kunnen worden ingevoerd, waarbij de vertaling van de aannames naar de ticketprijzen automatisch gebeurt.
2. Voor sommige scenario's is het wenselijk om de structuur van het gehele netwerk aan te passen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij (sterke) capaciteitsrestricties. Vliegtuigmaatschappijen maken dan strategische keuzes welke bestemmingen ze wel en niet zullen aandoen en die zullen afwijken van de manier waarop AEOLUS de outputfrequenties reduceert als gevolg van de toevoeging van de schaarstekosten. Zie verbeterpunt F (§8) voor een verdere toelichting.
3. Vanuit MKBA-perspectief is het wenselijk om het effect te kunnen doorrekenen van het niet-meer rechtstreeks kunnen vliegen op een bepaalde bestemming (en ook andersom: het toevoegen van een bestemming aan de lijst van bestemmingen waar rechtstreeks op gevlogen wordt vanaf een Nederlandse luchthaven).

4.3 Discussie

4.3.1 Mogelijkheid tot aanpassing van de ticketprijzen

Het implementeren van de aanpassingsmogelijkheid van ticketprijzen is niet complex. Het ligt voor de hand om de werkwijze die het PBL hiervoor hanteert⁷ (ontwikkeld door Hans Hilbers) te integreren in AEOLUS. Dat kan op twee plaatsen: hetzij in de GAMS-software van AEOLUS, hetzij in een script dat vooraf gebruikt wordt. In principe zijn beide methodes gelijkwaardig. De eerste mogelijkheid heeft als voordeel dat het dan onder de standaard software valt die al door WVL beheerd wordt. De tweede mogelijkheid heeft als voordeel dat het ontwikkeld kan worden in een andere software-omgeving die meer toekomstbestendig is (uitgaande van de breed gedeelde wens om op termijn AEOLUS over te zetten naar een andere software-omgeving). Dat script kan dan gebruikt worden om standaard NETCOST-data te converteren naar AEOLUS-invoerbestanden. Dat vervangt dan het bestaande SPSS-script en kan dan ook aan WVL worden geleverd als onderdeel van AEOLUS. Groot voordeel van de tweede methode (i.e. met een apart script buiten GAMS) is dat dat ook gebruikt kan worden voor de implementatie van de mogelijkheid tot aanpassing van de lijst met bestemmingen die rechtstreeks bereikbaar zijn. Die implementatie kan namelijk niet binnen GAMS (zie §4.3.3)

4.3.2 Mogelijkheid tot aanpassing van de netwerkstructuur

Wanneer een scenario doorgerekend moet worden waarbij de structuur van het netwerk substantieel wordt gewijzigd, dan is eigenlijk de enige mogelijkheid om een nieuwe NETCOST-run te draaien en de output van die run te gebruiken om een nieuw AEOLUS-invoerbestand te genereren. Op deze manier wordt gegarandeerd dat alle route-alternatieven op consistente manier worden opgesteld en vergelijkbaar zijn met andere (basis)scenario's die worden doorgerekend.

Op zich is het denkbaar dat de hele NETCOST-systematiek in AEOLUS wordt geïntegreerd, maar dan zijn er wel issues omtrent de eigendom van de NETCOST-software die dan eerst moeten worden opgelost. Ook is het de vraag hoe kosteneffectief een dergelijke oplossing zou zijn: het komt niet vaak voor dat een alternatief netwerk moet worden doorgerekend. Dit zal met name moeten gebeuren bij het opstellen van een nieuw basisjaar of van een nieuw WLO-scenario.

4.3.3 Mogelijkheid tot aanpassing van de lijst met bestemmingen die rechtstreeks bereikbaar zijn

Waar verder behoefte aan is, is om het effect van het al-dan-niet rechtstreeks vliegen op een bepaalde bestemming vanaf een Nederlandse luchthaven te kunnen doorrekenen. Een dergelijke aanpassing is minder vergaand dan een complete aanpassing van de netwerkstructuur die we in de vorige paragraaf hebben besproken.

Stel dat een bepaalde bestemming die eerst rechtstreeks bereikbaar was vanaf een luchthaven in Nederland op een gegeven moment niet meer rechtstreeks bereikbaar is. Wat zijn dan de effecten? We illustreren dit aan de hand van een voorbeeld.

Uit het Continu Onderzoek Schiphol 2017⁸ en de Schipholstatistieken over 2017 blijkt dat er 19 luchthavens in Spanje rechtstreeks bereikbaar zijn geweest vanaf Schiphol. Deze staan in Tabel 1 inclusief bijbehorend aantal passagiers. Let op dat niet al deze passagiers rechtstreeks op die bestemming zijn gevlogen, sommige kunnen ervoor hebben gekozen om via een transferluchthaven te vliegen, maar in principe hadden ze wel de mogelijkheid om voor een rechtstreekse route te kiezen. Aan de rechterkant van deze tabel staan 9 bestemmingen die alleen indirect bereikbaar waren, inclusief het bijbehorende aantal passagiers.

Reizigers op bestemmingen uit de linkerkolom hadden dus (in veel gevallen) de keuze tussen een rechtstreekse en (vaak meerdere) indirecte vluchten. Reizigers uit de rechterkolom hadden alleen de keuze tussen een of meerdere indirecte vluchten.⁹

⁷ In deze aanpak wordt de ticketprijs opgedeeld in verschillende componenten waaronder brandstofkosten, CO₂-gerelateerde kosten en een component 'overig'. Deze individuele componenten kunnen vervolgens worden aangepast – om bijvoorbeeld bepaald klimaatbeleid mee te nemen - en worden daarna weer bij elkaar opgeteld.

⁸ Tegenwoordig wordt dit onderzoek uitgevoerd onder de naam "Routes & Profile Monitor"

⁹ Wanneer er een andere luchthaven in de buurt was waar wel rechtstreeks op gevlogen werd, was er ook nog de mogelijkheid om op die luchthaven te vliegen en het laatste deel van de reis per auto of openbaar vervoer te doen.

Stel nu dat besloten wordt om geen rechtstreekse vluchten op La Palma meer aan te bieden. Als we ervan uit gaan dat de 19000 reizigers nog steeds naar die bestemming willen vliegen (consistent met het AEOLUS-principe dat er geen (wijziging van) bestemmingskeuze wordt gemodelleerd), dan moeten deze reizigers indirect gaan vliegen, hetgeen extra reistijd en andere kosten impliceert. Voor een MKBA zijn juist deze tijd- en kostenveranderingen relevant.

Tabel 1 - Aantal passagiers per bestemmingsluchthaven in Spanje in 2017, gesplitst tussen rechtstreeks en niet-rechtstreeks bereikbare bestemmingen vanaf Schiphol

| Rechtstreek bereikbare bestemmingen | | | Alleen indirect bereikbare bestemmingen | | |
|-------------------------------------|-------------------|---|---|---------------|---|
| IATA code | Plaats | Aantal PAX | IATA code | Plaats | Aantal PAX |
| BCN | Barcelona | Gemiddeld ca. 150,000 per bestemming | OVD | Asturias | Gemiddeld ca. 2,000 per bestemming |
| MAD | Madrid | | LCG | A Coruna | |
| AGP | Malaga | | VGO | Vigo-Peinador | |
| ALC | Alicante | | GRX | Granada | |
| LPA | Gran Canaria | | LEN | Leon | |
| TFS | Tenerife | | PNA | Pamplona | |
| PMI | Palma de Mallorca | | XRY | Jerez | |
| IBZ | Ibiza | | EAS | San Sebastian | |
| VLC | Valencia | | MLN | Melilla | |
| BIO | Bilbao | | | | |
| ACE | Lanzarote | | | | |
| SVQ | Sevilla | | | | |
| FUE | Fuerteventura | | | | |
| GRO | Girona | | | | |
| SPC | La Palma | | | | |
| SCQ | Santiago-Rosalia | | | | |
| LEI | Almeria | | | | |
| MAH | Menorca | | | | |
| REU | Reus | | | | |

Hoe zou je dit kunnen modelleren? Dit zou kunnen door de AEOLUS-zone Spanje te splitsen in twee zones: (1) Spanje-R: een verzameling van bestemmingen die rechtstreeks bereikbaar zijn (linkerrij in Tabel 1) en (2) Spanje-NR: een verzameling van bestemmingen die niet rechtstreeks bereikbaar zijn (rechterrij). Voor beiden wordt in de level-of-service apart de (geaggregeerde) mogelijke routes opgenomen. Voor zone Spanje-NR staan daar alleen indirecte verbindingen.

Als je het scenario wilt doorrekenen waarin La Palma van het linkerrijtje naar het rechterrijtje verschuift, moet je het script dat NETCOST-output converteert naar AEOLUS-input opnieuw draaien, waarbij de rechtstreekse verbinding tussen La Palma en Schiphol niet meegenomen wordt.¹⁰ Tegelijkertijd moet in de basismatrix met het aantal passagiers tussen elke combinatie van een herkomst- en een bestemmingszone een correctie worden aangebracht waarbij de 19000 reizigers die eerst op zone

¹⁰ Evenals eventuele indirecte verbindingen vanuit Schiphol die via La Palma (als eerste bestemming) lopen.

Spanje-R vlogen, nu naar de zone Spanje-NR vliegen. Verder blijft alles in AEOLUS hetzelfde. Maar door de uitvoer van een dergelijke run te vergelijken met die van een standaardrun, wordt wel inzichtelijk dat de totale reistijd en reiskosten van de reizigers is veranderd. En deze verandering is de input van de MKBA.

Nu kan de vraag gesteld worden of dergelijke verschuivingen te marginaal zijn om mee te nemen: immers 99% van de reizigers op Spanje komt in de nieuwe zone Spanje-R en slechts 1% in Spanje-NR. Maar voor andere zones (zeker buiten Europa) liggen die verhoudingen anders en vormt de “NR” afsplitsing 10-20% van de huidige zone.¹¹

Mocht besloten worden om vakantie als apart reismotief te beschouwen, dat momenteel samen met het reismotief bezoek aan familie en vrienden in het huidige niet-zakelijke reismotief is opgenomen (zie verbeterpunt I in §11), dan is het mogelijk om voor dat vakantie-motief wel te werken met de gecombineerde Spanje-NR en Spanje-R zone. Dat impliceert dat voor reizigers met een vakantie-motief het niet meer rechtstreeks bereikbaar zijn van La Palma veel minder impact heeft (want dat heeft nauwelijks impact op de totale bereikbaarheid van de zone Spanje). Dit is ook plausibel, want dergelijke reizigers zullen veel makkelijker naar een andere vakantiebestemming vliegen die wel rechtstreeks bereikbaar is.

4.4 Voorgestelde verandering

We stellen drie veranderingen voor:

1. We stellen voor om een apart script te ontwikkelen (op basis van het bestaande SPSS-script), in bijvoorbeeld Python, dat NETCOST-output omzet naar AEOLUS-invoer. Dit script moet ook de mogelijkheid hebben om de effecten op de ticketprijzen van bepaalde CO₂-beprijzingsvormen mee te nemen. Dit script zal dan onderdeel gaan vormen van AEOLUS.
2. Fundamentele wijzigingen in de netwerkstructuur willen we blijven doorrekenen met NETCOST omdat dat de consistentie van het netwerk garandeert. Dat vergt wel additionele flexibiliteit in AEOLUS om (indien gewenst) een alternatief netwerk te selecteren. Wel is het aan te raden om in overleg te treden met SEO over een mogelijke update van dat model, met name een nieuwe inschatting van de prijscoëfficiënten lijkt wenselijk omdat de huidige coëfficiënten waarschijnlijk verouderd zijn.
3. Verder stellen we voor om de zonering zodanig aan te passen dat niet-rechtstreeks bereikbare bestemmingen in een zone een aparte (sub)zone gaan vormen. Het bij verandering 1 genoemde script moet dan zodanig worden ontwikkeld dat het ook mogelijk is voor een gebruiker om aan te geven dat een bepaalde bestemming in de toekomst niet meer (of juist wel) rechtstreeks bereikbaar is. Het script moet dan zowel zorgen voor de noodzakelijke aanpassing van de level-of-service, als voor de OD-matrix met aantallen passagiers per herkomst-/bestemmingszone.

4.5 Plan van aanpak

De volgende stappen moeten worden doorlopen voor de eerste verandering:

1. Ontwikkeling script voor omzetten NETCOST-output naar AEOLUS-invoer
2. Inbouwen PBL-systematiek voor aanpassing CO₂-gerelateerde deel van de ticketprijzen
3. Testen
4. Aanpassen documentatie

De volgende stappen moeten worden doorlopen voor de tweede verandering:

1. Invoermogelijkheid maken om een alternatief netwerk te gebruiken

¹¹ Althans voor 2 zones waarvoor we dit hebben uitgezocht.

2. Aanpassen AEOLUS-code om dit alternatieve netwerk te gebruiken indien dit in de invoer is gespecificeerd
3. Aanpassen documentatie

De volgende stappen moeten worden doorlopen voor de derde verandering, die alleen kan in samenhang met de eerste:

4. Uitbreiding script om de effecten van het wel/niet rechtstreeks bereikbaar zijn van een bestemming op de AEOLUS-level-of-service mee te nemen + de effecten op de OD-matrix
5. Uitbreiden van het aantal zones in AEOLUS (zie ook Verbeterpunt C in §5)
6. Testen
7. Aanpassen documentatie

5. Verbeterpunt C - zonerings

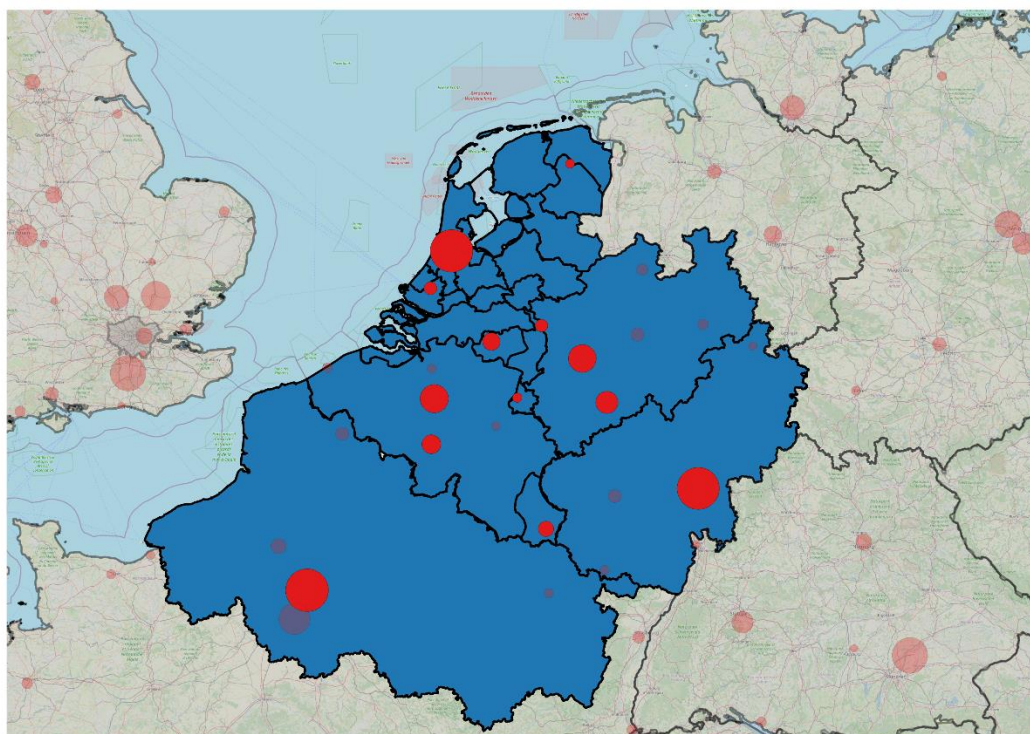
5.1 Huidige situatie

AEOLUS kent momenteel 56 zones die onderverdeeld zijn in drie groepen:

1. 27 achterlandzones: dit zijn de zones waar mensen wonen die potentieel gebruik kunnen maken van een Nederlandse luchthaven en waar bestemmingen liggen waar reizigers die aankomen op een Nederlandse luchthaven verder naar toe reizen. Dit zijn (zie ook Figuur 1):
 - 22 zones in Nederland; elke zone bestaat uit 1 of meerdere COROP-gebieden.
 - 5 zones in aangrenzende landen (1 in België, 1 in Luxemburg, 2 in westelijk Duitsland en 1 in Noord-Frankrijk).

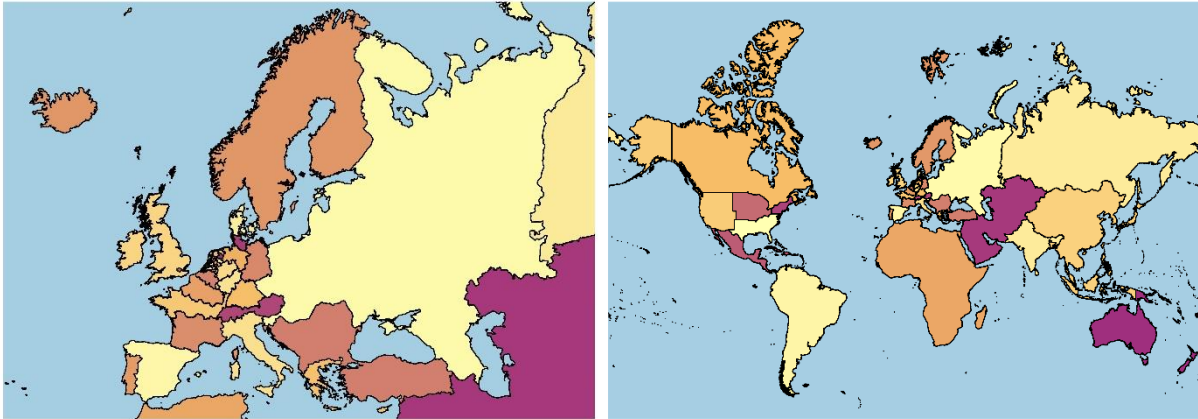
Voor vliegtrips vanuit/naar deze zones wordt ook de keuze voor de gebruikte luchthaven gemodelleerd, evenals het vervoer respectievelijk natransport naar/vanaf deze luchthaven. De gemodelleerde luchthavens zijn:

- 5 luchthavens in Nederland (AMS, RTM, EIN, MST, GRQ en potentieel in de toekomst ook LEY)
- 2 luchthavens in België (BRU, CRL)
- 4 luchthavens in Duitsland (DUS, CGN, NRN, FRA)
- 1 luchthaven in Luxemburg (LUX)
- 1 luchthaven in Noord-Frankrijk (CDG)



Figuur 1 - AEOLUS afbakening van het achterland en bijbehorende zonerings. Felrode punten geven de ligging van de luchthavens in het achterland die door AEOLUS worden gemodelleerd. Doorschijnende rode punten geven de overige luchthavens in het achterland. De grote van de punten is een maat voor het aantal passagiers dat door een luchthaven wordt verwerkt.

- 17 Europese zones (Figuur 2). Voor reizen vanuit een achterlandzone naar een Europese zone wordt ook de hoofdvervoerswijzekeuze gemodelleerd: behalve per vliegtuig kan de reiziger potentieel ook per auto of trein reizen. Elke zone bestaat in principe uit één of meerdere landen. Duitsland, Frankrijk en Groot-Brittannië zijn opgesplitst in meerdere zones.
- 12 wereldzones (Figuur 2). Elke zone bestaat uit een werelddeel of een deel daarvan.



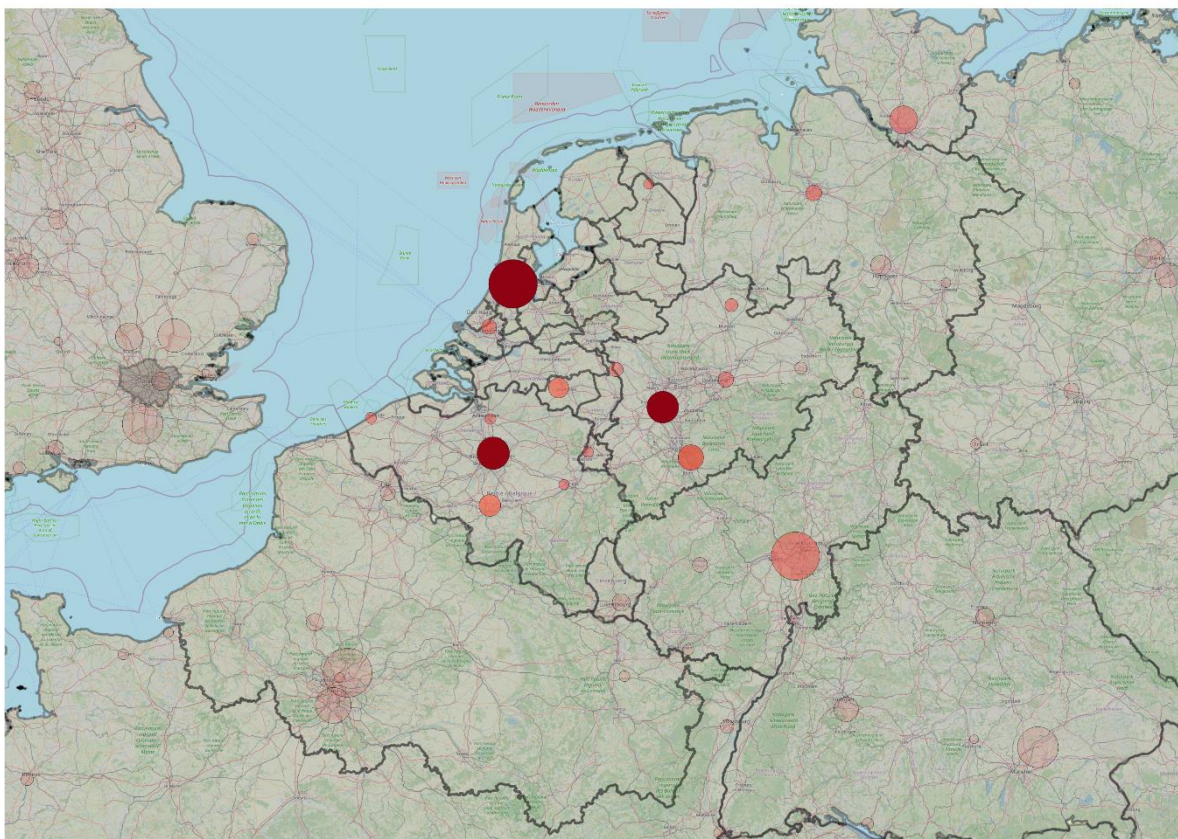
Figuur 2 - AEOLUS zonering in Europa (links) en de wereld (rechts)

5.2 Beperkingen van de huidige situatie

Het aantal zones dat AEOLUS onderscheidt is relatief klein. Veel transport- en verkeersmodellen kennen een veel fijnere zonering. Op zich is het voor een luchtvaartmodel niet altijd nodig om een vergelijkbaar fijne zonering te gebruiken, maar het verschil is nu wel erg groot en leidt tot diverse problemen. Zes problemen betreffende de huidige zonering worden in de volgende paragrafen toegelicht.

5.2.1 Afbakening achterland

Allereerst is de huidige zonering in 2003 bedacht en zijn de mobiliteitsmogelijkheden en -patronen sindsdien veranderd, zowel aan de luchtzijdige kant van een vliegreis als aan de landzijdige kant. Dat roept de vraag op of dat nog steeds de juiste afbakening is. Om dit te onderzoeken hebben we voor de vertrekkende reizigers in het Continu Onderzoek Schiphol die woonachtig zijn in Duitsland, Frankrijk, België en Luxemburg gekeken in welke deelstaat, regio of provincie ze wonen. Figuur 3 laat zien dat er nauwelijks inwoners van Wallonië of van Noord-Frankrijk (uitgezonderd van de omgeving Parijs) zijn die gebruik maken van Schiphol als vertrekluchthaven. Evenzo laat de figuur zien dat Schiphol wel interessant is voor inwoners van de deelstaat Nedersaksen in het noordwesten van Duitsland. De huidige afbakening van het achterland lijkt dus niet meer aan te sluiten bij de actuele situatie.



Figuur 4 - Gebruikte luchthavens door respondenten aan het KiM-onderzoek. De kleur van de cirkels geeft aan hoe vaak de betreffende luchthaven in het onderzoek is genoemd (hoe donkerder, hoe vaker). De grote van de punten is een maat voor het aantal passagiers dat door een luchthaven wordt verwerkt.

5.2.3 Zonering binnen Nederland

De modelresultaten van AEOLUS kunnen gebruikt worden bij de berekeningen die noodzakelijk zijn voor een MKBA. In veel gevallen is de zonering die AEOLUS nu gebruikt, toereikend, maar speciaal voor (potentiële) MKBA's die de regionale luchthavens betreffen, is de zonering in de omgeving van die luchthavens (bijv. Groningen en Maastricht) te grof. Deze luchthavens trekken reizigers aan uit een relatief beperkt gebied, maar met de huidige zonering kan daar weinig onderscheid in worden gemaakt.

5.2.4 Combineren van ongelijksoortige bestemmingen

Een veelgenoemd bezwaar tegen de werking van AEOLUS is dat dit model te veel ongelijksoortige bestemmingen combineert in zijn zones. Zo kunnen onder meer de volgende type bestemmingen onderscheiden worden:

- Vakantiebestemmingen die voor veel vakantiegangers onderling makkelijk uitwisselbaar zijn: reizigers willen naar een gebied met bijvoorbeeld mooi weer en goede voorzieningen, maar welke bestemming dat precies is maakt hen minder uit.
- Zakelijke bestemmingen waar Schiphol (min of meer) unieke transferaansluitingen op aanbiedt. Dit zijn vaak regionale luchthavens die weinig vakantieverkeer aantrekken, maar wel relatief veel zakelijke reizigers trekken die op Schiphol overstappen van/naar intercontinentale herkomsten/bestemmingen.
- Grotere overstapluchthavens.

Een onderliggend probleem bij dit bezwaar is dat AEOLUS geen bestemmingskeuze modelleert. De reacties van reizigers op bijvoorbeeld een verandering van het aanbod is voor deze type luchthavens heel verschillend: wanneer er vanaf een Nederlandse luchthaven niet meer op een bepaalde vakantiebestemming wordt gevlogen, zullen die reizigers makkelijk uitwijken naar een andere

vakantiebestemming die vanaf dezelfde luchthaven bereikt kan worden. Wanneer een bepaalde zakelijke bestemming niet aangedaan wordt, dan verliezen de reizigers uit die omgeving de mogelijkheid om relatief eenvoudig naar een groot aantal intercontinentale bestemmingen te vliegen. Zij zullen dan hele andere routes moeten gaan vinden om toch op hun bestemming te komen, of niet meer per vliegtuig reizen. De grotere overstapluchthavens in het buitenland zijn vaak via veel verschillende maatschappijen direct of indirect bereikbaar, dus het verkeer op die bestemmingen is vaak minder gevoelig voor veranderingen in het aanbod.

5.2.5 Combineren van bestemmingen met een ongelijke bereikbaarheid over land

Een ander punt is dat eilanden in het zuidelijk deel van Europa, zoals de Balearen, Canarische eilanden en de Azoren, belangrijke (vakantie)bestemmingen zijn, maar in AEOLUS zijn ondergebracht in de zones van Spanje en Portugal. Voor deze zones wordt ook de hoofdvervoerwijze-keuze gemodelleerd, zodat reizigers meer of minder per auto en trein zullen reizen onder bepaalde scenario-aannames. Echter, voor de reizigers richting deze eilanden is een reis over land zeer onrealistisch. Modelmatig is dit wellicht geen groot probleem (wanneer een deel van de reizigers minder alternatieven heeft, kan dat ook gemodelleerd worden middels een lagere kruiselasticiteit), maar dit blijft een constructie die niet goed aansluit bij de werkelijkheid en lastig uit te leggen valt aan anderen.

5.2.6 Omvang van de zones

Met name de zones buiten Europa zijn erg groot, waardoor er grote verschillen zijn in reistijd en reiskosten tussen bestemmingen aan de ene kant en de andere kant van de zone. Neem bijvoorbeeld de zone Afrika die zowel Casablanca (vliegtijd van 3u 35m) als Kaapstad (11u 20m) omvat. Dat maakt het werken met gemiddelden erg onnauwkeurig. En er ontstaan ook problemen wanneer de verandering naar de toekomst heel verschillend is binnen de zone (hetgeen met zo'n grote zone waarschijnlijk is).

Dit illustreren we aan de hand van een hypothetisch voorbeeld. Stel dat een zone twee bestemmingen bevat: een met een vliegtijd van 4 uur en de ander met een vliegtijd van 12 uur. Stel dat op alle bestemmingen in het basisjaar 6 keer per week rechtstreeks gevlogen wordt. Dan rekent AEOLUS in het basisjaar met een frequentie van 12 keer per week, en een vliegtijd van 8 uur. Stel nu dat in een bepaald scenario de frequentie op de eerste bestemming daalt naar 4 keer per week, en op de tweede bestemming toeneemt tot 8 keer per week. AEOLUS zal dan blijven rekenen met een frequentie van 12 keer per week, maar zal gaan rekenen met een (gewogen gemiddelde) vliegtijd van $(4 \times 4 + 8 \times 12) / 12 = 9,3$ uur. AEOLUS rekent dus met een gelijke frequentie en een andere reistijd, terwijl in werkelijkheid de frequenties zijn veranderd en de reistijden zijn gelijk gebleven.¹² Dit leidt tot problemen zowel bij de berekening van de verandering van het aantal passagiers (de vraagelasticiteit bij een verandering van de reistijd is anders van bij een verandering van de frequentie), als bij de berekening van de baten in een kosten-batenanalyse.

5.3 Discussie / voorgestelde verandering

5.3.1 Afbakening achterland

Om tot een goede afbakening van het achterland te komen, moeten we eerst goed omschrijven wat we daarmee bedoelen. Voor een goede werking van de passagiersmodule van AEOLUS moeten de achterlandzones de volgende gebieden omvatten:

1. Nederland;
2. Gebieden aangrenzend aan Nederland waarvan de inwoners redelijkerwijs een Nederlandse luchthaven zouden kunnen gebruiken als vertrekvluchthaven;
3. Gebieden aangrenzend aan Nederland die de eindbestemming vormen voor buitenlanders die redelijkerwijs een Nederlandse luchthaven zouden kunnen gebruiken als aankomstvluchthaven.

Aangezien de gemiddelde voortransportafstand voor luchtreizigers groter is dan de gemiddelde natransportafstand (onder meer omdat voor het voortransport vaak een (eigen) auto beschikbaar is),

¹² Omdat dit in het verleden tot vreemde effecten leidde (toename reistijd leidt tot een daling van het aantal passagiers), is ervoor gekozen om de reistijden uit het basisjaar ook bij de doorrekening van scenario's te bevriezen. Dat voorkomt onbedoelde groei-effecten, maar is nog steeds geen goede representatie van wat er in de werkelijkheid gebeurt.

mag verwacht worden dat gebied 3 kleiner is dan gebied 2, dus kunnen we ons voor de afbakening van het achterland beperken tot gebieden 1 en 2.

Op basis van de analyse uit §5.2.1 en de discussie bij het verbeterpunt D (§6) over de bereikbaarheid van Schiphol per hogesnelheidslijn is duidelijk dat we behalve Nederland ook de volgende gebieden tot het achterland moeten rekenen:

- België
 - Vlaanderen
 - Hoofdstedelijk Gewest (= Brussel)
- Duitsland
 - De stad Düsseldorf en directe omgeving
 - De stad Köln en directe omgeving
 - De rest van de deelstaat Nordrhein-Westfalen
 - De stad Frankfurt en directe omgeving
 - Het westelijk deel van de deelstaat Niedersachsen, inclusief Bremen
- Frankrijk
 - De stad Parijs en directe omgeving (in ieder geval de drie departementen die direct aan Parijs grenzen (= “Petite Couronne”))

Van de volgende gebieden is nog niet vastgesteld of ze tot het achterland behoren. Bij de definitieve vaststelling zal daar een besluit over moeten worden genomen (onder meer op basis van meer recente data). In het algemeen geldt wel dat het bij twijfel beter is om ze mee te nemen. Bij een goede afstelling van de coëfficiënten zullen de Nederlandse luchthavens een lage aantrekkelijkheid houden, met bijbehorend beperkt marktaandeel. Dus het effect op het totaal is beperkt, maar de gevoeligheden voor veranderingen zullen iets beter worden (ten koste van extra rekentijd en geheugen).

- Wallonië: Schiphol lijkt geen aantrekkelijk alternatief, maar mogelijk is Maastricht airport wel een redelijk alternatief, vooral voor inwoners van de provincie Luik.
- Luxemburg
- De deelstaten Hessen, Rijnland Palts en Saarland, en het oostelijk deel van de deelstaat Niedersachsen

Niet tot het achterland moeten worden gerekend:

- (rest van) regio Noord-Frankrijk. Dit zit wel in het huidige AEOLUS, maar de reistijd tot de Nederlandse luchthavens is dusdanig lang (in vergelijking met reistijden tot andere dichterbij liggende luchthavens), dat deze luchthavens geen redelijk alternatief vormen als vertrekluchthaven.
- Londen en Berlijn. Deze zijn weliswaar (in de toekomst) goed per HSL bereikbaar vanuit Nederland en moeten wel als aparte zone worden beschouwd, maar de reistijd naar Schiphol is dusdanig dat dit geen redelijk alternatief is als vertrekluchthaven.

5.3.2 Lijst van te modelleren luchthavens

Voor een goede werking van de passagiersmodule van AEOLUS moeten de volgende luchthavens meegenomen worden als achterlandluchthaven (mits ze een relevante omvang hebben):

1. Alle luchthavens in Nederland
2. Alle luchthavens die inwoners van Nederland redelijkerwijs kunnen gebruiken als vertrekluchthaven.

3. Alle luchthavens die buitenlanders redelijkerwijs kunnen gebruiken als aankomstluchthaven voor hun reis naar Nederland.

Hetzelfde argument over de gemiddeld grotere voortransportafstand in vergelijking met de natransportafstand zorgt ervoor dat we alleen naar punt 1 en 2 hoeven te kijken.

De vraag is nu: wat is een relevante omvang voor een luchthaven om meegenomen te worden. Als richtlijn geven we hier dat de betreffende luchthaven minstens de helft van het aantal passagiers moet hebben van het aantal passagiers op de kleinste luchthaven in Nederland. Groningen airport had gemiddeld net iets meer dan 200,000 passagiers per jaar over de periode 2016-2019. Dus uit deze richtlijn volgt als ondergrens dat de betreffende luchthaven minstens 100,000 passagiers per jaar moeten trekken.

Op basis van de analyse uit §5.2.2 wordt duidelijk dat we behalve de luchthavens in Nederland ook de volgende luchthavens moeten meenemen:

- België
 - BRU (Brussel)
 - CRL (Charleroi)
 - ANR (Antwerpen) (zit niet in huidige versie AEOLUS)
 - LGG (Luik) (zit niet in huidige versie AEOLUS)
 - OST (Oostende) (zit niet in huidige versie AEOLUS)
- Duitsland
 - DUS (Düsseldorf)
 - CGN (Köln)
 - NRN (Weeze/ Niederrhein)
 - FRA (Frankfurt)
 - DTM (Dortmund) (zit niet in huidige versie AEOLUS)
 - FMO (Münster/Osnabrück) (zit niet in huidige versie AEOLUS)
 - BRE (Bremen) (zit niet in huidige versie AEOLUS)
- Frankrijk
 - CDG (Charles de Gaulle, Parijs)

Van de volgende luchthavens is nog niet vastgesteld of meegenomen moeten worden. Bij de definitieve vaststelling zal daar een besluit over moeten worden genomen (onder meer op basis van meer recente data).

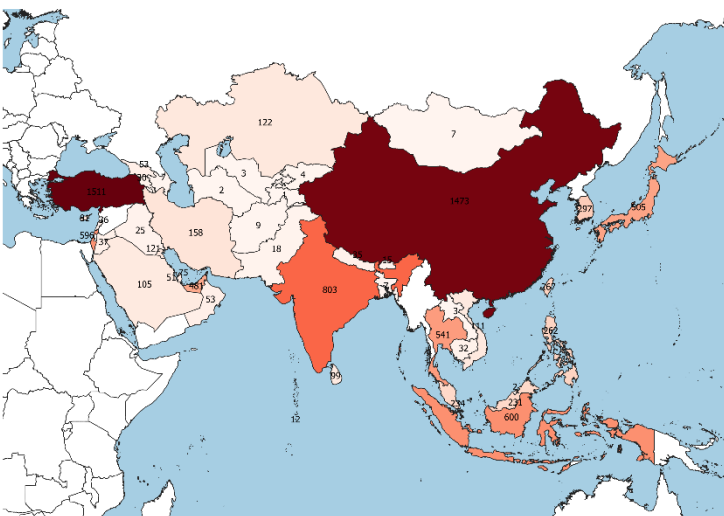
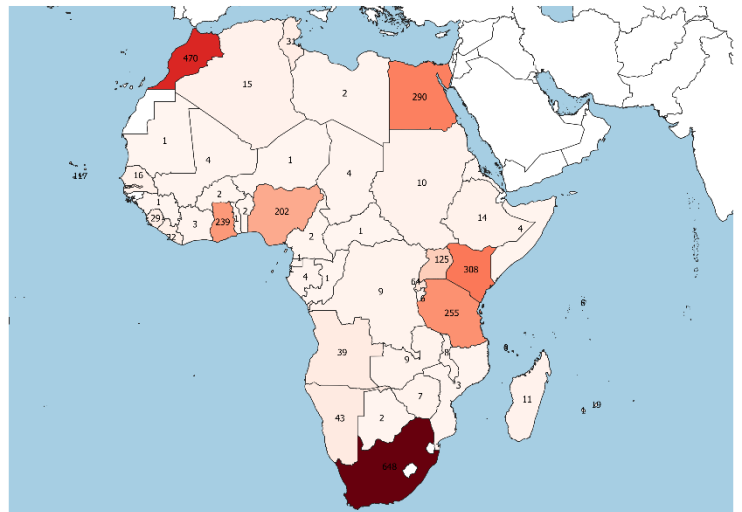
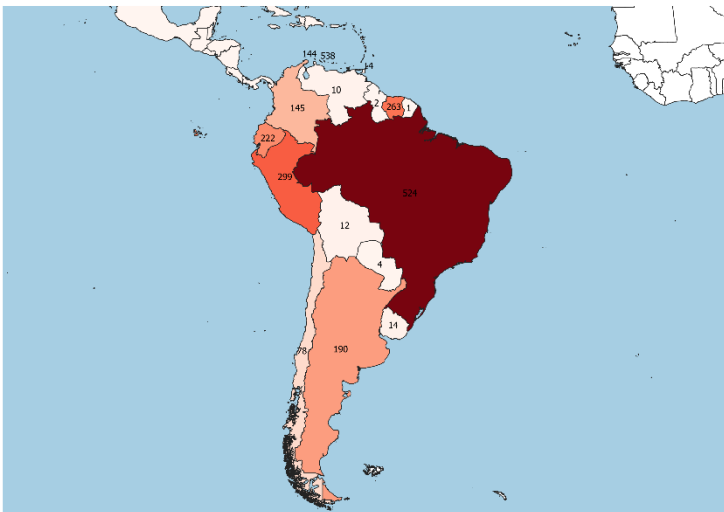
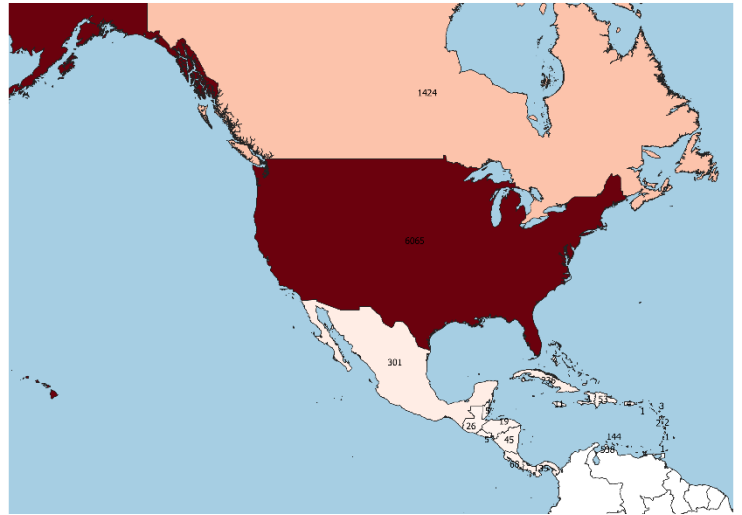
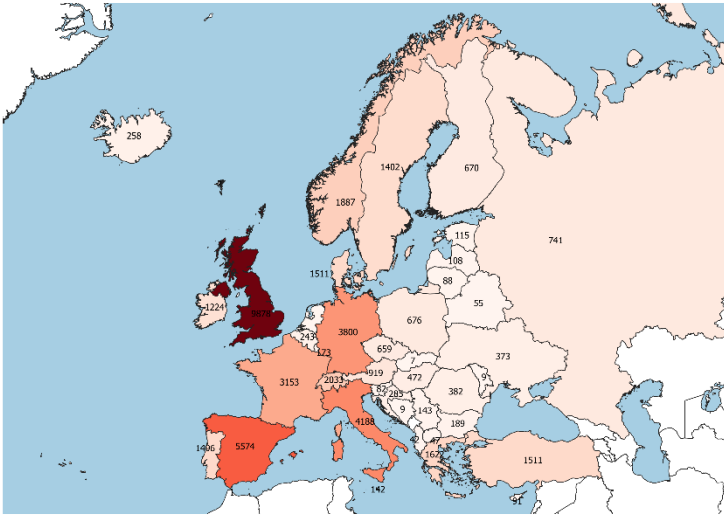
- HAM (Hamburg)
- LUX (Luxemburg)

5.3.3 Zonering

Vervolgens moet ook een optimale zone-indeling worden vastgesteld, zowel voor de gebieden in het achterland als daarbuiten. Daarbij gelden de volgende overwegingen:

- In Nederland moeten de zones voldoende klein zijn om de verschillen in toegankelijkheid tot regionale luchthavens goed te kunnen modelleren
- De zones in het achterland net over de grens mogen niet te groot zijn (wat zou leiden tot grote verschillen binnen een zone in reistijden en reiskosten naar de luchthavens) en moeten een vergelijkbare grootte hebben

- Buiten het achterland mogen de zones ook niet te groot zijn (wat zou leiden tot grote verschillen binnen een zone in de vliegtijden en vlieggkosten). Bestemmingszones moeten wel een substantieel aantal passagiers hebben, zonder dat we daar een harde grens aan (kunnen) stellen. De volgende figuren tonen het aantal passagiers op jaarbasis volgens het Continu Onderzoek Schiphol (2017). Dit aantal passagiers is per land in cijfers weergegeven (x 1000) en met een kleur (hoe donkerder, hoe meer passagiers). Deze figuren geven een goede indruk van welke landen binnen de continenten belangrijke bestemmingen vormen en hoe groot die ongeveer zijn.



- Voor een goede werking van de vrachtmodule is het belangrijk dat de zonering ook aansluit bij de regio's die daar gebruikt worden. De verbetering van de vrachtmodule wordt besproken in verbeterpunt E (§7). Een van de veronderstellingen die daar gemaakt wordt, is dat de vracht die van/naar bepaalde vrachtregio's vervoerd wordt, bij voorkeur zoveel mogelijk in de belly's van passagiersvliegtuigen zal worden vervoerd. Het is daarom van belang om een goede inschatting te krijgen van de bellycapaciteit en daarvoor is het nodig dat de zonering die gebruikt wordt in de passagiersmodule samenvalt met de zonering die gewenst is in de vrachtmodule.

Floris de Haan (Erasmus Universiteit) heeft een analyse gemaakt van de belangrijkste samenhangende vrachtregio's (zie Verbeterpunt E in §7).

- Het totaal aantal zones moet hanteerbaar zijn en moet kunnen worden gesimuleerd binnen een redelijke rekentijd op een computer met een redelijke geheugencapaciteit. Dit is voor de huidige versie van AEOLUS in GAMS een sterke beperking. Uitgezocht zou moeten worden wat de precieze beperking is, maar het is bekend dat het huidige aantal zones al tot een behoorlijke belasting van het geheugen leidt. Het is daarom maar zeer de vraag of het aantal zones in de GAMS-versie van AEOLUS substantieel kan worden uitgebreid. Het voorstel voor een toekomstige zonering die hieronder staat houdt hier geen rekening mee.

In de rechterkolom van de tabel hieronder wordt voor alle bestaande AEOLUS zones besproken of het nodig is deze aan te passen. Ter ondersteuning van de argumentatie staan daarbij in de tweede kolom per (huidige) zone de belangrijkste passagiersbestemmingen (op basis van de figuren op de vorige bladzijde) en in de derde kolom de belangrijkste vrachtregio's (op basis van de analyse van Floris de Haan).

In deze tabel is geen rekening gehouden met het eventueel opsplitsen van zones afhankelijk van of bestemmingen wel of niet rechtstreeks bereikbaar zijn vanaf een Nederlandse luchthaven (zie §4.3.3).

In deze tabel is ook nog geen rekening gehouden met eventuele restricties op basis van de beschikbare data. Wellicht zijn bepaalde uitsplitsingen niet mogelijk door databeperkingen.

| | Belangrijkste passagiersbestemmingen (Schipholdata 2017) | Belangrijkste vrachtregio's (analyse Floris de Haan) | Opmerkingen |
|---------------------------------|---|---|--|
| 1-22. Zones in Nederland | <i>(niet nader uitgezocht)</i> | | Deze 22 zones kunnen opgesplitst worden tot de 40 Corop-zones |
| 23. België | <i>(niet nader uitgezocht)</i> | | Opsplitsen in 10 Belgische provinciën? Of opsplitsen in 5 zones (Oost+West-Vlaanderen, Antwerpen, Brussel, Vlaams-Brabant+Belgisch Limburg, Wallonië) |
| 24. Luxemburg | <i>(niet nader uitgezocht)</i> | | Geen reden voor aanpassing |
| 25. Düsseldorf/Keulen | <i>(niet nader uitgezocht)</i> | | Huidige zone omvat heel Nordrhein-Westfalen, maar het is beter om dit te splitsen in twee zones: "Düsseldorf/Keulen" en "Nordrhein-Westfalen overig", dit omdat de eerste wel en de tweede zone niet goed bereikbaar is per HSL (zie verbeterpunt D in §6). |
| 26. Frankfurt e.o. | <i>(niet nader uitgezocht)</i> | | Huidige zone omvat Hessen, Rheinland-Pfalz en Saarland, maar het is beter om een aparte zone "Frankfurt" te maken vanwege de goede bereikbaarheid per HSL (zie verbeterpunt D in §6). De rest van de oude zone kan een aparte zone blijven, of samengevoegd worden met Zuid-Duitsland. |
| 27. Parijs e.o. | <i>(niet nader uitgezocht)</i> | | Ile-de-France of Petit Couronne (incl. Parijs) moet een aparte zone worden vanwege de goede bereikbaarheid per HSL (zie verbeterpunt D in §6). Overige departementen kunnen zone Frankrijk-Noord worden. |

| | Belangrijkste passagiersbestemmingen (Schipholdata 2017) | Belangrijkste vrachtregio's (analyse Floris de Haan) | Opmerkingen |
|-----------------------------|--|--|---|
| 28. Hannover/Bremen | (niet nader uitgezocht) | | Dit omvat onder meer de deelstaat Niedersachsen waarvan in ieder geval het westelijk deel tot het achterland moet gaan behoren. Dus wellicht is het nodig om deze zone te splitsen in een oostelijk en westelijk deel. |
| 29. Hamburg | (niet nader uitgezocht) | | Geen reden voor aanpassing |
| 30. Zuid-Duitsland | (niet nader uitgezocht) | | Geen reden voor aanpassing |
| 31. Oost-Duitsland | (niet nader uitgezocht) | | Berlijn moet een aparte zone worden vanwege de (mogelijk) toekomstige bereikbaarheid per HSL (zie verbeterpunt D in §6). |
| 32. Londen | (niet nader uitgezocht) | | Geen reden voor aanpassing |
| 33. Groot-Brittannië overig | (niet nader uitgezocht) | | Gezien het belang van Groot-Brittannië voor het hub-netwerk van Schiphol, kan onderzocht worden of het zinvol is om deze zone verder op te delen. |
| 34. Frankrijk Zuid | (niet nader uitgezocht) | | Geen reden voor aanpassing. Corsica kan gewoon onderdeel blijven van deze zone: met de veerboot is dit eiland nog steeds goed bereikbaar zonder te hoeven vliegen. |
| 35. Frankrijk-overig | (niet nader uitgezocht) | | Geen reden voor aanpassing. Zonenaam kan "Frankrijk-Midden" worden. |
| 36. Denemarken | (niet nader uitgezocht) | | Geen reden voor aanpassing |
| 37. Scandinavië | Noorwegen Zweden Finland | | Gezien het aantal passagiers per land is het verstandig om Noorwegen en Zweden aparte zones te maken. Finland zou ook een aparte zone kunnen worden, of samengevoegd met de Baltische staten. IJsland blijft dan nog over en zal ook een aparte zone moeten worden. |
| 38. Zwitserland/Oostenrijk | Zwitserland Oostenrijk | | Gezien het aantal passagiers per land is het verstandig om een aparte zone per land te maken. |
| 39. Spanje | (niet nader uitgezocht) | | De Balearen en de Canarische eilanden kunnen worden opgenomen in een nieuwe zone "Europese vakantie-eilanden". |
| 40. Portugal | (niet nader uitgezocht) | | De Azoren kunnen worden opgenomen in een nieuwe zone "Europese vakantie-eilanden". |
| 41. Italië/Malta | (niet nader uitgezocht) | | Malta kan worden opgenomen in een nieuwe zone "Europese vakantie-eilanden". Er kan overwogen worden om ook Sardinië in deze nieuwe zone op te nemen. Door de goede bereikbaarheid per veerboot is het wel verstandig om Sicilië in de Italiaanse zone te behouden. |
| 42. Griekenland | (niet nader uitgezocht) | | Griekenland bestaat uit veel eilanden. Maar aangezien Griekenland zelf al niet goed over land bereikbaar is (mede door de lange reistijd), is er niet veel toegevoegde waarde aan het opnemen van deze eilanden (incl. Kreta en Cyprus) in de nieuwe zone "Europese vakantie-eilanden". |
| 43. Zuidoost-Europa | Turkije | | Turkije trekt meer passagiers dan de Balkan-regio en kan daarom een aparte zone worden. |
| 44. Oost-Europa | Polen | | Het is aan te raden om Rusland en Polen in aparte zones op te nemen. De Baltische staten kunnen ook een aparte zone worden, of worden samengenomen met Finland. Over Wit-Rusland en Oekraïne moet nog worden nagedacht. |
| 45. VS-Noordoost | (niet nader uitgezocht) | VS-oostkust | Geen reden voor aanpassing |
| 46. VS-Zuid | (niet nader uitgezocht) | VS-Zuidoost VS-midden-zuiden | Geen reden voor aanpassing. Het lijkt geen probleem dat er twee vrachtregio's samenvallen met één passagiersregio. De vrachtregio's moeten dan worden samengevoegd. |

| | Belangrijkste passagiers-bestemmingen (Schipholdata 2017) | Belangrijkste vracht-regio's (analyse Floris de Haan) | Opmerkingen |
|-----------------------------|---|---|---|
| 47. VS-Midwest | (niet nader uitgezocht) | Ohio Vallei | Geen reden voor aanpassing |
| 48. VS-West | (niet nader uitgezocht) | VS-westkust | Geen reden voor aanpassing |
| 49. Canada | (niet nader uitgezocht) | - | Geen reden voor aanpassing |
| 50. Centraal Amerika | Aruba/Curaçao Mexico Cuba | Mexico | Het is aan te raden om Mexico en Aruba/Curaçao/Ned.Antillen aparte zones te maken. De overige delen van Centraal Amerika kunnen over deze twee nieuwe zones worden verdeeld. |
| 51. Zuid-Amerika | Brazilië Peru/Ecuador/Colombia Argentinië/Chili Suriname | Zuid-Amerika West Zuid-Amerika Zuid | Gezien het verschil in afstand tussen de verschillende delen ligt het voor de hand om deze zone op te splitsen in een West/Zuid/Oost-deel. Gezien de aparte status van Suriname in het netwerk van Schiphol is waarschijnlijk verstandig om hier een aparte zone van te maken (of een Noord-zone van Zuid-Amerika te maken). |
| 52. Afrika | Zuid-Afrika Kenia/Tanzania/Oeganda Nigeria/Ghana Marokko Egypte | Afrika Zuid Afrika Oost Afrika West | Gezien het verschil in afstand tussen de verschillende delen ligt het voor de hand om deze zone op te splitsen in een West/Zuid/Oost/Noord-deel. Er moet nog nagedacht worden of het nodig is om het Noord-deel verder op te splitsen (bijv. Egypte en Marokko apart) |
| 53. Midden-Oosten | Israël Ver. Arabische Emiraten Kazachstan | Israël Saudie-Arabië/VAE/Qatar Egypte/Jordanië/Libanon Koeweit Astana-regio Almaty-regio | Het lijkt verstandig om van Israël een aparte zone te maken gezien de omvang van de passagiersstroom. Kazachstan kan met de rest van centraal Azië een aparte zone vormen. Verder opsplitsing lijkt niet nodig. |
| 54. Australië / Nw. Zeeland | Australië | Australië-oostkust | Geen reden voor aanpassing |
| 55. Zuidoost-Azië | China Japan/Zuid-Korea Indonesië/Maleisië/Filip. Thailand | Beijing-regio Shanghai-regio Pearl-river-delta Taiwan Zuid-Korea Japan Singapore/Kuala Lumpur/Jakarta | Het ligt voor de hand om China als aparte zone op te nemen, maar een verdere opsplitsing van China lijkt niet nodig. Het lijkt geen probleem dat er drie vrachtregio's samenvallen met één passagiersregio. De vrachtregio's moeten dan worden samengevoegd. Verder moet Japan+Zuid-Korea een aparte zone worden, evenals Indonesië+Maleisië+Filipijnen+Singapore. De rest van de zone (inclusief Thailand) kan in zone Zuidoost-Azië blijven. |
| 56. Azië overig | India | Delhi Calcutta Bangalore/Mumbai Pakistan | Het ligt voor de hand om India als aparte zone op te nemen, maar een verdere opsplitsing lijkt niet nodig. De bijbehorende vrachtregio's moeten dan worden samengevoegd. |

5.4 Plan van aanpak

De volgende stappen moeten worden doorlopen:

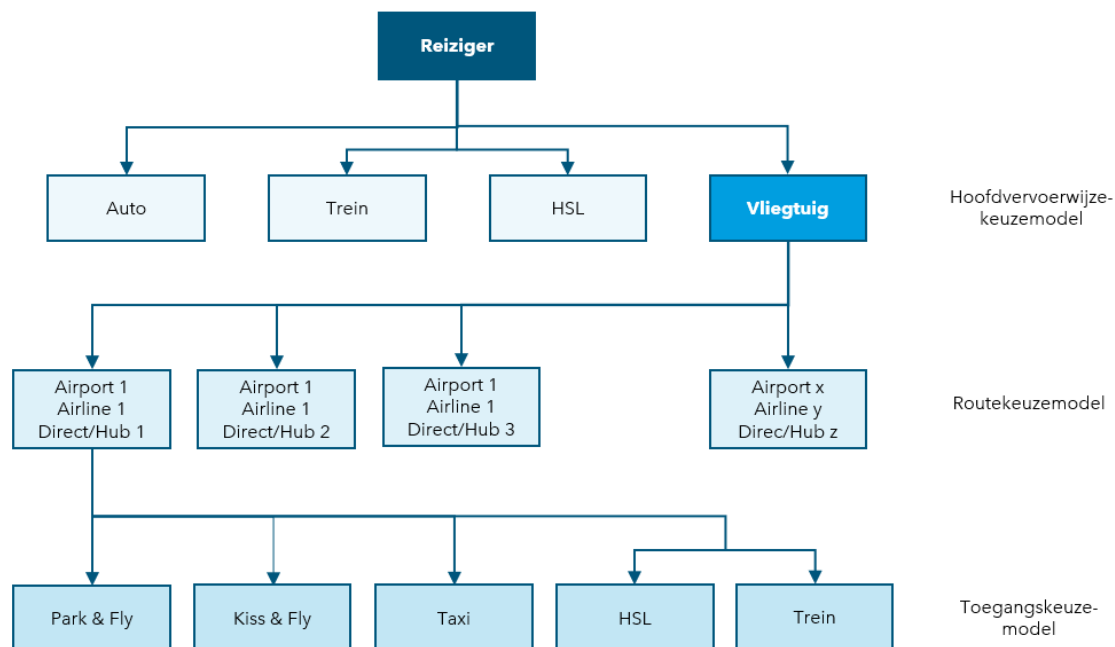
1. (Beperkt) onderzoek naar het maximaal aantal zones dat AEOLUS binnen zijn huidige softwareomgeving aan kan geven een zekere maximaal acceptabele rekentijd
2. Opstellen en vaststellen van de definitieve nieuwe zonering en lijst met luchthavens in het achterland die apart gemodelleerd worden. Hierbij moeten onder meer de technische beperkingen en de databeschikbaarheid meegenomen worden in de afwegingen. Ook moeten de meest recente passagiersaantallen daarbij gebruikt worden.
3. Afleiden van nieuwe matrices met het aantal passagiers per zone-zone-combinatie op basis van het Continu Onderzoek Schiphol en de nieuwe zonering

4. Opstellen van de nieuwe level-of-service invoerbestanden voor AEOLUS. Aangezien NetCost al op het niveau van individuele luchthavens werkt, hoeft hiervoor alleen een nieuwe vertaaltabel (individuele luchthavens -> bijbehorende zone) opgesteld te worden.
5. Aanpassen AEOLUS
6. Testen
7. Aanpassen documentatie

6. Verbeterpunt D - reiskosten andere modaliteiten

6.1 Huidige situatie

De keuzeset voor de hoofdmodekeuze bestaat voor reizigers in AEOLUS uit vier alternatieven: vliegtuig, auto, reguliere trein en hogesnelheidslijn-trein¹³ (Figuur 5). Voor herkomst-bestemmingsparen binnen Europa zijn, afhankelijk van de beschikbaarheid van hogesnelheidstreinen, drie of vier alternatieven beschikbaar, voor intercontinentale verbindingen is alleen het vliegtuig een realistisch alternatief. In het hoofdvervoerwijzekeuze-model wordt de keuze tussen de alternatieven gesimuleerd. Deze keuze wordt bepaald aan de hand van de reistijden en reiskosten van de beschikbare alternatieven en deze worden door AEOLUS ingelezen uit een landzijdige level-of-service bestand (zie Figuur 6 voor een fragment).



Figuur 5 - geneste structuur van de keuzemodellen in AEOLUS

Daarnaast modelleert AEOLUS voor OD-reizigers ook de keuze voor de vervoerwijze van het voor- of natransport (aan de zijde van het achterland). Hiervoor zijn vijf vervoerwijzen beschikbaar: auto (parkeren), auto (wegbrengen), taxi, (gewone) trein en hogesnelheidstrein. Deze reistijden en reiskosten worden ingelezen uit een voor-/natransport level-of-service bestand (zie Figuur 7 voor een fragment).

¹³ Soms afgekort tot HST of HSL.

| landzoneO | landzoneD | TrainDist | TrainTime | TrainCost | TGVDist | TGVTime | TGVCost |
|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| Amsterdam | Denemarken | 802 | 508.2 | 128.32 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Amsterdam | Frankfurt | 451 | 259.6 | 72.16 | 451 | 155.76 | 126.28 |
| Amsterdam | Frankrijk | 888 | 545.6 | 142.08 | 888 | 327.36 | 248.64 |
| Amsterdam | GBritannie | 842 | 609.4 | 134.72 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Amsterdam | Griekenlnd | 2835 | 1720.4 | 453.6 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Amsterdam | Hamburg | 476 | 267.3 | 76.16 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Amsterdam | Hann-Brem | 385 | 226.6 | 61.6 | 385 | 135.96 | 107.8 |
| Amsterdam | Italie | 1664 | 977.9 | 266.24 | 1664 | 586.74 | 465.92 |
| Amsterdam | Londen | 535 | 422.4 | 85.6 | 535 | 253.44 | 149.8 |
| Amsterdam | Lyon-Marsl | 930 | 552.2 | 148.8 | 930 | 331.32 | 260.4 |
| Amsterdam | O-Duitslnd | 669 | 378.4 | 107.04 | 669 | 227.04 | 187.32 |
| Amsterdam | O-Europa | 1205 | 655.6 | 192.8 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Amsterdam | Parijs | 513 | 321.2 | 82.08 | 513 | 192.72 | 143.64 |
| Amsterdam | Portugal | 2223 | 1344.2 | 355.68 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Amsterdam | Scandinav | 1448 | 887.7 | 231.68 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Amsterdam | Spanje | 1759 | 1065.9 | 281.44 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Amsterdam | Z-Duitslnd | 839 | 457.6 | 134.24 | 839 | 274.56 | 234.92 |
| Amsterdam | ZO-Europa | 2123 | 1289.2 | 339.68 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Amsterdam | Zwit-Orijk | 943 | 534.6 | 150.88 | 943 | 320.76 | 264.04 |

Figuur 6 - fragment uit het landzijdige level-of-service bestand voor alle OD-paren met herkomstzone Amsterdam. De waarde 99999 geeft aan dat een verbinding niet beschikbaar is.

| ZoneName | AirportNa | TrainDist | TrainTime | PreTrainTi | AfterTrain | TrainCost | TGVDist | TGVTime | PreTGVTi | AfterTGV | TGVCost |
|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Amsterdam | AMS | 17.3519 | 11.5536 | 13.4656 | 5.3002 | 3.859352 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Schiphol | AMS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Hilversum | AMS | 40.4734 | 35.3618 | 13.451 | 5.7323 | 7.86986 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Haarlem | AMS | 31.3257 | 20.9156 | 21.5903 | 5.7531 | 6.790844 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| N-Holland | AMS | 52.4183 | 39.8957 | 19.7635 | 5.7591 | 10.22789 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| DenHaag | AMS | 49.1206 | 31.0515 | 16.5431 | 5.7269 | 9.675389 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Rotterdam | AMS | 72.5342 | 43.0388 | 24.1522 | 5.7194 | 14.25643 | 72.5342 | 25.8233 | 24.1522 | 5.7194 | 24.94875 |
| Gouda | AMS | 58.9317 | 37.7159 | 22.65 | 5.6712 | 10.57868 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Z-Holland | AMS | 60.8322 | 41.0865 | 19.8286 | 5.6994 | 11.233 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Utrecht | AMS | 54.9624 | 38.5368 | 18.0605 | 5.5741 | 10.21647 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Zeeland | AMS | 197.7442 | 139.1877 | 24.7681 | 5.7199 | 29.11 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Eindhoven | AMS | 136.3001 | 86.0913 | 21.7084 | 5.7207 | 23.47447 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| N-Brabant | AMS | 117.852 | 72.5528 | 21.7633 | 5.7196 | 21.13231 | 117.852 | 43.5317 | 21.7633 | 5.7196 | 36.98155 |
| Arnhem | AMS | 117.7247 | 81.2407 | 18.8186 | 5.7197 | 20.49884 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Gelderland | AMS | 108.8227 | 77.0463 | 23.4054 | 5.7231 | 19.08563 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Maastricht | AMS | 223.8062 | 144.6879 | 17.2978 | 5.7203 | 30.30925 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Limburg | AMS | 175.8852 | 116.9411 | 19.1806 | 5.7203 | 27.12347 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Overijssel | AMS | 148.9787 | 101.3975 | 18.577 | 5.7201 | 24.30996 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Drenthe | AMS | 192.1605 | 114.3867 | 20.0325 | 5.72 | 28.91343 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Groningen | AMS | 239.134 | 142.9746 | 20.758 | 5.7181 | 29.23652 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Friesland | AMS | 222.6073 | 135.2579 | 23.2202 | 5.7188 | 28.45773 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Flevoland | AMS | 65.9879 | 44.8671 | 18.2782 | 5.7275 | 11.82442 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| Belgie | AMS | 255.3957 | 173.9022 | 21 | 5 | 42.312 | 255.3957 | 104.3413 | 21 | 5 | 74.046 |
| Luxemburg | AMS | 401.4181 | 257.4843 | 21 | 5 | 66.43839 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 | 99999 |
| DdorfKoln | AMS | 276.308 | 187.7696 | 21 | 5 | 45.47369 | 276.308 | 112.6617 | 21 | 5 | 79.57895 |
| Frankfurt | AMS | 434.1925 | 306.8325 | 21 | 5 | 72.19385 | 434.1925 | 184.0995 | 21 | 5 | 126.3392 |
| Parijs | AMS | 596.221 | 392.4253 | 21 | 5 | 111.5356 | 596.221 | 235.4552 | 21 | 5 | 195.1873 |
| Amsterdam | BRU | 229.2581 | 154.9611 | 13.4656 | 5 | 38.17556 | 229.2581 | 92.9767 | 13.4656 | 5 | 66.80723 |
| Amsterdam | DUS | 260.7946 | 182.1661 | 13.4656 | 5 | 42.80959 | 260.7946 | 109.2996 | 13.4656 | 5 | 74.91678 |
| Amsterdam | FRA | 499.431 | 359.8547 | 13.4656 | 5 | 82.67592 | 499.431 | 215.9128 | 13.4656 | 5 | 144.6829 |
| Amsterdam | CDG | 603.2276 | 395.1534 | 13.4656 | 5 | 113.0873 | 603.2276 | 237.0921 | 13.4656 | 5 | 197.9028 |

Figuur 7 - twee fragmenten uit het voor- en natransport level-of-service bestand voor (1) het voortransport tussen alle herkomstzones in het achterland naar luchthaven Schiphol, en (2) het voortransport tussen de herkomstzone Amsterdam en vier grote luchthavens buiten Nederland. De waarde 99999 geeft aan dat een verbinding niet beschikbaar is.

Beide level-of-service bestanden zijn in 2014/15 geactualiseerd. De manier waarop ze zijn opgesteld staat beschreven in appendix A van het rapport "Actualisatie AEOLUS model" uit juni 2015. Samengevat komt het er voor het landzijdige level-of-service bestand op neer dat de reisafstand en reistijd tussen

Amsterdam en de belangrijkste stad in elke zone zijn opgezocht met Google-Maps. Reistijden en -kosten per regulier trein en hogesnelheidstrein zijn bepaald door middel van het toepassen van vaste factoren op de autotijden. Bij het bepalen van de beschikbaarheid van hogesnelheidstreinen is rekening gehouden met de hogesnelheidstreinen die vanuit Nederland beschikbaar zijn (Amsterdam – Parijs, Amsterdam – Brussel, Amsterdam – Frankfurt – Basel, Amsterdam – Berlijn) en hogesnelheidslijnen in Europa. Op basis hiervan is bepaald welke verbindingen grotendeels met een hogesnelheidslijn afgelegd kunnen worden. Voor deze zones wordt de hogesnelheidstrein beschikbaar gemaakt. Het level-of-service bestand voor het voor- en natransport van de vliegreis is bepaald uit een gewogen middeling van de reistijden en -kosten uit een LMS-netwerk. Kenmerken van treinreizen van/naar zones in Nederland kunnen ook zo worden bepaald, maar dat is niet mogelijk voor treinreizen van/naar de buitenlandse zones. Daarom zijn deze bepaald door vermenigvuldiging van de autotijden met een vaste factor. Een aantal van de luchthavens (FRA, DUS, CGN, BRU, AMS) is vanaf bepaalde zones (Amsterdam, Rotterdam, Noord-Brabant, België, Parijs, Frankfurt, Düsseldorf/Keulen) ook met hogesnelheidstreinen bereikbaar. In het LMS wordt dit onderscheid niet gemaakt. Op basis van de gemiddelde verschillen in de daadwerkelijke prijs en echte reistijd tussen hogesnelheid- en reguliere trein op de verbindingen Keulen–Frankfurt en Amsterdam-Brussel zijn vaste correctiefactoren op de reistijd en de prijs van een reguliere trein berekend.

6.2 Beperkingen van de huidige situatie

Er is behoefte om de effecten van ontwikkelingen in reistijden en reiskosten van HSL op de luchtvaart in beeld te kunnen brengen. Het gaat hierbij in het bijzonder om de bereikbaarheid per HSL van zes metropolen, zoals genoemd in het rapport Actieagenda Trein en Luchtvaart (november 2020)¹⁴:

- Brussel
- Parijs
- Düsseldorf/Keulen
- Frankfurt
- Berlijn
- Londen

In principe is dat met de huidige versie van AEOLUS mogelijk, maar dan moeten de reistijden en -kosten in het huidige level-of-service bestand worden veranderd met de ontwikkeling in de reistijden en reiskosten volgens het scenario. Dit kan verwarrend zijn omdat de tijden en kosten in de huidige level-of-service vaak niet (meer) goed overeenkomen met de werkelijke tijden en kosten. Dit komt mede door de simpele manier waarop met name de kenmerken van reizen per HSL zijn bepaald. Daarnaast is er nog niet eerder een studie gedaan of een complete test uitgevoerd om te zien of de gevoeligheden voor veranderingen in de HSL-kenmerken tot plausibele resultaten leiden.

6.3 Discussie

AEOLUS is een luchtvaartmodel en het is niet de intentie om een volledige internationaal langeafstandsmodel te ontwikkelen. De huidige structuur van het model is voldoende om de gevraagde effecten in beeld te kunnen brengen. Wel zijn er diverse verbeteringen mogelijk:

- **Splitsing HSL en reguliere treinen.** Voor diverse routes worden deels HSL-treinen en deels reguliere treinen gebruikt. Een scherp onderscheid maken is daarom niet mogelijk. Vanuit beleidsperspectief is dat ook niet altijd nodig en is het afdoende om de ontwikkelingen op de zes genoemde lijnen te kunnen monitoren. Bovendien is het voor de hoofdvervoerwijzekeuze ook niet nodig om de concurrentie tussen reguliere trein en HSL te modelleren. Vaak is slechts een van beide een reëel alternatief. Daarom is het aan te raden om de HSL-modaliteit alleen te gebruiken voor het HSL-verkeer naar de zes genoemde metropolen (met eventueel voor/natransport naar het HSL-

¹⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/11/20/bijlage-1-actieagenda-trein-vliegtuig>

station per reguliere trein). Dit vereenvoudigt de interpretatie en vergroot de bruikbaarheid van de AEOLUS-resultaten.

Merk op dat dit geen beperking vormt voor de doorrekening van scenario's waarbij korte afstandsvliegverkeer wordt ontmoedigd, zolang de kenmerken van het reguliere trein-alternatief maar correct zijn (en waarbij een deel van het betreffende traject per HSL kan worden afgelegd).

- **Zonering.** De level-of-servicebestanden gaan uit van gemiddelde kenmerken voor alle herkomsten/bestemmingen binnen de zone. Hiervoor wordt meestal een typische stad in de zone gekozen, maar er kunnen grote verschillen zijn binnen een zone, zeker als deze wat groter is. De aantrekkelijkheid van HSL zit in de korte reistijden, maar die gelden echt alleen voor de metropool waar een HSL-station aanwezig is, en niet voor de wijdere regio. Het is daarom van belang om de zes genoemde metropolen als aparte regio te beschouwen.
 - Brussel is momenteel onderdeel van de zone België. Het hoofdstedelijke gewest Brussel moet daarom een aparte zone in AEOLUS worden.
 - Parijs is momenteel onderdeel van de zone Parijs e.o., maar deze zone omvat heel Noord-Frankrijk. Het is beter om de regio Île-de France af te splitsen van de rest van Noord-Frankrijk.
 - Düsseldorf/Keulen vormen samen met de rest van de deelstaat Noordrijn-Westfalen een aparte zone. Het is beter om deze te splitsen.
 - Frankfurt is onderdeel van de zone Frankfurt e.o. die verder de deelstaten Hessen, Rijnland Palts en Saarland omvat. Ook hier is het beter deze te splitsen.
 - Berlijn is onderdeel van de zone Oost-Duitsland en ook deze kan beter afgesplitst worden.
 - Londen vormt al een aparte zone.

Bij deze splitsingen van bestaande zones is het overigens altijd wel de vraag wat de verdere implicaties zijn voor andere invoerbestanden van AEOLUS. Met name de OD-matrix die wordt afgeleid van uit het Continu Onderzoek Schiphol is hier relevant. De versie die ons hiervan bekend is, laat de afsplitsingen van Brussel en Parijs toe, maar het geografisch detailniveau voor Duitsland is slechts op basis van deelstaten. Dat betekent dat additionele veronderstellingen nodig zijn voor deze afsplitsing.

- **Level-of-service bestanden.**
 - Landzijdige level-of-service (i.e. reistijden en -kosten voor reizen binnen Europa). De gevolgde methode voor het opzoeken van de autoreistijden bij Google Maps werkt goed. Tegenwoordig geeft Google Maps ook reistijden per trein, zodat het eenvoudig is om de huidige methode voor de bepaling van de treinreistijden (i.e. correctiefactor op de autoreistijd) te verbeteren. De reiskosten per trein zijn dusdanig variabel dat de enige mogelijkheid blijft om deze te benaderen door middel van een regressie, zoals nu ook gebeurt. Wel kunnen de regressiefactoren enigszins gevarieerd worden door bijvoorbeeld land-specifieke coëfficiënten te bepalen voor nabijgelegen zones (Frankrijk, Duitsland). Voor de HSL-lijnen moet gecontroleerd worden of de Google Maps-methode de juiste reistijden oplevert, zo niet dan moeten deze apart opgezocht worden (en evenzo de prijzen).
 - Voor-/natransport level-of-service (i.e. reistijden en -kosten voor reizen van/naar luchthavens in het achterland). De gevolgde methode voor de bepaling van de reiskenmerken op basis van het LMS-netwerk lijkt goed te werken. Alleen de methode voor de bepaling van de treintijden vanuit buitenlandse zones is heel generiek (met een vaste correctiefactor op autoreistijden) en zou specifiekere kunnen. Deze methode levert slechts een benadering van de werkelijke tijden en -kosten op en is eenvoudig te verbeteren. Hetzelfde geldt voor de kenmerken van de HSL-lijnen.
- **Nest-structuur.** De nest-coëfficiënt voor het trein-nest (regulier en HSL) is in het huidige AEOLUS voor zowel de hoofdvervoerwijze-keuze als de voor/natransportvervoerwijzekeuze gelijk aan 1. Als de definitie van HSL wordt aangepast (zie hierboven), dan is er binnen het model voor de hoofdvervoerwijze-keuze geen sprake meer van een competitie tussen HSL en reguliere trein (voor elke route is slechts een van beide beschikbaar), en kan de nest-coëfficiënt op 1 blijven staan. Voor de voor/natransport vervoerwijzekeuze zal er op specifieke routes (bijv. Rotterdam-Schiphol,

Antwerpen-Schiphol, Amsterdam-Brussel airport) wel concurrentie blijven (zowel regulier als HSL zijn beschikbaar). Maar een nest-coëfficiënt van 1 lijkt te hoog (want dan zijn trein, HSL en auto gelijkwaardig in een MNL-modellering), aan de andere kant is een coëfficiënt van 0 zeker te laag (dan is er geen uitwisseling tussen trein/HSL aan de ene kant, en auto aan de andere kant). De nest-coëfficiënt zal dus tussen 0 en 1 moeten liggen, maar er is waarschijnlijk geen data beschikbaar om deze op te bepalen. Dat betekent dat we moeten terugvallen op expert judgement.

- **Invoermogelijkheden voor toekomstige scenario's.** Momenteel is het alleen mogelijk om de kenmerken van het landzijdige hoofdtransport en van het voor- en natransport generiek aan te passen voor de toekomstscenario's, door middel van een algemene groeifactor op de tijden of de kosten. Echter, speciaal voor de HSL-routes zou het mogelijk moeten zijn om route-specifieke aannames te doen. Dat zou een kleine aanpassing in de invoer vergen. Een alternatief is dat de toekomstige level-of-service kenmerken van de HSL ook in een invoerbestand worden gespecificeerd, zodat de gebruiker deze invoer heel specifiek kan aanpassen.
- **Modellering verkeer binnen het achterland.** Momenteel wordt alleen verkeer op de driehoek AMS-FRA-CDG gemodelleerd, maar het zou beter zijn om het verkeer vanuit alle Nederlandse zones naar Parijs en Frankfurt te modelleren zodat steeds een keuze kan worden gemaakt tussen vliegen en per auto of trein.

6.4 Voorgestelde verandering

Herdefinieer HSL als het HSL-treinverkeer op de routes naar de zes genoemde metropolen

Pas de zonering aan zodanig dat de zes metropolen die goed per hogesnelheidstrein bereikbaar zijn, aparte zones gaan vormen.

Maak de landzijdige level-of-service realistischer. Het gaat om de volgende variabelen:

- **CarDist, CarTime** Bepaling met Google Maps kan zo blijven
- **TrainDist, TGVDist** Gelijkstelling aan CarDist kan zo blijven
- **TrainTime** Reistijden per trein (nu bepaald middels een correctiefactor op autoreistijd) kunnen beter opgevraagd worden bij Google Maps
- **TrainCost** Dit zal met een regressie op TrainTime of TrainDist moeten gebeuren (net zoals nu gebeurt), maar regressiecoëfficiënten kunnen landspecifiek worden gemaakt voor een beperkte set landen.
- **TGVTime** Er moet bekeken worden of de Google Maps treintijden rekening houden met HSL-verbindingen. Zo niet, dan kunnen deze opgezocht worden op dezelfde manier als voor TGVCost.
- **TGVCost** deze kunnen voor een beperkte set routes opgezocht worden, bijv. tussen Amsterdam, Rotterdam, Utrecht, Eindhoven, Arnhem aan de ene kant en Brussel, Parijs, Düsseldorf, Keulen, Frankfurt, Berlijn, Londen aan de andere kant. Voor andere routes (i.e. voor andere herkomsten uit het achterland) moeten die middels rekenregels worden afgeleid.

Maak de voor-/natransport level-of-service realistischer. Het gaat om de volgende variabelen:

- De methode om de reistijden/-kosten per auto en trein op basis van een LMS-netwerk te bepalen kan zo blijven.
- De kenmerken van reguliere treinreizen vanuit het buitenland worden nu bepaald door vermenigvuldiging van de autotijden met een vaste factor. Deze factor kan specifieker worden gemaakt (bijv. land-specifiek of zone-specifiek).
- Omdat HSL-reizen voor slechts een beperkt aantal (bestemmings)zones beschikbaar is, kunnen voor deze routes de treintijden en -kosten worden opgezocht (via Google-Maps of via de websites van de betreffende treinmaatschappijen).

Heroverweeg de waarde van de nest-coëfficiënt.

Zorg ervoor dat op de HSL-routes route-specifieke aannames kunnen worden gedaan over de kwaliteit van de toekomstige verbindingen.

6.5 Plan van aanpak

Plan van aanpak voor de aanpassing zonering; zie hoofdstuk §5

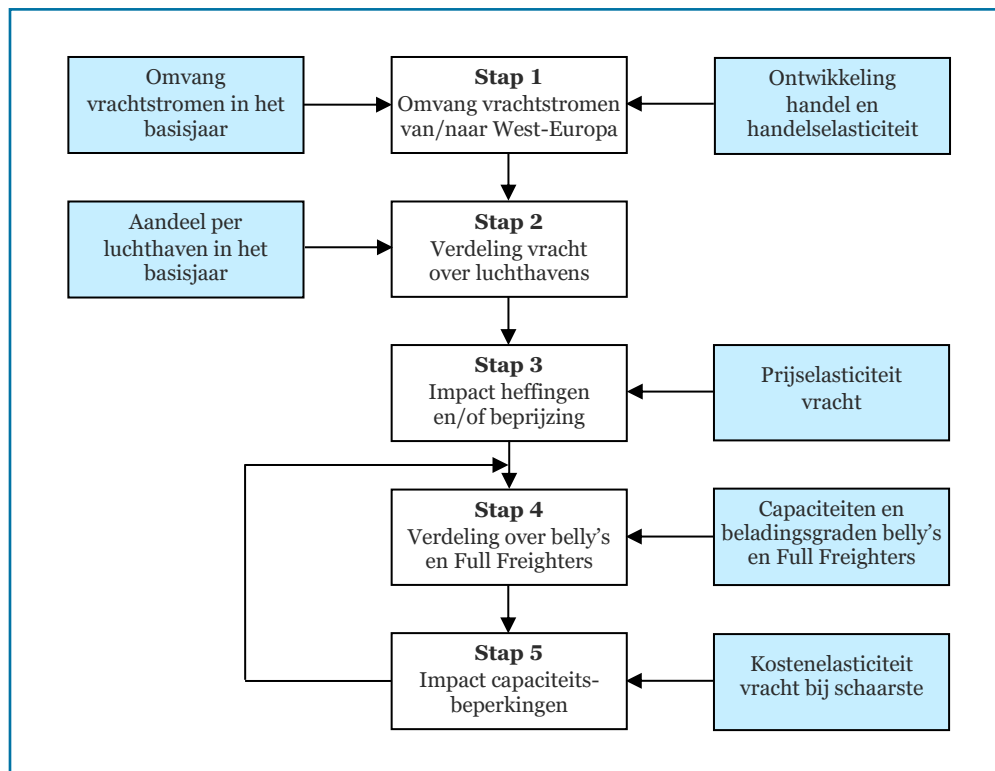
De volgende stappen moeten worden doorlopen

1. Maak een nieuwe landzijdige level-of-service (zie §6.4 voor details)
2. Maak een nieuwe voor-/natransport level-of-service (zie §6.4 voor details)
3. Maak een aparte level-of-service file voor HSL-verbindingen (zowel hoofd als voor-/natransport) en maak aparte files voor het basisjaar en voor de toekomstjaren (waarbij het jaar waarin een verbetering optreedt ook te specificeren is). Pas de code van AEOLUS aan zodat hij van deze nieuwe invoerbestanden gebruik maakt.
4. Voer enkele testen uit van veranderingen in de level-of-service op routes waar zowel reguliere trein als HSL actief zijn. Bedenk op voorhand met experts welke reacties te verwachten zijn en vergelijk deze met de resultaten, uitgaande van de huidige nest-coëfficiënt van 1. Probeer de eventuele verschillen te begrijpen en beoordeel of, en zo ja hoe, de nest-coëfficiënt moet worden aangepast.
5. Aanpassen documentatie

7. Verbeterpunt E - modellering vracht

7.1 Huidige situatie

Figuur 8 geeft schematisch weer hoe vracht op dit moment gemodelleerd wordt in AEOLUS. Globaal gebeurt dit in vijf opeenvolgende stappen. Onder de figuur worden deze stappen elk in meer detail toegelicht.



Figuur 8 - Schematische weergave huidige modellering vracht in AEOLUS

De vrachtmodule doorloopt de volgende vijf stappen:

- 1. Bepaling omvang vrachtvervoer tussen West-Europa en de overige wereldregio's.** In het basisjaar zijn de import- en exportstromen van luchtvracht tussen West-Europa en de overige wereldregio's bekend. De omvang van deze stromen wordt door het model ingelezen. Hierbij worden de volgende regio's onderscheiden: Oost-Europa, Noord-Amerika, Latijns-Amerika, Afrika, Midden-Oosten en het Verre Oosten. De stromen tussen West-Europa en de overige regio's zijn in principe asymmetrisch: import en exportstromen worden daarom apart gemodelleerd. Voor toekomstjaren wordt aangenomen dat de groei van deze stromen berekend kan worden op basis van de groei van de handelsontwikkeling en een bijbehorende handelselasticiteit. De handelsontwikkeling is overgenomen uit de prognoses van het CPB; voor de handelselasticiteit is een waarde van 0.5 aangenomen (tonnen onder invloed van handelsstromen in Euro's). Zowel de import- als exportstromen worden met de berekende groeifactoren vermenigvuldigd. De asymmetrie uit de stromen in het basisjaar blijft door deze aanpak behouden.
- 2. Verdeling luchtstromen over luchthavens West-Europa.** Voor het basisjaar is per wereldregio en vervoersrichting (import en export) bepaald welk marktaandeel de vier gemodelleerde vrachtluchthavens (AMS, MST, FRA en CDG) 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. Deze verandering van de marktaandelen wordt

niet door AEOLUS zelf berekend, maar moet door de gebruiker vooraf worden ingevoerd (op basis van aannamen). AEOLUS modelleert de concurrentie tussen de vrachtluchthavens dus niet expliciet. Er wordt alleen impliciet rekening gehouden met concurrentie door de verdeling in het basisjaar en eventueel via de scenarioaannamen voor toekomstjaren. Andere belangrijke Europese (vracht)luchthavens zoals Luik, Brussel en Leipzig zijn niet opgenomen in het model.

3. Aanpassen vrachtstroom per luchthaven als gevolg van heffingen. Wanneer in een scenario heffingen op vracht worden meegenomen (of een andere verandering van de prijs voor vrachtvervoer ten opzichte van het basisjaar) dan wordt de omvang van het vrachtvervoer op de betreffende luchthaven gereduceerd. Hiervoor wordt een prijselasticiteit van -2.0 verondersteld. Deze heffing werkt alleen door op dat deel van de hoeveelheid vracht (in tonnen) die wordt vervoerd in Full Freighters. Omdat in deze stap van de vrachtmodellering de verdeling over belly's en Full Freighters nog niet bepaald is, wordt hiervoor een aanname gedaan op basis van het voorgaande (gemodelleerde) jaar.
4. Verdeling vracht over belly's van passagiersvliegtuigen en Full Freighters. Een deel van de luchtvracht wordt vervoerd in de belly's van passagiersvliegtuigen; voor het overige deel worden Full Freighters ingezet. Bij de verdeling van luchtvracht tussen belly's van passagiersvliegtuigen enerzijds en Full Freighters anderzijds wordt in het model de aanname gemaakt dat eerst de belly's gevuld worden. Per relatie tussen de gemodelleerde luchthavens in West-Europa (Amsterdam, Maastricht, Frankfurt en Parijs) en de overige wereldregio's wordt berekend of de beschikbare vrachtcapaciteit in belly's van passagiersvliegtuigen voldoende is om de volledige vraag naar luchtvrachtvervoer te kunnen accommoderen. Als dit het geval is, worden geen Full Freighters ingezet. Als de vraag naar luchtvracht groter is dan de beschikbare bellycapaciteit, dan worden op deze relatie well Full Freighters ingezet.

Bij 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 om alle vracht te kunnen vervoeren. De in de berekeningen gehanteerde vrachtcapaciteiten en beladingsgraden voor zowel belly's van passagiersvliegtuigen als Full Freighters zijn modelinvoer. Hierbij geldt dat Low Cost Carriers (LCC) nauwelijks vracht vervoeren. De returntijden op luchthavens zijn voor deze luchtvaartmaatschappijen te krap om vracht te kunnen laden en lossen. In het model wordt hiermee rekening gehouden door de beladingsgraden voor LCC op nul te zetten. Bij het berekenen van de totale capaciteit van de belly's en Full Freighters in toekomstjaren wordt ook rekening gehouden met veranderingen in de maximale capaciteit en de verandering in beladingsgraad (op basis van aannames). Voor zowel belly's als Full Freighters is dit scenarioinvoer.

5. Aanpassing vrachtstroom per luchthaven als gevolg van capaciteitsbeperkingen. Wanneer de totale vraag naar vluchten (zowel passagiers- als vrachtvluchten) groter is dan de capaciteit op een luchthaven, dan worden schaarstekosten gerekend. Deze zorgen ervoor dat de vraag naar luchtvracht- en passagierstransport zodanig gereduceerd wordt dat het niveau van vraag en aanbod in evenwicht zijn. Hierbij wordt een omrekenfactor gebruikt om van schaarstekosten per vliegtuig naar schaarstekosten per kiloton vracht te komen; deze factor 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 prijselasticiteit voor schaarstekosten is in AEOLUS op -5.0 gesteld. Dit betekent dat vrachtvervoer zeer gevoelig is voor capaciteitsrestricties. De achterliggende aanname hierbij is dat vrachtoperaties veel makkelijker dan bijvoorbeeld passagiersvliegtuigen vanaf andere (goedkopere / niet begrensde) luchthavens uitgevoerd kunnen worden. Deze verplaatsing van het vrachtvervoer naar andere luchthavens wordt echter niet expliciet gemodelleerd in het model.

Doordat vracht veel prijsgevoeliger wordt verondersteld dan passagiers, daalde de omvang van het vrachtvervoer in eerdere versies van AEOLUS bij schaarste veel harder dan het aantal passagiers. De mate waarin dit gebeurde werd niet als realistisch voorzien, mede door de aanwezigheid van grandfathering van slots. De grandfathering-regel houdt in dat luchtvaartmaatschappijen hun slots behouden als deze in de afgelopen jaren voldoende zijn gebruikt. Als gevolg hiervan ontstaat bij schaarste geen volledige marktwerking om de slots. In de huidige versie van AEOLUS wordt daarom verondersteld dat een deel van de vrachtvluchten niet onder de marktwerking valt. Dit deel wordt bij schaarste niet gereduceerd; de slots worden behouden. Door deze aanpak kunnen vooral bij korte en middellange termijn doorrekeningen veel realistischere prognoses opgesteld worden.

7.2 Beperkingen van de huidige situatie

De vrachtmodellering in de huidige versie van AEOLUS kent een aantal beperkingen. Op basis van de uitgevoerde wetenschappelijke review en gesprekken met deskundigen zijn vier belangrijke aandachtspunten geïdentificeerd.

AEOLUS modelleert geen concurrentie tussen luchthavens

Voor vrachtvervoer via de lucht is voor- en natransport naar luchthavens nodig. In de totale kosten voor luchtvrachtvervoer spelen de kosten van dit voor- en natransport echter slechts een beperkte rol. Het merendeel van de kosten bestaat uit kerosinekosten en luchthavengelden. Als het goedkoper is om van verder weg gelegen luchthavens gebruik te maken, worden daarom relatief grote voor- en natransportafstanden geaccepteerd. Voorwaarde hierbij is wel dat deze luchthavens goed bereikbaar zijn via het wegennet. Dit maakt de luchthavenkeuze van vrachtvervoerders veel meer fluïde dan bij passagiers. Er is daarom een zeer sterke concurrentie tussen luchthavens. Ook betekent dit dat de catchment area van een vrachtluchthaven veel groter is. Voor het definiëren van deze catchment area noemen deskundigen een straal van 800 à 1000 kilometer rondom de luchthaven.

AEOLUS modelleert momenteel geen concurrentie tussen luchthavens. In plaats daarvan wordt de totale vrachtstroom op basis van vaste fracties over de luchthavens verdeeld. Alleen via scenario-invoer kunnen deze fracties gewijzigd worden. Als de kosten voor vrachtverkeer op Amsterdam stijgen (door bijvoorbeeld schaarste of een vrachtheffing) werkt dit door op de totale vrachtstroom via Amsterdam. De veronderstelde uitwijk naar andere luchthavens of het afzien van transport via de lucht worden echter niet expliciet gemodelleerd. Dit heeft de volgende consequenties:

- Prijsbeleid en/of schaarste op Schiphol heeft geen impact op de vrachtprognose voor Maastricht (en andersom);
- Prijsbeleid en/of schaarste op buitenlandse luchthavens heeft geen impact op de vrachtprognoses voor de Nederlandse luchthavens.

Omdat het doel van AEOLUS is om zo goed mogelijke prognoses op te stellen voor de Nederlandse luchthavens is het daarom wenselijk om de concurrentie tussen vrachtluchthavens wel mee te gaan nemen in AEOLUS.

De implementatie van het belly's-first principe is (te) sterk vereenvoudigd

In de modellering worden eerst de belly's van passagiersvliegtuigen gevuld, pas daarna worden Full Freighters ingezet. Dit belly's-first principe is grotendeels plausibel, omdat het aanzienlijk goedkoper is om vracht in belly's te vervoeren. De huidige implementatie kent echter wel een aantal beperkingen:

- Niet alle vracht kan in belly's vervoerd worden. Dit heeft onder meer te maken met veiligheidsregels, afmetingen, tijdsplanning, etc. In de huidige versie van het model wordt hier geen rekening mee gehouden: indien er op een relatie voldoende capaciteit is dan wordt er geen inzet van Full Freighters gemodelleerd.
- De huidige vrachtzoning is te grof. Passagiers- en vrachtbestemmingen vallen niet altijd samen. Omdat bijvoorbeeld Afrika momenteel 1 zone is, wordt in AEOLUS nu impliciet aangenomen dat vracht naar Zuid-Afrika vervoerd kan worden in belly's van passagiersvluchten naar Marokko. In het basisjaar wordt hiervoor gecorrigeerd door de beladingsgraad van belly's te kalibreren. Dit gebeurt echter niet op relatieniveau. Als passagiers- en vrachtstromen naar verschillende bestemmingen zich anders ontwikkelen naar de toekomst toe, ontstaan hierdoor afwijkingen in de veronderstelde bellycapaciteit.

Beide beperkingen hebben invloed op het aantal vertrekkende en aankomende Full Freighters dat wordt gemodelleerd op de Nederlandse luchthavens.

Er is geen segmentering naar typen vracht

De totale vrachtstroom die door de lucht wordt vervoerd bestaat uit een grote verscheidenheid aan goederen met elk eigen kenmerken. Per goederensoort zijn er bijvoorbeeld verschillen in kostengevoeligheid of het aandeel (in volume of gewicht) dat niet in belly's vervoerd kan worden. Uit de gesprekken met deskundigen komt bovendien naar voren dat verschillende vrachtsegmenten zich naar de toekomst toe waarschijnlijk anders zullen gaan ontwikkelen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- Een sterke groei van farmaceutische producten;

- Langzame verschuiving bederfelijke waar naar gekoeld zeetransport.

Binnen AEOLUS worden momenteel geen aparte vrachtsegmenten onderscheiden. In plaats daarvan wordt met een ‘gemiddelde’ waarde voor bijvoorbeeld de kostengevoeligheid gerekend. Doordat de vraag naar luchtvracht zich anders zal ontwikkelen voor verschillende soorten vracht zal de verdeling tussen vrachtsegmenten binnen de totale vrachtstroom gaan verschuiven. De gehanteerde ‘gemiddelde’ parameterwaarden zijn in dit geval niet meer representatief voor de gehele vrachtstroom. Bovendien blijft de verhouding tussen import en export in de huidige modelopzet constant. In beide richtingen wordt immers uitgegaan van dezelfde groeicijfers die betrekking hebben op de vrachtstroom als geheel. In werkelijkheid zijn import en export vrachtstromen echter meestal anders samengesteld.

De inzet van Full Freighters is symmetrisch op relatieniveau

In AEOLUS wordt verondersteld dat Full Freighters heen en weer vliegen tussen vrachtregio's. Als de totale vrachtstroom in één van beide richtingen lager is, betekent dit dat in deze richting met een veel lagere beladingsgraad wordt gevlogen. In werkelijkheid zullen vrachtvervoerders er echter alles aan doen om hun beladingsgraad te optimaliseren. Daarom wordt in de praktijk vaak in driehoeken of zelfs meer complexe tours gevlogen. Het aantal Full Freighters wordt in AEOLUS wel gekalibreerd, maar dit gebeurt richtingsonafhankelijk door aan de gemiddelde beladingsgraad te draaien. De hierbij veronderstelde symmetrie tussen beide richtingen op een herkomst-bestemmingsrelatie sluit niet aan bij de werkelijkheid. Hierdoor klopt het totale aantal Full Freighters op relatieniveau wel, maar de verhouding tussen vertrekkende en aankomende vluchten niet. Dit werkt onder meer sterk door op de modellering van CO₂-emissies op relaties van en naar Nederland.

7.3 Discussie

Gegeven de hierboven genoemde beperkingen van de huidige versie van AEOLUS liggen een aantal aanpassingen aan de vrachtmodule voor de hand. Deze sectie geeft een overzicht van deze verbeterpunten en de afwegingen die daarbij gemaakt kunnen worden.

- Opzetten van een luchthavenkeuzemodel – Een belangrijk verbeterpunt binnen de vrachtmodellering is het meenemen van concurrentie tussen luchthavens. Dit kan gerealiseerd worden door een luchthavenkeuzemodel te implementeren. Belangrijke vraagpunten voor de opzet van een dergelijk concurrentiemodel zijn:
 - Hoe om te gaan met de verschillen tussen vracht in belly's en vracht in Full Freighters? Bij de distributie over luchthavens spelen hier andere mechanismen:
 - Voor vracht in belly's geldt dat de luchthavenkeuze voornamelijk afhangt van de beschikbare capaciteit. Het is plausibel om te veronderstellen dat binnen West-Europa de beschikbare bellycapaciteit gevuld zal worden als de totale vraag naar luchtvracht hiervoor voldoende groot is.
 - Voor vracht in Full Freighters geldt een sterke concurrentie op prijs. Dit kan bijvoorbeeld gemodelleerd worden door een keuzemodel met in ieder geval kerosinekosten, luchthavengelden en eventueel schaarstekosten als verklarende variabelen. Voor deze schaarstekosten kan aangesloten worden bij thema A2 waarin het meenemen van capaciteitsrestricties op buitenlandse luchthavens is uitgewerkt.
 - Welke luchthavens moeten worden meegenomen in de keuzeset? Vanuit de doelstelling van AEOLUS dienen de Nederlandse vrachtluchthavens Amsterdam en Maastricht sowieso als aparte alternatieven meegenomen te worden. Voor belangrijke concurrerende luchthavens waarvan de catchment area grotendeels overlapt met die van Amsterdam en Maastricht zien wij twee mogelijkheden:
 - Deze luchthavens (Brussel, Parijs, Londen, Frankfurt, Keulen, Luxemburg en Luik) meenemen als aparte alternatieven;
 - Deze luchthavens onder de noemer ‘buitenlandse luchthavens’ samenvoegen in een enkel dummyalternatief.

Het voordeel van de eerste mogelijkheid is dat prijsbeleid en/of schaarste op deze luchthavens in meer detail gemodelleerd kan worden. Ook levert deze aanpak nuttige informatie op over

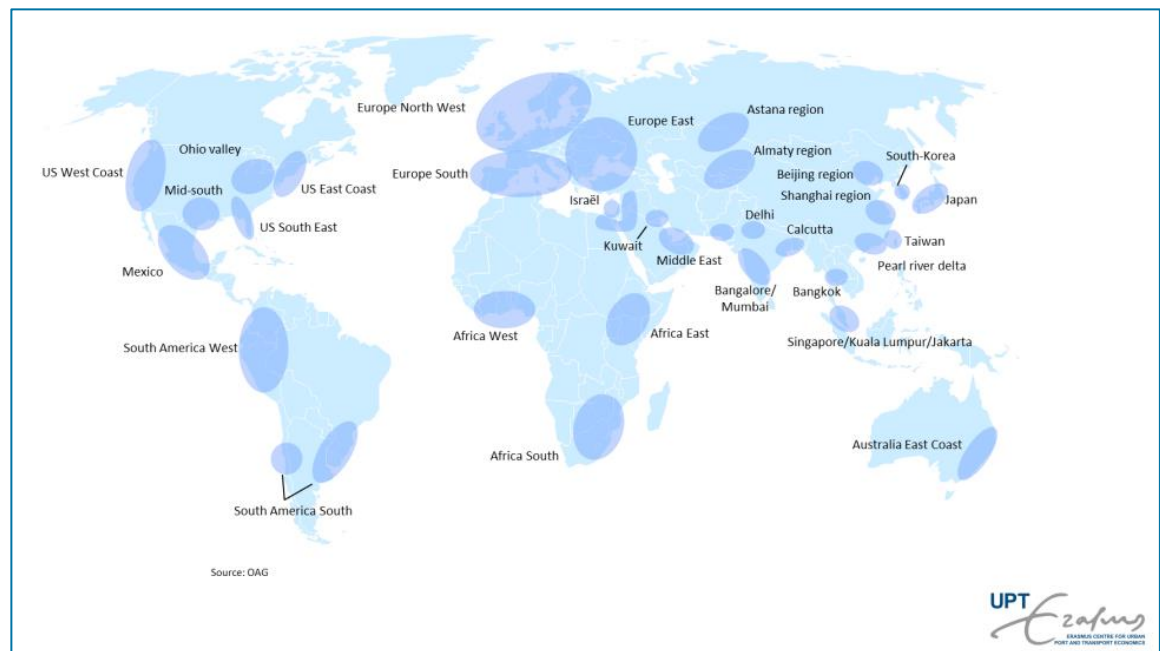
voor- en natransportstromen over het Nederlandse wegennet. De tweede mogelijkheid is eenvoudiger en vereist minder data.

Luchthavens buiten het achterland worden niet expliciet gemodelleerd in AEOLUS. Het is daarom geen interessante optie om vrachtluchthavens als Madrid, Milaan en Leipzig als aparte alternatieven te modelleren.

- Hoe wordt het effect van prijsbeleid en/of schaarstekosten meegenomen? In de huidige modellering werken vrachtheffingen en schaarstekosten via een kostenelasticiteit door op de totale vrachtstroom op een luchthaven. Impliciet wordt aangenomen dat de hierdoor weggedrukte vracht (1) uitwijkt naar een andere luchthaven of (2) niet meer door de lucht vervoerd wordt. Met de introductie van luchthavenkeuze model wordt de uitwijk naar andere luchthavens wel expliciet gemodelleerd. Het tweede alternatief (geen luchttransport) moet echter ook meegenomen worden. Hiervoor zijn twee opties:
 - o Schaduwkosten en heffingen via een kostenelasticiteit door laten werken op de totale Full Freighter vrachtstroom (voor de luchthavenkeuze). Hierbij dient dan rekening gehouden te worden met het feit dat er mogelijk maar op één of enkele luchthavens sprake is van schaarste. Het probleem van deze methode is dat er geen garantie is dat de impact op niet-begrensde luchthavens er in dit geval logisch uitziet. Het verlagen van de totale vraag moet op deze luchthavens dan gecompenseerd worden door een relatief grotere aantrekkelijkheid (lagere kosten) t.o.v. begrensde luchthavens. Hoe dit uitpakt hangt af van de gevoeligheid van het luchthavenkeuze model. Dit is een vergelijkbare problematiek zoals speelt in de reizigersmodule.
 - o Het alternatief is om aan de luchthavenkeuze voor Full Freighter vracht een extra alternatief toe te voegen: geen luchttransport. Deze methode garandeert dat bij schaarste en/of een vrachtheffingen logische verschuivingen naar andere luchthavens gemodelleerd worden. Door middel van de alternatief specifieke constante kan de gevoeligheid van dit niet meer vliegen alternatief afgesteld worden.
- Een beperkt aantal vrachtsegmenten onderscheiden. De belangrijkste vraag hierbij is welke segmenten onderscheiden moeten worden. De volgende criteria zijn hiervoor bepalend:
 - De verwachte ontwikkeling van de handel in het betreffende vrachtsegment
 - Het aandeel vracht binnen een segment dat alleen in Full Freighters kan worden vervoerd
 - De kostengevoeligheden van vracht in een segment.

Ongeveer 4 of 5 vrachtsegmenten lijkt voldoende om de belangrijkste verschillen in bovenstaande kernmerken te ondervangen. Tegelijkertijd blijft dit aantal behapbaar binnen AEOLUS en sluit het qua detailniveau aan bij het voorstel om drie motieven te onderscheiden in de passagiersmodule.

- Aanpassen van de gebiedsindeling –De huidige vrachtzoning in AEOLUS is met slechts zeven zones zeer grof. Er zijn (vanuit vrachtperspectief) een aantal redenen om deze indeling verder te verfijnen:
 - Vanuit MKBA-oogpunt is het wenselijk Nederland als aparte zone te beschouwen. Nu worden in AEOLUS de vrachtstromen van en naar West-Europa gemodelleerd. Door Nederland als aparte vrachtzone te beschouwen, wordt meer inzicht gekregen in de vrachtstromen van en naar Nederland.
 - Ook buiten Europa is verfijning van de zoning nodig om het belly's-first principe accuraat toe te kunnen passen. Figuur 17 hieronder toont hiertoe een aanzet. Op dit kaartje worden belangrijke vrachtregio's getoond waarbinnen de luchthavenkeuze relatief fluide is omdat luchthavens relatief goed bereikbaar zijn over de weg. Het is daarnaast praktisch om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de zone-indeling uit de passagiersmodule.



Figuur 9 - Samenhangende vrachtregio's (bron: Floris de Haan)

- Per segment uitgaan van een vast percentage vracht dat niet in belly's vervoerd kan worden. Dit is een eenvoudige, maar belangrijke verbetering van het model. Hiermee moet rekening gehouden worden bij het definiëren van de te onderscheiden vrachtsegmenten.
- Symmetrie in aantal Full Freighters op herkomst-bestemmingsrelaties loslaten. Er zijn een aantal manieren om rekening te houden met meer complexe vliegpatronen van Full Freighters:
 - In plaats van alleen de vrachtstromen van- en naar West-Europa te modelleren ook de stromen tussen de overige vrachtzones modelleren. Op basis hiervan is het dan mogelijk logische vliegpatronen op te stellen.
 - Op basis van vluchtdata (bijvoorbeeld OAG-data) bestaande vliegpatronen van Full Freighters in kaart brengen. Deze patronen kunnen vervolgens als scenario-invoer meegegeven worden aan AEOLUS.
 - Vliegpatronen niet expliciet modelleren maar wel symmetrie op relatieniveau loslaten. Alleen het totaal aantal vertrekkende en aankomende Full Freighters op een luchthaven wordt aan elkaar gelijkgesteld. Impliciet wordt hierbij aangenomen dat vrachtvervoerders hun routes optimaliseren om de beladingsgraad hoog te houden. Deze vliegpatronen worden echter niet expliciet gemodelleerd.

In de eerste twee methoden worden vliegpatronen expliciet gemodelleerd. De doelstelling van AEOLUS is echter om correcte prognoses te maken voor de Nederlandse luchthavens. Hiervoor is de derde methodiek ook toereikend. Deze methode sluit daarmee beter aan bij het algehele detailniveau van AEOLUS en is eenvoudiger te realiseren.

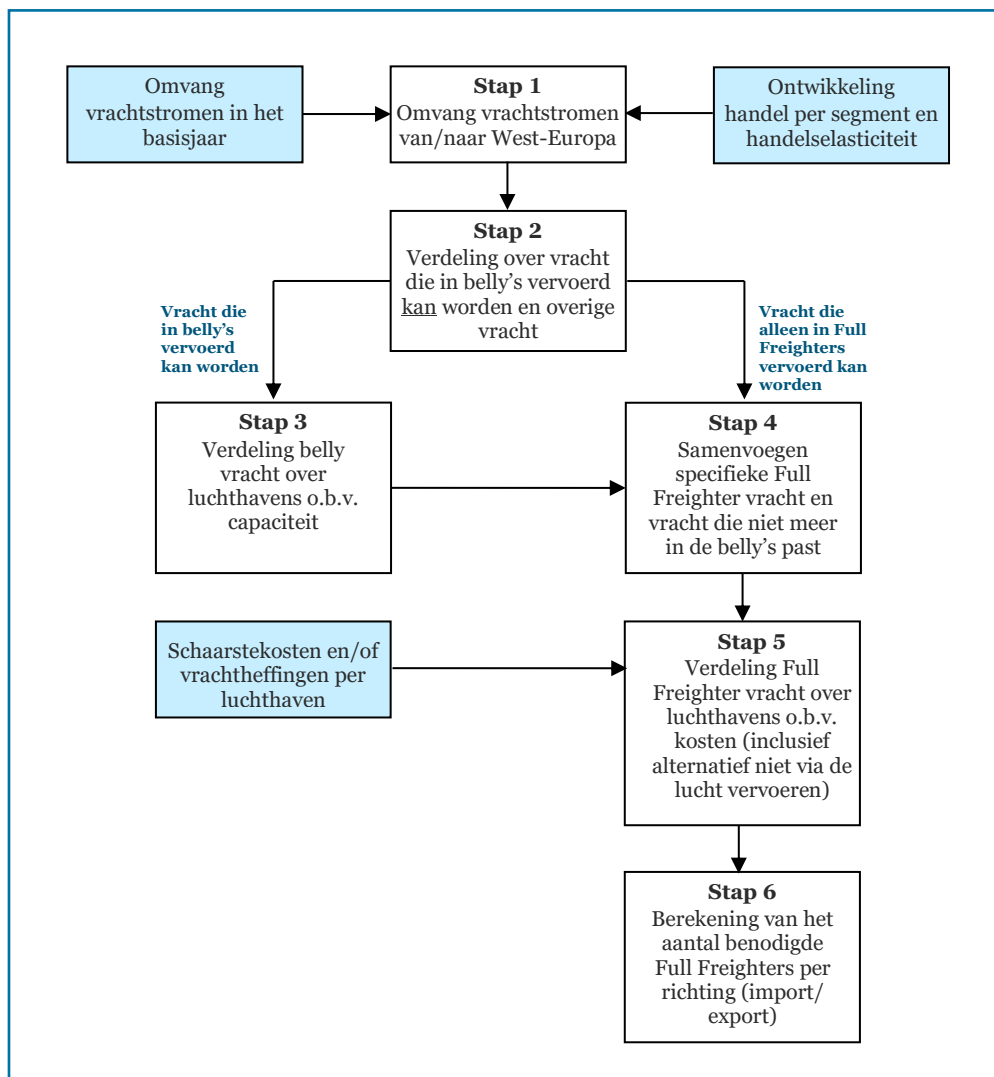
7.4 Voorgestelde verandering

Wij stellen de volgende veranderingen aan AEOLUS voor:

- Implementatie van een luchthavenkeuze model waarin:
 - Belly vracht verdeeld wordt op basis van beschikbare bellycapaciteit en Full Freighter vracht op basis van transportkosten (o.a. kerosinekosten, luchthavengelden en schaarstekosten);

- Amsterdam, Maastricht, Brussel, Parijs, Londen, Frankfurt, Keulen, Luxemburg en Luik als aparte alternatieven worden meegenomen. Verderaf gelegen luchthavens (zoals Madrid, Milaan en Leipzig) worden samengevoegd in een extra dummy alternatief;
- De mogelijkheid om bepaalde vracht niet meer via de lucht te vervoeren wordt als extra alternatief toegevoegd aan de keuzeset.
- De gebiedsindeling verfijnen op de volgende punten:
 - De huidige vrachtzone West-Europe wordt opgedeeld in de zones (1) Nederland en (2) de rest van West-Europa;
 - Buiten Europa wordt de zonering gelijkgetrokken met de gebiedsindeling zoals gehanteerd in de passagiersmodule. Een uitwerking hiervan is reeds opgenomen bij verbeterpunt C in §5 (gebiedsindeling);
- Onderscheid inbouwen naar vracht die in belly's en Full Freighters vervoerd kan worden en vracht waarvoor uitsluitend Full Freighters ingezet kunnen worden.
- Onderscheid maken naar 4 à 5 vrachtsegmenten op basis van de verwachte handelsontwikkeling, kostengevoeligheid en het aandeel dat alleen in Full Freighters vervoerd kan worden. De eerste opzet voor een indeling hierbij is:
 - General cargo;
 - Oversized/heavy cargo;
 - Bederfelijke goederen;
 - Hoogwaardige producten;
 - Overig.
- Symmetrie van het aantal Full Freighters op relatieniveau loslaten. In plaats daarvan wordt alleen opgelegd dat het aantal aankomende en vertrekkende Full Freighters per luchthaven in evenwicht is.

Figuur 10 laat zien hoe de vrachtmodellering er na doorvoering van de hierboven voorgestelde aanpassingen schematisch uit zal zien. In feite is sprake van een volledig nieuwe vrachtmodule.



Figuur 10 - Schematische weergave voorgestelde modellering vracht in AEOLUS

De vrachtmodule doorloopt nu de volgende zes stappen voor elk van de onderscheiden vrachtsegmenten:

1. Bepaling omvang vrachtvervoer tussen Nederland en West-Europa enerzijds en de overige vrachtzones anderzijds. Qua methodiek verandert deze stap niet ten opzichte van de huidige modellering. Verschil is wel dat binnen Europa onderscheid wordt gemaakt naar Nederland en de rest van West-Europa en dat buiten Europa de gebiedsindeling aanmerkelijk fijner is. Daarnaast wordt deze stap nu uitgevoerd per vrachtsegment. Omdat de verdeling over de verschillende vrachtsegmenten richtingspecifiek is, kunnen totale import- en export stromen zich nu anders ontwikkelen. In de huidige modellering is dit niet het geval.
2. Onderverdeling naar vracht die alleen in belly's vervoerd kan worden en overige vracht. Voor elk vrachtsegment wordt een aanname gemaakt voor het aandeel dat in belly's vervoerd kan worden. Voor de meeste segmenten zal dit het overgrote deel zijn, maar er zal ook een klein aandeel zijn waarvoor alleen Full Freighters ingezet kunnen worden.
3. Verdeling bellyvracht over vracht luchthavens. De totale stroom luchtvracht, die in belly's vervoerd kan worden, wordt verdeeld over de vrachtluchthavens binnen West-Europa op basis de beschikbare bellycapaciteit. Voor het bepalen van de beschikbare bellycapaciteit wordt onderscheid gemaakt naar:

- De Nederlandse luchthavens Amsterdam en Maastricht. Voor deze luchthavens berekent AEOLUS de totale inzet van passagiersvliegtuigen naar grootteklasse en daarmee ook de beschikbare bellycapaciteit;
- Luchthavens buiten Nederland maar binnen het in AEOLUS gemodelleerde achterland. Op deze luchthavens worden alleen de reizigersstromen (en het hiervoor benodigde aantal passagiersvliegtuigen) van en naar het achterland gemodelleerd. Ook reizigers met een herkomst of bestemming buiten het achterland maken echter gebruik van deze luchthavens. Voor het basisjaar kan per luchthaven vastgesteld worden welk deel van de reizigers gemodelleerd wordt. Door dit percentage als constant te veronderstellen kan naar de toekomst toe ook voor deze luchthavens een inschatting gemaakt worden van de beschikbare bellycapaciteit.
- Luchthavens buiten het achterland van AEOLUS worden niet apart gemodelleerd. Daarom wordt voor deze luchthavens een inschatting gemaakt van het totale marktaandeel in de bellyvracht van en naar West-Europa. Dit is scenario-invoer.

Naast de fysiek beschikbare bellycapaciteit wordt ook rekening gehouden met de gerealiseerde beladingsgraden zoals geobserveerd in het basisjaar. Low Cost Carriers vervoeren bijvoorbeeld nauwelijks vracht en het verschilt sterk per luchthaven in welke mate zij ingesteld zijn op het vervoer van luchtvracht in belly's.

4. Samenvoegen resterende vracht die niet in de belly's past en specifieke Full Freighter vracht. Er is waarschijnlijk niet voldoende capaciteit om alle potentiële bellyvracht ook daadwerkelijk in belly's te vervoeren. De (na stap 3) resterende vracht wordt daarom per segment opgeteld bij de vracht die uitsluitend in Full Freighters vervoerd kan worden.
5. Verdeling Full-freighter vracht over luchthavens. Full Freighter vracht wordt verdeeld over luchthavens doormiddel van een discreet keuzemodel met kosten als de belangrijkste verklarende variabelen. Hiervoor moeten per segment kostengevoeligheden worden geschat. Overige specifieke kenmerken van luchthavens komen terecht in de luchthavenspecifieke constanten, tenzij er voldoende data beschikbaar zijn om hier aparte parameters voor te schatten. Naast de gemodelleerde luchthavens wordt in dit concurrentiemodel ook het alternatief 'geen luchttransport' toegevoegd. Dit alternatief representeert de mogelijkheid van vervoerders om (1) af te zien van een vrachttransport of (2) voor een andere vervoerwijze te kiezen.

Eventuele vrachtheffingen, verhoging van luchthavengelden en of schaarstekosten werken via dit concurrentiemodel door op de gemodelleerde Full Freighter vrachtstromen per luchthaven. In tegenstelling tot de huidige modellering wordt slotallocatie niet meer meegenomen. Feitelijk bestaan er namelijk geen specifieke vrachtslots, maar kunnen voor vracht gebruikte slots ook ingezet worden voor passagiersvluchten. De oorspronkelijke reden om de grandfathering-regel voor vracht wel mee te nemen was dat vracht anders te extreem werd weggedrukt bij schaarste. Omdat bellyvracht binnen de beschikbare bellycapaciteit nu buiten de impact van schaarstekosten wordt gehouden, bestaat dit gevaar niet meer.

6. Berekening van het aantal benodigde Full Freighters. Op basis van de uitkomst van het luchthavenkeuze model kan het benodigde aantal Full Freighters berekend worden. Dit gebeurt per richting (import en export). Vervolgens wordt per luchthaven het totale aantal vertrekkende en aankomende Full Freighters met elkaar vergeleken. In de kleinste richting wordt dit aantal vervolgens geschaald door de beladingsgraad iets naar beneden bij te stellen.

7.5 Plan van aanpak

De volgende stappen moeten worden doorlopen:

1. Definitief vaststellen van de te onderscheiden vrachtsegmenten
2. Bepalen van de handelontwikkeling en handelselecticiteit per vrachtsegment. Hiervoor kan worden aangesloten bij de WLO en de economiemodule van het nationale vrachtmodel BasGoed. Het grote aantal segmenten dan hierin onderscheiden wordt kan via een mapping omgezet worden in de 4 à 5 voorgestelde segmenten binnen AEOLUS.

3. Per segment inschatten van het aandeel vracht dat alleen in Full Freighters vervoerd kan worden. Enerzijds geven de geraadpleegde deskundigen hierbij aan dat op dit punt weinig betrouwbare data beschikbaar zijn. Anderzijds stellen zij ook dit een belangrijke modelverbetering te vinden. Daarom zal op basis van expert judgement een zo goed mogelijke inschatting gemaakt worden.
4. Voor het basisjaar bepalen welk aandeel van de reizigers op de buitenlandse luchthavens binnen het achterland in AEOLUS gemodelleerd wordt. Deze aandelen zijn voor toekomstjaren benodigd om een inschatting te kunnen maken van de beschikbare bellycapaciteit. Voor West-Europese luchthavens buiten het achterland wordt bepaald wat hun gezamenlijke marktaandeel bellyvracht is.
5. Voor alle gemodelleerde vrachtluchthavens (Amsterdam, Maastricht, Brussel, Parijs, Londen, Frankfurt, Keulen, Luxemburg en Luik) de kosten voor vrachtvervoer en de ontwikkeling hiervan naar de toekomst toe vaststellen. Kerosineprijzen en luchthavengelden zijn in principe openbaar. Aanvullend kan in deze stap gebruik gemaakt worden van World ACD data.
6. Schatten van een concurrentiemodel voor de luchthavenkeuze van Full Freighter vracht. Voor deze stap kan gebruik gemaakt worden van geaggregeerde EUROSTAT data of (bij voorkeur) gedetailleerde CargoNaut data. Deze laatste data bevat luchtvrachtvolumes op herkomstbestemmingsniveau. Navraag naar de beschikbaarheid van deze data loopt nog.
7. Implementatie in AEOLUS. Implementatie van de vrachtmodellering zoals voorgesteld betekent dat het bestaande vrachtmodule vrijwel volledig wordt herzien. Hierbij moet de kanttkening gemaakt worden er geen garantie is dat dit in GAMS haalbaar is. Dit geldt zeker in combinatie met andere voorstellen zoals het uitbreiden van de zonerings en het aantal motieven in de passagiersmodule. Wanneer overgestapt wordt naar bijvoorbeeld Python worden hiermee geen problemen voorzien.
8. Testen en valideren van de aangepaste versie van AEOLUS
9. Aanpassen documentatie

8. Verbeterpunt F - invloed capaciteits-schaarste op aanbod en strategisch gedrag airlines

8.1 Huidige situatie

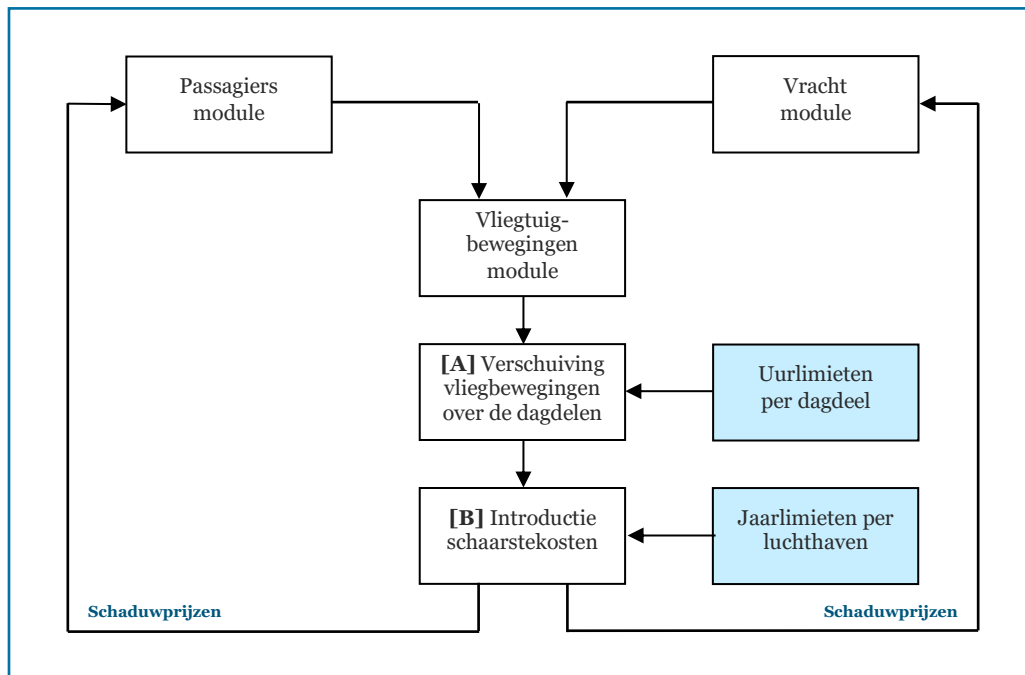
In de passagiers- en vrachtmodules van AEOLUS wordt de vraag naar vliegen voor respectievelijk reizigers en vracht berekend. Hierna wordt in de vliegbewegingenmodule per relatie bepaald hoeveel vliegbewegingen nodig zijn om deze vraag te accommoderen. Per luchthaven wordt het berekende aantal vliegbewegingen vervolgens getoetst aan de geldende capaciteitsrestricties. Voor alle Nederlandse luchthavens worden jaarlimieten op het aantal vluchten gehanteerd. Op Schiphol worden daarnaast ook limieten meegenomen voor het maximaal aantal vluchten per uur in de ochtend, middag, avond en nacht. Deze limieten zijn gebaseerd op de fysieke capaciteit van luchthavens en/of (hinder)regelgeving. AEOLUS kent twee mechanismen om met het overschrijden van de capaciteitsgrenzen om te gaan:

- Als de (uur)capaciteit alleen in bepaalde perioden van de dag overschreden wordt, kan dit opgelost worden door een verschuiving van vliegbewegingen naar andere dagdelen. Deze eventuele verschuiving wordt alleen gemodelleerd voor luchthavens met een belangrijke hubfunctie (Amsterdam, Frankfurt en Parijs) en niet voor de regionale luchthavens;
- Wanneer (na bovenstaande verschuiving) het aantal vluchten in alle vier de dagdelen boven de uurlimiet blijft en/of als het totaal aantal vluchten boven de jaarlimiet ligt, is een ander mechanisme nodig. In dit geval worden schaarstekosten geïntroduceerd. AEOLUS berekent dan per gerestricteerde luchthaven een schaduwprijs per vlucht die wordt doorberekend aan passagiers en vrachtvervoerders. Met deze extra kosten worden de passagiers- en vrachtmodules opnieuw doorlopen. Door middel van een optimalisatie worden de minimale schaarstekosten bepaald waarbij de vraag voldoende afneemt om het aantal vliegbewegingen onder de capaciteitsgrens te houden.

In Figuur 11 is de capaciteitsmodellering in AEOLUS schematisch weergegeven. De hierboven beschreven mechanismen zijn hierbij aangegeven met A (verschuiving vliegbewegingen tussen dagdelen) en B (introductie schaarstekosten).

AEOLUS berekent in eerste instantie de schaduwkosten per vlucht. Daarbij wordt voor passagiersvluchten een reductiefactor toegepast voor allianties die vliegen van/naar de thuishub (0.85 voor SkyTeam op AMS en CDG en voor Star Alliance op FRA). De per passagiersvlucht berekende schaduwkosten worden vervolgens gelijkmatig over de passagiers verdeeld. Deze schaduwpreizen komen boven op de reguliere ticketprijzen. Transferreizigers betalen dus schaduwkosten op zowel de aankomende als vertrekkende vlucht. Ook betekent dit dat op relaties waarop gemiddeld genomen grotere vliegtuigen worden ingezet, de doorgerekende kosten per passagier iets lager zijn. Reizigers bemerken de schaduwkosten doordat de ticketprijzen hoger worden. Dit werkt door in de ontwikkeling van de vraag en in de keuzemodellen voor de hoofdvervoerwijze en vliegroute. Als gevolg hiervan zal een deel van de luchtreizigers (1) niet meer reizen, (2) voor een andere vervoerwijze kiezen of (3) via een andere luchthaven reizen. Hierdoor dalen het aantal passagiers en het aantal benodigde vluchten.

Voor vracht worden de schaarstekosten per vlucht omgerekend naar kosten per kiloton vracht. Daarnaast wordt er bij vracht rekening gehouden met slotallocatie door een deel van de vracht buiten de marktwerking te houden. Naar de toekomst toe wordt dit aandeel steeds kleiner. In het hoofdstuk over vrachtmodellering is dit mechanisme in meer detail beschreven (§7.1). Verder geldt voor luchtvracht een vergelijkbare redenering als voor passagiers: schaduwkosten zorgen voor een lagere vraag naar vrachtvervoer op de betreffende luchthaven. In principe betekent dit dat er minder Full Freighters ingezet hoeven te worden. Daarbij dient wel opgemerkt te worden dat door de afname van het aantal passagiersvliegtuigen ook de bellycapaciteit afneemt bij schaarste (waardoor de vraag naar Full Freighter vracht juist kan toenemen).



Figuur 11 - Schematische weergave capaciteitsmodellering

8.2 Beperkingen van de huidige situatie

In de basis wordt het geïmplementeerde schaarstekostenmechanisme door de geraadpleegde deskundigen als plausibel gezien. Slots zijn immers het schaarse goed en zullen daarom duurder worden bij capaciteitsbeperkingen. In AEOLUS wordt echter geen rekening gehouden met de strategische keuzes die luchtvaartmaatschappijen in geval van schaarste maken om hun omzet of winst te maximaliseren. Dergelijk strategisch gedrag kan bijvoorbeeld gericht zijn op het in stand houden van (feeder) verbindingen die belangrijk zijn voor het netwerk, het ontzien van prijsgevoelige reizigers om voldoende vraag te behouden of het efficiënter inzetten van de beschikbare vloot. Dergelijke strategische keuzes zijn bepalend voor het aanbod en hebben daarmee invloed op het keuzegedrag van reizigers. Er is een aantal redenen waarom bij de ontwikkeling van de huidige versie van AEOLUS het strategische gedrag van airlines niet is meegenomen in de modellering:

- Luchtvaartmaatschappijen nemen hun strategische beslissingen op routeniveau (luchthaven-luchthaven), terwijl deze routes in AEOLUS zijn geaggregeerd op basis van de zone-indeling;
- Na bovengenoemde aggregatie van het netwerk kan niet meer bepaald worden wat het effect van frequentieaanpassingen op rechtstreekse verbindingen is op het aanbod van indirecte vliegroutes;
- Luchtvaartmaatschappijen proberen door deze beslissingen hun omzet en/of hun winst te maximaliseren. Hierbij spelen heel veel factoren een rol, zoals gedetailleerde kennis van de opbrengsten en kosten van een vlucht. Dergelijk detailniveau is niet in AEOLUS aanwezig (en zal daar ook nooit aanwezig kunnen zijn), zodat modellering van een dergelijke omzet/winstmaximalisatie onmogelijk is;
- Er is weinig data beschikbaar over het strategische gedrag van luchtvaartmaatschappijen.

Desondanks is op basis van de gevoerde gesprekken geconcludeerd dat er ook op het detailniveau van AEOLUS iets gezegd kan worden over het strategische gedrag van luchtvaartmaatschappijen. Het is daarom wenselijk om te onderzoeken hoe dit alsnog meegenomen kan worden in AEOLUS.

8.3 Discussie

Luchtvaartmaatschappijen hebben in principe de volgende mogelijkheden om bij capaciteitsschaarste hun omzet of winst te maximaliseren:

- frequenties en/of bestemmingenaanbod aanpassen;
- ticketprijzen differentiëren;
- grotere vliegtuigen inzetten.

Elk van deze drie gedragsreacties worden hieronder toegelicht. Aanvullend hierop wordt (in een aparte tekstbox) vervolgens kort ingegaan op een discussiepunt uit de gesprekken met externe deskundigen: vaste schaduwkosten per vlucht hanteren of onderscheid maken naar allianties?

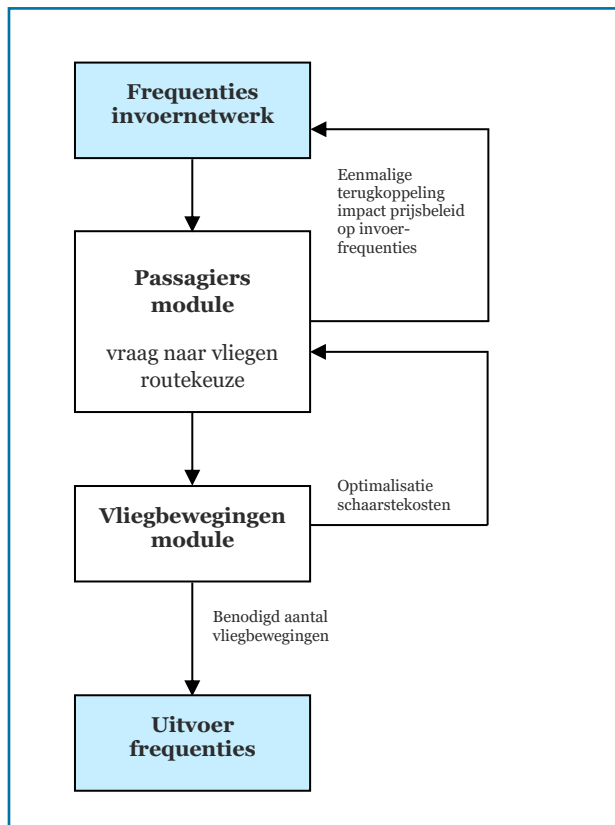
Frequenties en/of bestemmingen aanpassen

In AEOLUS wordt met twee soorten frequenties gewerkt (zie het tekstblok in §4.1 en Figuur 12 hieronder). Er wordt onderscheid gemaakt tussen:

- Invoerfrequenties [**A**] – Vliegroutes zijn in AEOLUS gedefinieerd als een combinatie van herkomst, hub, bestemming en alliantie. Als herkomsten, bestemmingen of hubs binnen het achterland van AEOLUS liggen gaat het om luchthavens; daarbuiten zijn dit AEOLUS zones. Voor elke route bevat de luchtzijdige level-of-service een frequentie. Deze invoerfrequenties worden gebruikt in de modellering van het reisgedrag:
 - Via een frequentie-elasticiteit is ontwikkeling van de totale vraag naar vliegen gekoppeld aan de ontwikkeling van de gemiddelde vliegfrequentie op herkomst-bestemmingsrelaties;
 - In het routekeuzemodel fungeren frequenties als attractievariabelen. Dit houdt in dat het aantal reizigers per route geschaald wordt naar de aangeboden frequentie.

De frequenties in de invoerbestanden worden alleen aangepast binnen AEOLUS als er sprake is van prijsbeleid. In dat geval worden frequenties afgeschaald op basis van de verhouding tussen het aantal reizigers mét en zonder prijsbeleid. Hierbij wordt ook een klein tweede orde effect verondersteld (afschaling van frequenties leidt tot extra vraaguitval en daarmee potentieel opnieuw tot lagere frequenties). Schaarste heeft geen impact op de invoerfrequenties.

- Uitvoerfrequenties [**B**] – Op basis van de berekende vraag bepaalt AEOLUS het aantal benodigde vliegbewegingen per relatie. Dit zijn de uitvoerfrequenties. Deze uitvoerfrequenties worden niet teruggevoerd naar de passagiersmodule voor de modellering van het reisgedrag. Dit is niet mogelijk omdat lagere frequenties zullen leiden tot een lager aantal passagiers, hetgeen weer zou leiden tot lagere frequenties, etc. Uiteindelijk wordt er dan een evenwichtoplossing gevonden met 0 passagiers en 0 vluchten.



Figuur 12 - Frequentiemodellering in AEOLUS

In Figuur 12 is de relatie tussen invoer- en uitvoerfrequenties schematisch weergegeven. Zoals genoemd heeft schaarste geen impact op invoerfrequenties; capaciteitsschaarste werkt alleen via de prijs door in de vraagmodellering. De hier beschreven manier waarop in AEOLUS met frequenties wordt omgegaan kan op twee belangrijke punten verbeterd worden:

- De gebruikte invoerfrequenties sluiten in geval van schaarste niet aan bij de gehanteerde capaciteitsrestricties. Bij schaarste moet het aantal vluchten omlaag (t.o.v. de ongerestricteerde situatie). Het aantal beschikbare slots zal afnemen waardoor luchtvaartmaatschappijen gedwongen zijn hun frequenties te verlagen. Op dit moment wordt in AEOLUS echter in zowel gerestricteerde als ongerestricteerde situaties met dezelfde invoerfrequenties gerekend. Voor WLO Hoog bevat dit netwerk in 2050 bijvoorbeeld ruim 850.000 vluchten per jaar; ruim over de grenzen van een realistische capaciteitslimiet. Deze hoge frequenties zorgen ook voor een hoge vraag. Om onder de limiet te blijven worden daarom hoge schaarstekosten gemodelleerd om de vraag te reduceren. In werkelijkheid verloopt dit echter niet alleen via de prijs, maar wordt de vraag ook gedempt doordat het aanbod wordt afgeschaald (verlaging van frequenties en/of het schrappen van bestemmingen).
- Het strategisch gedrag van luchtvaartmaatschappijen m.b.t. het afschalen van frequenties en/of het schrappen van bestemmingen wordt niet meegenomen. Uitvoerfrequenties zijn in AEOLUS puur een afgeleide van de gemodelleerde vraag. Afschaling van frequenties verloopt daardoor synchroon met de mate waarin de vraag op een relatie door de introductie van schaarstekosten wordt weggedrukt. In werkelijkheid zullen luchtvaartmaatschappijen echter heel gericht bepaalde frequenties verlagen en/of bestemmingen schrappen. Het uitgangspunt is hierbij om hun omzet of winst te maximaliseren. Dit zullen ze daarom voornamelijk doen op minder aantrekkelijke routes. Deze aantrekkelijkheid hangt (afhankelijk van het type luchtvaart-maatschappij) onder meer af van:
 - de mate van concurrentie op de route;
 - of het om een Europese of intercontinentale verbinding gaat;
 - het huidige marktaandeel op de route;

- het aandeel transferreizigers op de route;
- het aandeel zakelijke reizigers op de route.

Dergelijke strategische beslissingen omtrent het aangeboden netwerk worden in AEOLUS niet meegenomen.

Het is niet haalbaar om beide punten binnen AEOLUS mee te nemen. Eerder is reeds benoemd dat het niet mogelijk is om uitvoerfrequenties terug te voeren in de modellering van het reisgedrag. Daarnaast is het ruimtelijke aggregatieniveau te grof voor het meenemen van strategische overwegingen bij het afschalen van frequenties (de mate van concurrentie is bijvoorbeeld niet te aggregeren naar zone-niveau). Daarnaast is het onzeker of dit technisch haalbaar zou zijn binnen AEOLUS en wat het effect (zeker in combinatie met de andere voorstellen) zou zijn op de stabiliteit van het model.

Het is daarentegen wel mogelijk om dit strategische gedrag zo goed mogelijk exogeen mee te nemen bij het opstellen van de invoernetwerken. Voor aggregatie bevatten deze netwerken routes op luchthavenniveau. Op dit detailniveau is het goed mogelijk op basis van de veronderstelling van winstmaximalisatie gericht te voorspellen welke frequenties afgeschaald zullen worden bij schaarste en welke verbindingen worden geschrapt. Hierdoor (1) sluit het totaal aantal vluchten beter aan bij de gehanteerde capaciteitsrestricties en (2) worden strategische overwegingen bij de bepaling van het aanbod meegenomen.

Differentiatie ticketprijzen

Een ander instrument dat luchtvaartmaatschappijen kunnen inzetten is het differentiëren van ticketprijzen. Onderstaande formule toont hoe de in AEOLUS gehanteerde ticketprijzen berekend worden (dit gebeurt in NetCost). De hub-, netwerk- en motiefactor in deze formule zorgen voor prijsdifferentiatie. Daarbij wordt voor de kostengevoelige prijssegmenten een iets lagere ticketprijs verondersteld: de hubfactor voor indirecte verbindingen, de netwerkfactor voor Low Cost Carriers en de motiefactor voor niet-zakelijke reizigers hebben een waarde kleiner dan 1. In het andere geval is deze waarde juist 1 of groter.

Ticketprijs (O, D, H, N, M) = Referentieprijs (afhankelijk van de afstand tussen O en D)
 + Concurrentiefactor (O, D)
 + Hubfactor (H, M)
 + Netwerkfactor (N, M)
 + Motiefactor (M)

Waarbij:
 O = herkomst
 D = bestemming
 H = hub (direct of indirect)
 N = alliantie (Full Service Carriers of Low Cost Carriers)
 M = motief (zakelijk of niet-zakelijk)

Bij capaciteitsrestricties komen er schaarstekosten boven op deze reguliere ticketprijzen. Deze additionele kosten zijn niet gedifferentieerd, maar worden feitelijk rechtstreeks opgeteld bij de referentieprijs. In principe kunnen deze schaarstekosten gezien worden als een indicatie voor de schaarstewinsten die luchtvaartmaatschappijen kunnen behalen.

Doordat transferreizigers op zowel de aankomende als de vertrekkende vlucht schaduwkosten betalen, worden zij sterker weggedrukt bij schaarste. Voor airlines met een belangrijke thuishub (zoals KLM) kan hierdoor het aantal transferpassagiers sterk teruglopen, waardoor het hubnetwerk in gevaar komt. In dat geval is het aannemelijk dat luchtvaartmaatschappijen de ticketprijzen verder zullen gaan differentiëren om voldoende transferreizigers te blijven trekken. Vertaald naar bovenstaande formule voor de ticketprijs betekent dit dat op de volgende wijze aan de hubfactor gedraaid zal worden:

- De hubfactor voor indirecte verbindingen wordt omlaag bijgesteld zodat indirect reizen goedkoper wordt;
- Ter compensatie wordt de hubfactor voor directe verbindingen omhoog bijgesteld; direct reizen wordt hierdoor iets duurder.

Deze aanpassing zorgt ervoor dat de verhouding tussen ticketprijzen op directe en indirecte verbindingen verandert. Deze verhouding zal oplopen tot een bepaald maximum bij toenemende schaarste. Dit kan in AEOLUS gemodelleerd worden door de hubfactoren afhankelijk te maken van de mate van schaarste.

Inzet grotere vliegtuigen

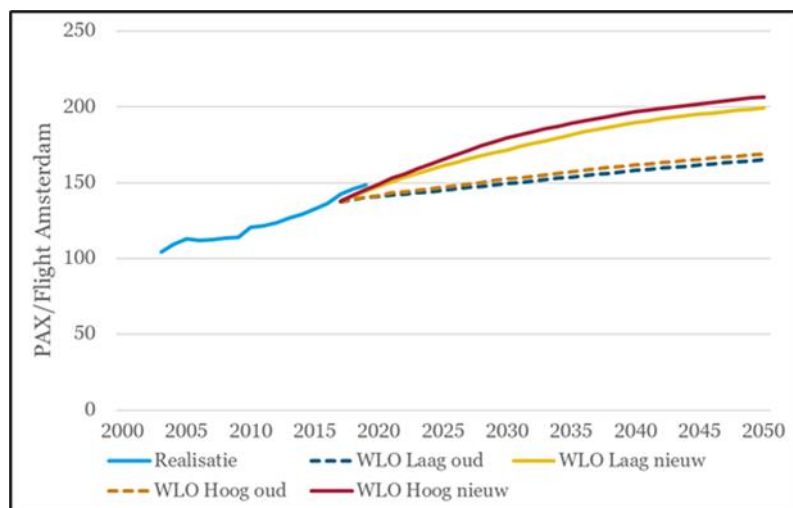
In AEOLUS worden voor vliegtuigen 9 grootteklassen onderscheiden. In het basisjaar is de inzet van vliegtuigen per grootteklasse gebaseerd op de waargenomen verdeling per luchthaven, bestemmingsregio en alliantie. Voor toekomstjaren wordt verondersteld dat per relatie de verdeling van vliegtuigen over deze grootteklassen constant blijft. Op basis van historische data is wel een aanname gemaakt over de ontwikkeling van het (gemiddelde) aantal passagiers per vliegtuig:

$$\text{Groeipercantage_aantal_passagiers} = 0.0768 - 0.000356 \times \text{aantal passagiers per vliegtuig (in het vorige jaar)}$$

Dit verband beschrijft het gecombineerde effect van:

- Een verhoging van de bezettingsgraad;
- Een toename van het aantal stoelen per vliegtuig;
- Een verschuiving naar grotere vliegtuigen.

Deze groei wordt jaarlijks toegepast op het gemiddelde aantal passagiers per vliegtuig in het voorgaande jaar. Ter illustratie laat Figuur 13 zien hoe het gemiddelde aantal passagiers (over alle grootteklassen) op basis van deze formule toeneemt voor luchthaven Schiphol (doorgetrokken rode en gele lijnen, ter vergelijking zijn ook nog met stippellijnen de ontwikkeling van het aantal passagiers per vliegtuig op basis van een oude methodiek weergegeven).



Figuur 13 - Ontwikkeling aantal passagiers per vliegtuig

De ontwikkeling van het aantal passagiers per vliegtuig is in de huidige versie van AEOLUS niet afhankelijk van capaciteitsbeperkingen. Het is echter aannemelijk dat luchtvaartmaatschappijen grotere vliegtuigen zullen inzetten als de vraag (veel) groter is dan het gerespecteerde aanbod. Op korte termijn kunnen zij dit doen door vliegtuigen te verschuiven tussen routes; op lange termijn kan hier rekening mee gehouden worden in de vlootsamenstelling. Voor het verschuiven van vliegtuigen tussen routes geldt hierbij wel dat home-carriers (zoals KLM op Schiphol) op dit punt minder flexibel zullen zijn.

De inzet van grotere vliegtuigen zou in AEOLUS meegenomen kunnen worden door een mechanisme in te bouwen waarbij de ontwikkeling van het aantal passagiers per vliegtuig versnelt bij schaarste. Daarbij ligt het voor de hand de mate van deze versnelling te koppelen aan de mate van schaarste. Als

verondersteld wordt dat bij schaarste het aantal passagiers per vliegtuig verder toeneemt, dan is de aanname dat de verdeling over grootteklassen constant blijft niet meer verdedigbaar. Wij stellen daarom voor de additionele toename van het aantal passagiers per vliegtuig te modelleren als een verschuiving tussen grootteklassen. Concreet komt dit neer op:

- Een verschuiving van grootteklassen G2 en G3 naar grootteklassen G4 en G5 voor vluchten binnen Europa;
- Een verschuiving van grootteklassen G6 en G7 naar grootteklasse G8 op intercontinentale vluchten.

De procedure is dan dat eerst de groei van het aantal passagiers per vliegtuig wordt bepaald zonder rekening te houden met restricties. Vervolgens wordt deze groei gecorrigeerd op basis van de mate van schaarste. Hierbij wordt rekening gehouden met de beperktere flexibiliteit van home-carriers. De groei die hier uit volgt wordt vervolgens gemodelleerd door middel van een verschuiving tussen grootteklassen.

Schaduwprijsmechanisme

Tijdens de sessie met deskundigen is de vraag opgekomen of schaduwkosten alliantie-specifiek zouden moeten zijn. Naast de grote allianties Sky Team, Star and OneWorld beschouwt AEOLUS ook de gezamenlijke overige Full Service Carriers en Low Cost Carriers als twee aparte allianties.

Momenteel worden uniforme schaduwkosten per vlucht gehanteerd in AEOLUS zonder onderscheid te maken tussen allianties (met uitzondering van de factor 0.85 voor allianties op hun thuishub). Dit houdt in dat luchtvaartmaatschappijen die relatief veel kostengevoelige reizigers vervoeren, zoals Low Cost Carriers, hun marktaandeel zullen zien afnemen. Zeker voor de korte termijn kan echter de vraag gesteld worden in hoeverre dit realistisch is. Slots zijn niet vrij verhandelbaar, dus er kan verondersteld worden dat het aandeel slots (en daarmee het marktaandeel) dat een alliantie bezit niet wijzigt. Doordat Low Cost Carriers veel kostengevoelige reizigers vervoeren zullen zij hun prijzen daarom minder verhogen dan Full Service Carriers. Dit zou ervoor pleiten om schaduwkosten alliantie-specifiek te maken. Daar staat tegenover dat op de lange termijn wel veel verschuivingen van slots tussen allianties plaatsvinden (en dit is historisch ook gezien). Een deel van de deskundigen acht het aannemelijk dat Low Cost Carriers hierdoor uiteindelijk marktaandeel zullen verliezen bij toenemende schaarste. Dit pleit ervoor om het huidige schaduwprijsmechanisme te handhaven.

In de discussie op dit punt werd tussen de geraadpleegde deskundigen geen consensus bereikt. Beide methoden sluiten niet volledig aan op de werkelijkheid. Aanpassing levert daarom niet per definitie een beter model op. Daar komt bij dat het alliantie-specifiek maken van de schaduwkosten betekent dat het aantal vrijheidsgraden in de optimalisatie sterk toeneemt. Het is erg onzeker of dit binnen GAMS nog steeds een stabiel model oplevert. In een andere softwareomgeving is dit waarschijnlijk geen probleem. Op basis hiervan is ons advies AEOLUS op dit punt nu niet aan te passen.

8.4 Voorgestelde verandering

Wij stellen de volgende veranderingen aan AEOLUS voor:

- AEOLUS krijgt twee netwerken aangeboden: een netwerk voor de ongerestricteerde situatie en een netwerk voor de situatie waarbij de maximale capaciteit bereikt is. Afhankelijk van of een capaciteitslimiet bereikt is, gebruikt AEOLUS het ene of het andere netwerk. Dit gebeurt met een geleidelijke overgang. Als het aantal gemodelleerde vluchten voldoende ver onder de limiet ligt (zeg minimaal 10%) dan worden de frequenties uit het ongerestricteerde netwerk genomen. Is de limiet bereikt, dan worden frequenties uit het gerestricteerde netwerk genomen. Daartussen wordt een gewogen gemiddelde van de frequenties uit beide netwerken toegepast om een geleidelijke overgang te creëren.

- Het ongerestricteerde netwerk wordt (conform de huidige methodiek) opgesteld met NetCost. Om hieruit het gerestricteerde netwerk af te leiden, wordt een heuristisch ontwikkeld om frequenties aan te passen op basis van het principe van winstmaximalisatie.
- De hubfactoren in de ticketprijsberekeningen worden afhankelijk gemaakt van de mate van schaarste. Als maat kan hierbij uitgegaan worden van de gemodelleerde schaarstekosten.
- De ontwikkeling van het gemiddelde aantal passagiers per vliegtuig wordt gekoppeld aan de mate van schaarste. Ook hier geldt dat voor de mate van schaarste kan worden uitgegaan van de gemodelleerde schaarstekosten. Het versnellen van de groei van het aantal passagiers per vliegtuig bij schaarste wordt gemodelleerd door een verschuiving naar hogere grootteklassen. Voor home-carriers wordt de versnelde groei beperkt omdat zij minder flexibel zijn.
- Het huidige schaduwprijsmechanisme met vaste schaduwkosten per vlucht wordt voorlopig niet herzien.

8.5 Plan van aanpak

De volgende stappen moeten worden doorlopen

1. AEOLUS aanpassen zodat twee vliegnetwerken ingelezen kunnen worden: een netwerk voor de ongerestricteerde situatie en een netwerk in geval van restricties. AEOLUS bepaalt daarbij per jaar welke van de twee netwerken gebruikt wordt.
2. Ontwikkelen van een heuristisch voor het opstellen van gerestricteerde netwerken op basis van winstmaximalisatie
3. In AEOLUS inbouwen dat de hubfactor in de ticketprijs afhankelijk wordt van de mate van schaarste
4. Een serie testruns uitvoeren (gevoeligheidsruns) om de relatie tussen de mate van schaarste enerzijds en de verhouding in ticketprijzen tussen directe en indirecte vluchten anderzijds af te stellen
5. In AEOLUS inbouwen dat de inzet van grotere vliegtuigen afhankelijk wordt van de mate van schaarste
6. Een serie testruns uitvoeren (gevoeligheidsruns) om de relatie tussen de mate van schaarste enerzijds en versnelde groei van het aantal stoelen per vliegtuig anderzijds af te stellen
7. Testen en valideren van de aangepaste versie van AEOLUS
8. Aanpassen documentatie

9. Verbeterpunt G - invloed capaciteits-schaarste op de vraag

9.1 Huidige situatie

In de huidige versie van AEOLUS verloopt de invloed van capaciteitsschaarste op de vraag volledig via de prijs. In geval van schaarste worden schaduwkosten geïntroduceerd waardoor vliegen en vrachtvervoer door de lucht duurder worden. In hoofdstuk 8 over verbeterpunt F (§8) stellen we voor om het strategische gedrag van airlines bij schaarste, voor zover mogelijk, mee te nemen in AEOLUS. Als dit voorstel wordt geïmplementeerd in het model, dan heeft capaciteitsschaarste niet alleen invloed op de hoogte van de ticketprijzen, maar ook op de aangeboden bestemmingen (en daarmee de reistijd als bestemmingen niet meer via een directe verbinding bereikbaar zijn), de frequenties waarmee gevlogen wordt, de differentiatie van ticketprijzen tussen directe en indirecte reizigers en de grootte van de ingezette vliegtuigen. Dit laatste heeft een klein effect op de doorberekende schaduwkosten, omdat deze per vlucht evenredig verdeeld worden over alle passagiers.

Bij schaarste verandert hierdoor het aanbod. Het schrappen van bestemmingen en/of verlagen van frequenties en de toename van de ticketprijzen maken vliegen minder aantrekkelijk. Het aangepaste aanbod bij schaarste werkt op de volgende punten door in de vraagmodellering van reizigers:

- Ontwikkeling van de vraag naar vliegen – De ontwikkeling van de totale vraag naar vliegen op een relatie wordt mede bepaald door veranderingen in de gemiddelde ticketprijs, frequenties en vliegtijden. Op elk van deze drie level-of-service componenten wordt de ontwikkeling ten opzichte van het voorgaande jaar bepaald en vervolgens door middel van elasticiteiten omgezet naar groeifactoren. Doordat bij schaarste frequenties niet of minder snel toenemen, ticketprijzen omhoog gaan en er mogelijk minder direct gevlogen kan worden (met langere reistijden tot gevolg), zal de vraag minder snel groeien of zelfs krimpen.
- De hoofdvervoerwijzekeuze – Voor herkomst-bestemmingsrelaties tussen het achterland van AEOLUS en de rest van Europa modelleert AEOLUS de hoofdvervoerwijzekeuze. De aantrekkelijkheid van het vliegalternatief wordt hierbij beschreven door de logsum over alle vliegroutes. Dit is wel de logsum op basis van route-utiliteiten zonder frequenties. De onderliggende aanname hierbij is dat frequenties wel bepalend zijn voor de verdeling van reizigers over routes, maar niet de aantrekkelijkheid van vliegen an sich bepalen. Het effect van schaarste op de vervoerwijzekeuze verloopt dus uitsluitend via de reistijd en -kosten.
- De vliegroutekeuze – In het vliegroutekeuze model worden reizigers verdeeld over alle routes tussen een herkomst-bestemmingspaar. De routekeuze omvat de luchthavenkeuze (als via het achterland wordt gevlogen), de eventuele hublocatie en de alliantie waarmee gevlogen wordt. In deze keuze zijn zowel ticketprijzen, vliegtijden als frequenties verklarende variabelen. Frequenties zijn hierbij meegenomen als een attractievariabele. Dit betekent dat de marktaandeelen per route naar rato geschaald wordt met de aangeboden frequenties.

Voor luchtvracht werken capaciteitsbeperkingen alleen door op de vraag via de prijs. Dit gebeurt door een kostenelasticiteit toe te passen op de schaarstekosten per ton vracht. Hierdoor neemt de vraag op de betreffende luchthaven af, maar dit heeft geen effect op de prognose voor andere luchthavens. Dit verandert als de vrachtmodule wordt herzien zoals voorgesteld in het hoofdstuk over verbeterpunt E (§7). Schaarstekosten worden dan meegenomen in het vrachtluchthavenkeuze model voor Full Freighter vracht. Bij deze keuze wordt ook het alternatief 'geen luchtvrachtvervoer' meegenomen. Schaarste zal er dan dus voor zorgen dat (1) er in totaliteit minder vracht door de lucht vervoerd wordt en (2) er een verschuiving is naar minder gerespecteerde luchthavens.

9.2 Beperkingen van de huidige situatie en discussie

Als de in §7 (modellering vracht) en §8 (strategisch gedrag airlines) voorgestelde veranderingen doorgevoerd worden dan bevat het model in principe de juiste mechanismen om bij schaarste de verwachte effecten op de vraag te modeleren. De vraagmodellering binnen de huidige passagiersmodule

kampt echter wel met een issue op relaties binnen Europa. Op deze relaties wordt ook de hoofdvervoerwijzekeuze gemodelleerd. Om tot het aantal reizigers per hoofdvervoerwijze te komen, worden de volgende stappen doorlopen:

- Berekening van de totale vraag naar vliegen:

$$\text{pax_air}^t = \text{pax_air}^{t=1} \cdot \text{groefactor}^{\text{sod}} \cdot \text{groefactor}^{\text{los}} \cdot \text{marktaandeel_air}^t / \text{marktaandeel_air}^{t=1}$$

waarin:

| | |
|----------------------------------|---|
| pax_air^t | = de totale vraag naar vliegen in jaar t |
| $\text{pax_air}^{t=1}$ | = de totale vraag naar vliegen in het basisjaar (t = 1) |
| $\text{groefactor}^{\text{sod}}$ | = groefactor op basis van sociaal-demografisch (sod) ontwikkelingen: handels-, inkomens- en bevolkingsgroei |
| $\text{groefactor}^{\text{los}}$ | = groefactor op basis van veranderingen in de level-of-service: prijs-, frequentie- en reistijdontwikkeling |
| $\text{marktaandeel_air}^t$ | = marktaandeel vliegen in jaar t |
| $\text{marktaandeel_air}^{t=1}$ | = marktaandeel vliegen in het basisjaar |

- Hieruit wordt de totale vraag berekend:

$$\begin{aligned} \text{pax_tot}^t &= \text{pax_air}^t / \text{marktaandeel_air}^t \\ &= (\text{pax_air}^{t=1} \cdot \text{groefactor}^{\text{sod}} \cdot \text{groefactor}^{\text{los}} \cdot \text{marktaandeel_air}^t / \text{marktaandeel_air}^{t=1}) / \text{marktaandeel_air}^t \\ &= \text{pax_tot}^{t=1} \cdot \text{groefactor}^{\text{sod}} \cdot \text{groefactor}^{\text{los}} \end{aligned}$$

waarin:

| | |
|-------------------------|---|
| pax_air^t | = de totale vraag naar vliegen in jaar t |
| $\text{pax_air}^{t=1}$ | = de totale vraag naar vliegen in het basisjaar (t = 1) |

- De vraag voor de vervoerwijzen over land volgt nu uit:

$$\text{pax_land}^t = \text{pax_tot}^t \cdot \text{marktaandeel_land}^t$$

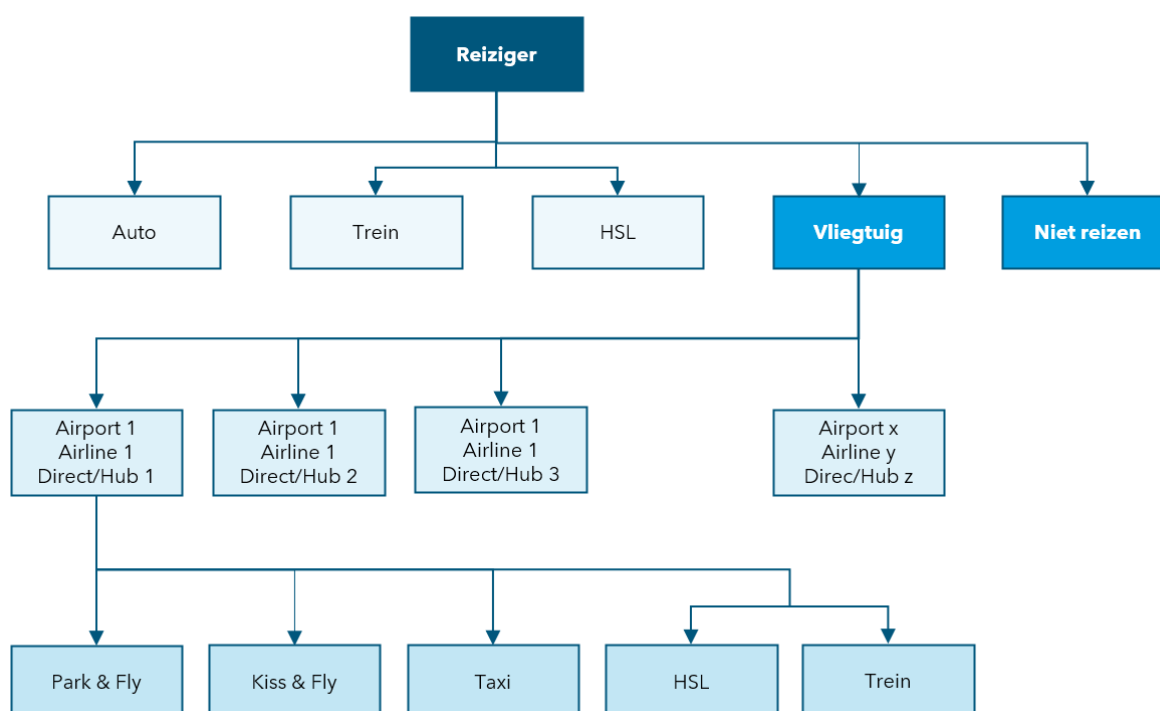
waarin:

| | |
|-------------------------------|---|
| pax_land^t | = de totale vraag naar reizen over land in jaar t |
| $\text{marktaandeel_land}^t$ | = marktaandeel reizen over land in jaar t |

In de tweede vergelijking is te zien dat de groei op basis van veranderingen in de level-of-service voor vliegen wordt toegepast op de totale vraag. Voor relaties van en naar Europa of buiten Europa om gaat dit goed. Hier worden immers geen andere vervoerwijzen gemodelleerd en zijn de totale vraag en de vraag naar vliegen gelijk aan elkaar verondersteld. Voor relaties binnen Europa levert deze formulering echter problemen op. In eerdere toepassing van AEOLUS bleek dat het gemodelleerde uitwijkgedrag als gevolg van bijvoorbeeld prijsbeleid en/of schaarste er hierdoor niet logisch uitzat. De gemodelleerde veranderingen in het totaal aantal reizigers en het aantal reizigers per vervoerwijze hadden onderling geen plausible verhoudingen. In een recente aanpassing aan AEOLUS is dit opgelost door de groei ten gevolge van veranderingen in de level-of-service (groefactor^{los}) te corrigeren met het aandeel vliegen. Als gevolg van deze aanpassing ziet het gemodelleerde uitwijkgedrag er, zeker op geaggregeerd niveau, nu veel plausibeler uit. Vanuit theoretisch oogpunt blijft er echter een inconsistentie bestaan in de

manier waarop de ontwikkeling van de vraag (o.b.v. elasticiteiten) en de verdeling over de vervoerwijzen (discreet keuzemodel) gemodelleerd worden. Doordat beide modellen niet simultaan geschat worden, is er geen garantie dat de gevoeligheden van beide modellen voor veranderingen in de level-of-service volledig met elkaar in lijn zijn onder alle denkbare scenario's.

Een logische oplossing hiervoor zou zijn om aan de simultane hoofdvervoerwijze-, vliegroute- en toegangskeuze een alternatief 'niet reizen' toe te voegen. Het effect van veranderingen in de level-of-service hoeft dan niet meer meegenomen te worden in de modellering van de totale vraag. Deze totale vraag kan dan, behoudens de groei op basis van economische en demografische ontwikkelingen, als constant verondersteld worden. Het effect van veranderingen aan de level-of-service werkt nu via de logsum voor vliegen door in de marktaandeelen van de hoofdvervoerwijzen en het nieuwe alternatief 'niet meer vliegen'. Deze aanpak is consistent met de eerder voorgestelde aanpak voor de modellering van vracht (verbeterpunt E in §7). In feite wordt de keuze tussen wel of niet vliegen nu simultaan gemodelleerd met de overige reiskeuzen. Dit garandeert een consistente impact van veranderingen van de level-of-service. Figuur 14 geeft de voorgestelde structuur van de keuzemodellen weer.



Figuur 14 - Aangepaste nest structuur van de keuzemodellen in AEOLUS

9.3 Voorgestelde verandering

Wij stellen de volgende verandering aan AEOLUS voor:

- In de berekening van de totale vraag wordt geen effect meegenomen van veranderingen van de level-of-service. De vraag wordt in plaats daarvan uitsluitend bepaald door bevolkings-, inkomens- en handelsgroei.
- In plaats daarvan wordt in simultane keuzemodel voor reizigersgedrag een alternatief 'niet reizen' toegevoegd. De gevoeligheid van dit alternatief voor veranderingen in de kosten, prijs en frequenties van vliegen kan afgesteld worden door middel van de alternatief specifieke constante, omdat gevoeligheden afhankelijk zijn van het marktaandeel. Het correct modelleren van het marktaandeel voor 'niet reizen' is niet zozeer van belang; het gaat om de juiste gevoeligheden. Om de juiste gevoeligheden te modelleren zal deze constante wel afstandsafhankelijk gemaakt moeten worden.

9.4 Voorstel

De volgende stappen moeten worden doorlopen

1. Implementatie van de voorgestelde aanpassingen aan de vraagmodellering
2. Afstellen van de gevoeligheid van het alternatief 'niet reizen'
3. Testen en valideren van de aangepaste versie van AEOLUS
4. Aanpassen documentatie

10. Verbeterpunt H - autonome ontwikkeling regionale luchthavens

10.1 Huidige situatie

AEOLUS maakt ook prognoses voor de regionale luchthavens Eindhoven (EIN), Rotterdam (RTM), Lelystad (LEY), Groningen (GRQ) en Maastricht (MST). Daarbij is de opening van luchthaven Lelystad voor commercieel luchtverkeer (en het jaar waarin dit gebeurt) een beleidsinstelling die aan of uit gezet kan worden. De autonome ontwikkeling van deze regionale luchthavens wordt op dezelfde wijze gemodelleerd als voor Schiphol. Voor het basisjaar worden het aantal passagiers, de hoeveelheid vracht (alleen op luchthaven Maastricht) en het aantal vliegbewegingen gekalibreerd. De ontwikkeling van het totale aantal luchtvaartreizigers op een herkomst-bestemmingsrelatie hangt af van:

- De handels-, inkomens-, en bevolkingsgroei – Voor niet-zakelijke reizigers zijn de inkomens- en bevolkingsgroei bepalend voor de ontwikkeling van het aantal luchtvaartreizigers. Voor zakelijke reizigers is dit de handelsgroei. Per relatie wordt voor deze groeicijfers ten opzichte van het voorgaande jaar een gemiddelde genomen over de herkomst en bestemming. Door middel van een elasticiteit worden de handels-, inkomens- en bevolkingsgroei vervolgens omgezet naar groeifactoren.
- Ontwikkeling van de gemiddelde ticketprijs, frequentie en reistijd van vliegen – Voor elk van deze drie level-of-service componenten wordt per relatie het (over het aantal passagiers gewogen) gemiddelde bepaald. In deze gewogen gemiddelden tellen dus ook de routes via de regionale luchthavens mee. Per component worden vervolgens de ontwikkeling bepaald door de gewogen gemiddelden te delen door de waarden uit het voorgaande jaar. Ook hier wordt de gevonden ontwikkeling door middel van elasticiteiten omgezet naar groeifactoren.

De prognose voor het totale aantal luchtreizigers tussen twee zones wordt verkregen door de verschillende groeifactoren toe te passen op het aantal gemodelleerde luchtreizigers in het voorgaande jaar. Welk deel van de groei (of krimp) bij welke luchthaven terecht komt volgt vervolgens uit het routekeuzemodel. In deze stap worden reizigers verdeeld over de luchthavens op basis van ondermeer de aangeboden bestemmingen, vliegfrequenties en ticketprijzen. In de routekeuze wordt ook de logsum van het toegangskeuzemodel meegenomen. Hierdoor wordt een luchthaven aantrekkelijker zodra deze beter bereikbaar is. In geval van capaciteitsbeperkingen op een luchthaven worden in het routekeuze model ook schaduw prijzen meegenomen.

Voor vracht wordt de totale stroom van/en naar West-Europa bepaald door de handelontwikkeling. Op de gemiddelde ontwikkeling in de herkomst- en bestemmingszone wordt een elasticiteit gezet om tot een groeifactor te komen. Voor het aandeel van deze vrachtstroom op de Nederlandse vrachtluchthavens Amsterdam en Maastricht worden vaste fracties toegepast. Bij capaciteitsbeperkingen wordt een kostenelasticiteit toegepast op de schaarstekosten per ton vracht om deze stroom te reduceren. Omdat de luchthavenkeuze voor vracht niet expliciet gemodelleerd wordt, heeft dit geen effect op de prognoses van de andere luchthavens. Merk op dat onder verbeterpunt E (§7) is voorgesteld om de vrachtmodule te herzien. In de geadviseerde aanpak wordt de luchthavenkeuze voor vracht, net als voor passagiers, expliciet gemodelleerd door middel van een luchthavenkeuze model.

Samengevat hangt de prognose voor de regionale luchthavens dus af van:

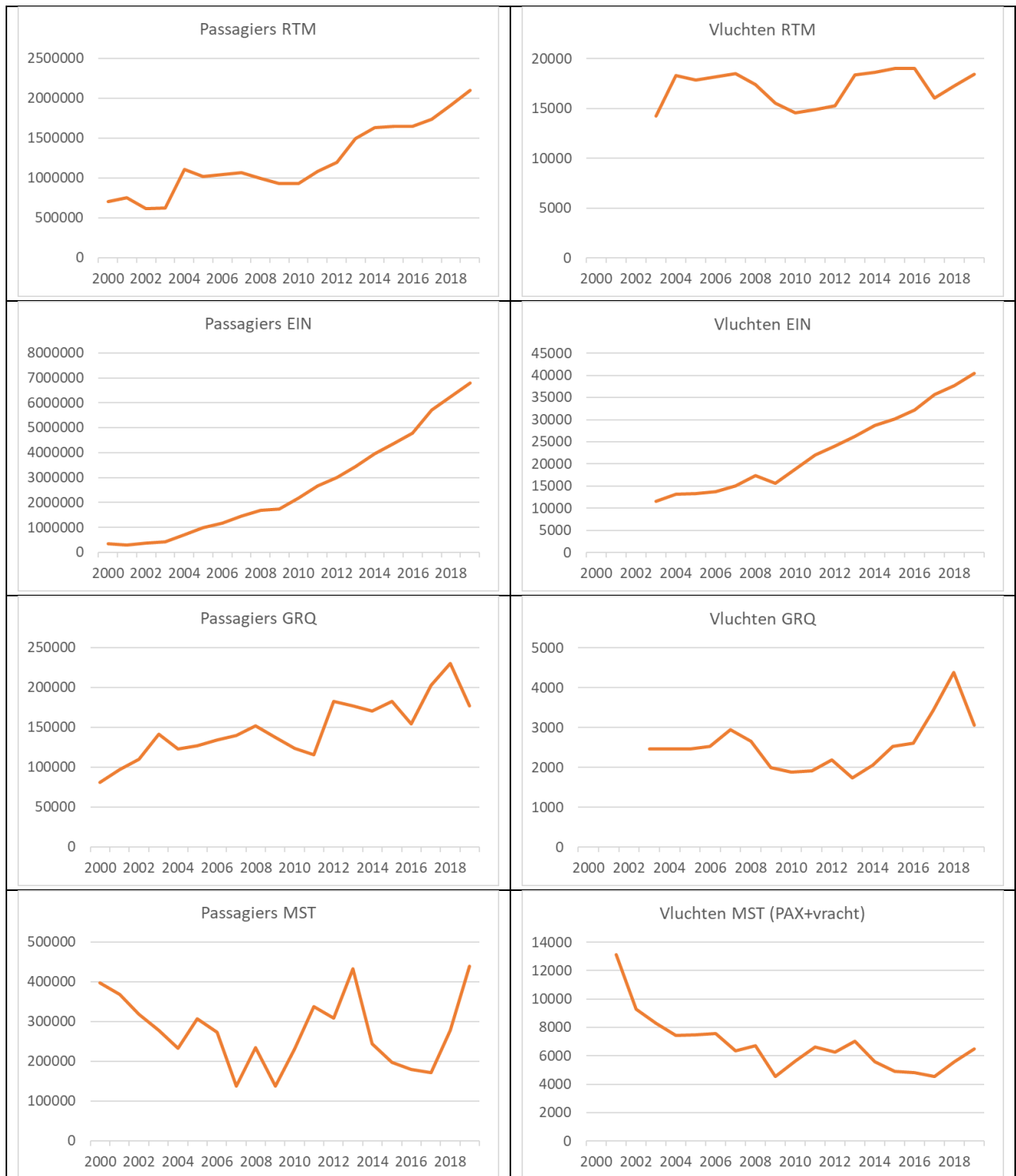
- het startpunt (aantallen waarop gekalibreerd is);
- een groeifactor (die generiek is voor alle luchthavens);
- eventuele verschuivingen in de marktaandelen door concurrentie.

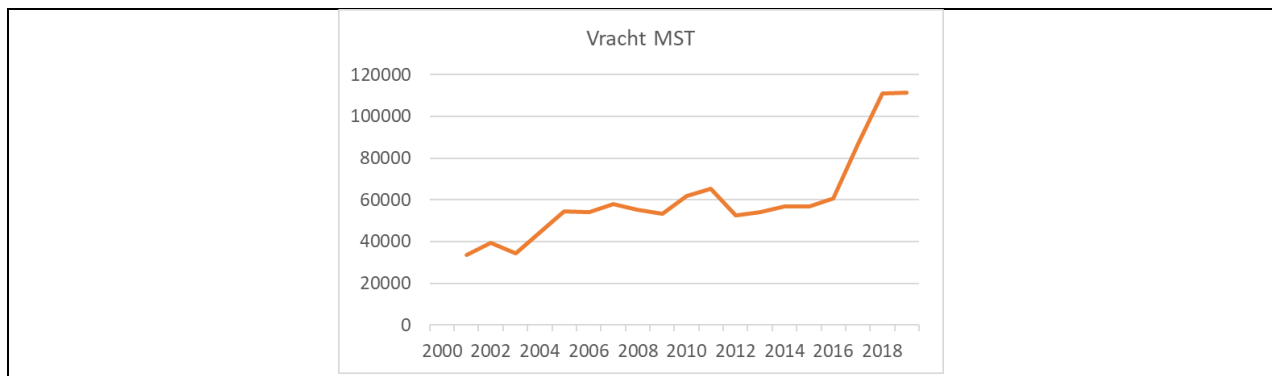
Het startpunt in het basisjaar is dus sterk bepalend voor de prognoses.

10.2 Beperkingen van de huidige situatie

Figuur 15 toont het aantal passagiers (linkerkolom), het totaal aantal passagiers- en vrachtvluchten (rechterkolom) en de hoeveelheid vracht (onderaan, alleen voor Maastricht) op de vier regionale luchthavens voor de jaren 2000-2019. De COVID19-jaren zijn in deze analyse bewust weggelaten. Goed te zien is dat het aantal passagiers, vluchten en de hoeveelheid vracht op de regionale luchthavens sterk kan variëren van jaar op jaar. Dit geldt met name voor de kleinere luchthavens Maastricht en Groningen.

Figuur 15 - Ontwikkeling van het aantal passagiers, aantal vluchten en hoeveelheid vracht op de regionale luchthavens Rotterdam (RTM), Eindhoven (EIN), Groningen (GRQ) en Maastricht (MST)





Regionale luchthavens hebben geen home-carrier zoals Schiphol en worden meestal maar door een beperkt aantal luchtvaartmaatschappijen bediend. De beslissing van een enkele Low Cost Carrier om vanaf een andere luchthaven te gaan vliegen kan daarom een grote impact hebben op het aantal aangeboden vluchten. Dergelijke beslissingen zijn echter niet in AEOLUS te modelleren. Dit levert problemen op wanneer een jaar met een extreem aantal passagiers, vluchten en/of hoeveelheid vracht toevallig een basisjaar is. Er wordt dan gekalibreerd naar waarden die over een iets langere termijn niet representatief zijn voor een luchthaven. De prognoses worden vervolgens ontwikkeld vertrekkende vanaf dit extreme punt. Dit heeft in het verleden al tot problemen geleid.

10.3 Discussie

Het ligt voor de hand om in een situatie met duidelijke variaties rond een gekozen basisjaar niet precies de realisatie in dat basisjaar te gebruiken, maar een gemiddelde over een wat langere periode te nemen. Idealiter gebruik je hiervoor een gemiddelde over een paar jaar ervoor en een paar jaar erna, maar dat kan lastig zijn omdat een gekozen basisjaar meestal een recent jaar is en er dus nog geen realisaties zijn voor de paar jaar erna. We illustreren dit aan de hand van een voorbeeld. We kijken hierbij naar het aantal passagiers op Rotterdam (linkerkolom, langzaam stijgend) en Maastricht (rechterkolom, sterk variabel maar gemiddeld constant).

We bekijken zes verschillende manieren om een representatief gemiddelde voor het aantal reizigers in een basisjaar te bepalen:

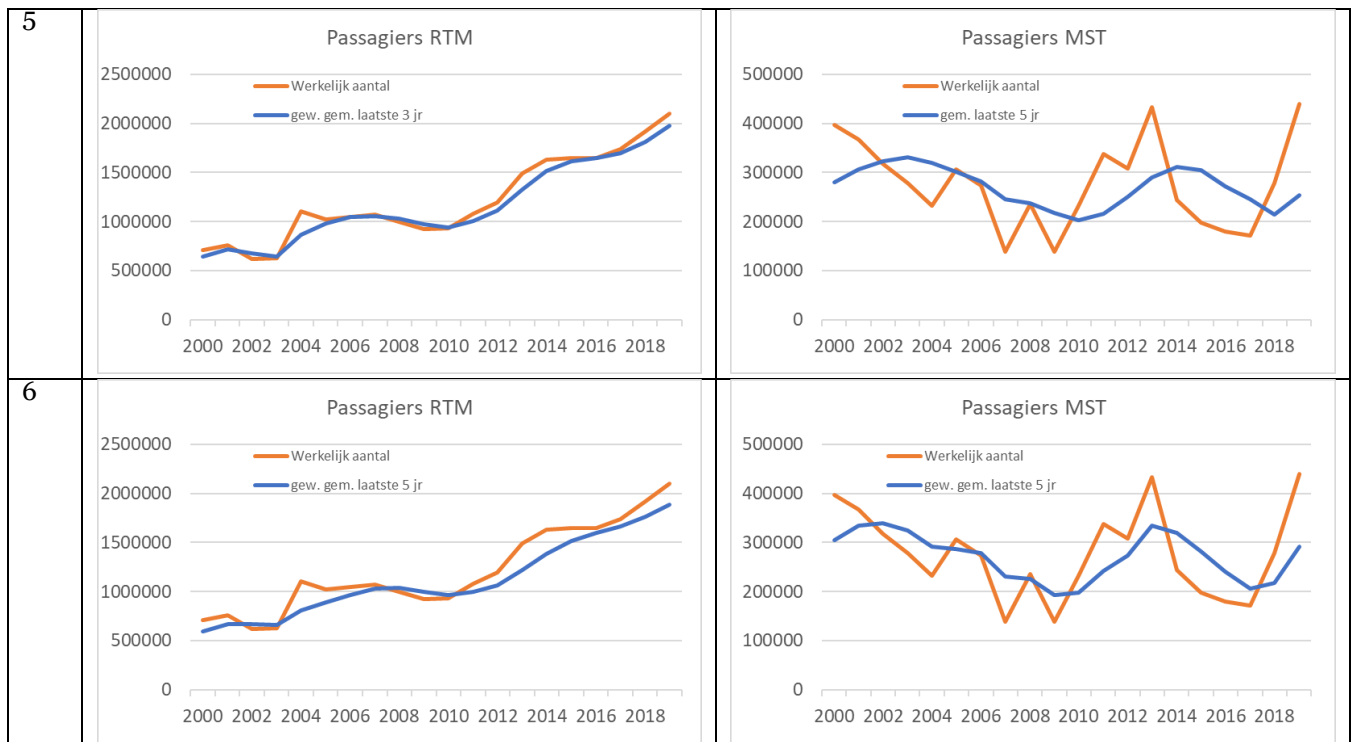
1. Gemiddelde over 3 jaar (van 1 jaar ervoor tot en met 1 jaar erna);
2. Gemiddelde over 5 jaar (van 2 jaar ervoor tot en met 2 jaar erna);
3. Gemiddelde over laatste 3 jaar (van 3 jaar ervoor tot en met het betreffende jaar);
4. Gemiddelde over laatste 5 jaar (van 5 jaar ervoor tot en met het betreffende jaar);
5. Gewogen gemiddelde over laatste 3 jaar (weegfactor respectievelijk 1:2:3 = 17%, 33%, 50%);
6. Gewogen gemiddelde over laatste 5 jaar (weegfactor resp. 1:2:3:4:5 = 7%, 13%, 20%, 27%, 33%).

In Figuur 16 worden deze zes methoden met elkaar vergeleken. Uit deze figuren kunnen we concluderen dat een gewoon gemiddelde over 5 jaar in principe goed werkt: dit geeft een glad verlopende curve, zonder al te veel sprongen en elk jaar kan veilig als basisjaar gekozen worden: het gemiddelde (blauwe lijn in onderstaande figuren) vormt een goede basis om de verdere prognoses op te bouwen. Echter, zoals al eerder gezegd, is dit geen praktische keuze omdat er minstens twee nieuwe jaren voorbij moeten zijn voordat je dit gemiddelde kunt bepalen.

Bij de gemiddelden over de laatste 3 of 5 jaar is duidelijk te zien dat er een soort vertragingseffect is: het gemiddelde loopt consequent achter de werkelijke ontwikkeling aan. Op zich geeft dat voor een sterk variërende luchthaven als MST nog steeds een prima basis voor de prognoses, maar voor RTM lijkt dit onwenselijk. Het is een optie om deze methode alleen voor de kleinere regionale luchthavens te gebruiken, waar meer variatie te zien is en het dus belangrijker is om uitschieters te dempen.

Figuur 16 - Vergelijking van methoden om per luchthaven een representatief aantal reizigers te bepalen voor het basisjaar





Een gewogen gemiddelde lijkt nog iets beter te werken om een vloeiende ontwikkeling te krijgen, waarbij een gewogen gemiddelde over 3 jaar het beter lijkt te doen dan een gewogen gemiddelde over vijf jaar. Dit (methodiek 5) lijkt de beste keuze te zijn. We raden desalniettemin aan om bij de overgang naar een nieuw basisjaar altijd deskundigen te raadplegen om een inschatting te maken van de stabiliteit. Het is denkbaar dat op basis van hun kennis reeds voorziene korte termijn ontwikkelingen ook kunnen worden meegenomen bij het vaststellen van representatieve aantallen voor het basisjaar.

Als de hierboven gekozen methode gehanteerd wordt is het wel noodzakelijk om de luchtzijdige level-of-service voor het basisjaar hier consistent mee te maken. Er is dan een soort ‘gemiddelde’ level-of-service nodig van de jaren waarover gemiddeld wordt. Dit is vooral van belang als de waargenomen aantallen vluchten in het basisjaar sterk afwijken van voorgaande jaren (en dus van het gehanteerde gewogen gemiddelde). Vanuit de OAG-data is het aanbod per jaar bekend, maar het zal wel een aantal handmatige aanpassingen vergen om hieruit één consistent basisjaarnetwerk samen te stellen voor de regionale luchthavens.

10.4 Voorgestelde verandering

Wij stellen de volgende veranderingen aan AEOLUS voor:

- Voor het totaal aantal reizigers, het aantal vluchten en de hoeveelheid vracht op regionale luchthavens wordt in het basisjaar uitgegaan van een gewogen gemiddelde over de laatste drie jaar. Op deze gewogen gemiddelden wordt het model gekalibreerd.
- Als de gehanteerde gemiddelden sterk afwijken van de waargenomen aantallen in het basisjaar wordt de luchtzijdige level-of-service van de regionale luchthavens hiervoor gecorrigeerd.

10.5 Plan van aanpak

De volgende stappen moeten worden doorlopen:

1. Voorafgaand aan de kalibratie het waargenomen aantal passagiers, aantal vluchten en de hoeveelheid vracht voor de laatste drie jaar opzoeken en hiervan het gewogen gemiddelde bepalen
2. Vaststellen of de level-of-service voor het basisjaar voldoende consistent is met het aantal vluchten waarop gekalibreerd wordt. Als dit niet het geval is zijn eenmalig handmatige aanpassingen aan het

netwerk nodig. Hiervoor kan naar OAG-data gekeken worden om te bepalen welke verbindingen (en met welke frequentie) in voorgaande jaren werden bediend.

11. Verbeterpunt I - uitsplitsing motief niet-zakelijk

11.1 Huidige situatie

In AEOLUS 6 worden segmenten reizigers onderscheiden, waarbij een onderscheid naar twee reismotieven is inbegrepen:

- **OD-reizigers met herkomst in Nederland** e.o., reizend voor een **zakelijk** motief
- **OD-reizigers met herkomst in Nederland** e.o., reizend voor een **niet-zakelijk** motief
- **OD-reizigers met bestemming in Nederland** e.o., reizend voor een **zakelijk** motief
- **OD-reizigers met bestemming in Nederland** e.o., reizend voor een **niet-zakelijk** motief
- **Transferreizigers**, reizend voor een **zakelijk** motief
- **Transferreizigers**, reizend voor een **niet-zakelijk** motief

Voor deze zes segmenten zijn er in AEOLUS in principe verschillende groeifuncties en verschillende gedragsfuncties ingebouwd (hoewel in sommige gevallen coëfficiënten of exponenten gelijk zijn gesteld).

Zowel data van het Continu Onderzoek Schiphol als data van het KiM-onderzoek naar de luchthavenkeuze worden gebruikt om de aantallen reizigers voor deze zes segmenten te bepalen en worden mede gebruikt om de coëfficiënten van de gedragsfuncties te bepalen.

11.2 Beperkingen van de huidige situatie

Vanuit gebruikers die AEOLUS-resultaten gebruiken ten behoeve van MKBA's is er de behoefte om de niet-zakelijke segmenten verder te splitsen. Hierbij gaat het vooral om het afsplitsen van reizigers die een vaste bestemming hebben (bijv. omdat ze vrienden of familie willen bezoeken) en reizigers die een flexibele bestemming hebben (bijv. vakantiegangers die er even een weekje tussenuit willen). Bij een scenario met een ander aantal bestemmingen die vanaf een luchthaven rechtstreeks kunnen worden bereikt, is de waardering voor beide groepen verschillend en is het wenselijk om deze groepen te kunnen onderscheiden.

11.3 Discussie

Modelmatig is het opsplitsen van motieven zinvol wanneer er sprake is van

- verschil in gedragsreacties EN
- verschil in groei EN
- het een substantieel volume betreft.

De maximale opsplitsing in motieven wordt bepaald door de data, en dus in het bijzonder door het Continu Onderzoek Schiphol. Deze dataset onderscheidt acht motieven. Deze worden voor AEOLUS geaggregeerd naar twee motieven (zie Tabel 2).

Tabel 2 - Motiefverdeling in Continu Onderzoek Schiphol 2017 en in AEOLUS

| Motief in Continu Onderzoek | Percentage | Motief in AEOLUS | Percentage |
|-----------------------------|------------|------------------|------------|
| zaken/werk | 29.2% | Zakelijk | 32.6% |
| congres/studie | 3.4% | | |
| vakantie | 45.9% | Niet-zakelijk | 67.4% |
| familie/vrienden | 19.9% | | |
| sport | 0.7% | | |
| emigratie | 0.4% | | |
| medisch | 0.2% | | |
| anders | 0.4% | | |

Gezien de beperkte omvang van de meeste van deze motieven is de enige reële optie om het niet-zakelijke motief op te splitsen in een motief vakantie en een motief familie/vrienden. Beide motieven zijn substantieel qua omvang. De vraag is nu of het vanuit het modeloogpunt nodig is om dit onderscheid te maken en dus of aan de andere twee benoemde voorwaarden (verschil in gedragsreactie en verschil in groei) wordt voldaan.

Eerst de vraag: is het gedrag verschillend tussen beide motieven. Om dit goed te bepalen, zou je een aparte modelschatting moeten doen op data van beide motieven. Dat is binnen dit project niet gedaan. Desalniettemin achten we verschillend gedrag wel waarschijnlijk. Reizigers die familie of vrienden gaan bezoeken zullen minder kostengevoelig zijn, minder geneigd zijn om een alternatieve bestemming te kiezen, en ook minder snel overstappen naar een andere vervoerwijze (immers: de tijd op de bestemming is waardevol voor hen, en niet zo zeer de tijd van het reizen zelf).

Vervolgens de vraag: is de groei verschillend. Als indicatie hiervoor hebben we naar de motiefverdeling in het Continu Onderzoek Schiphol 2004 gekeken, toen er nog maar 5 motieven onderscheiden werden (Tabel 3). Van belang is nu de onderlinge verhouding tussen het motief vakantie en het motief familie/vrienden. In 2017 was het motief vakantie een factor 2,3 groter dan familie/vrienden, en in 2004 was dat een factor 2,2. Dat is dus nauwelijks verschillend, hetgeen impliceert dat beide segmenten ongeveer even hard groeien.

Tabel 3 - Motiefverdeling in Continu Onderzoek Schiphol 2004

| Motief in Continu Onderzoek | Percentage |
|-----------------------------|------------|
| zaken/werk | 35.1% |
| congres/studie | 3.8% |
| vakantie | 40.9% |
| familie/vrienden | 18.7% |
| anders | 1.5% |

De conclusie is dus dat er vanuit modelmatig oogpunt geen duidelijke noodzaak is om het motief niet-zakelijk op te splitsen: dit zou ook met gemiddeld gedrag en met vaste fracties in een nabewerking kunnen worden gedaan. Echter, dit verandert wanneer bestemmingskeuze expliciet in AEOLUS zou worden geïmplementeerd. Dan ligt het voor de hand om het verschil in bestemmingskeuze ook expliciet zichtbaar te gaan maken in de modeluitkomsten. Bovendien zou dat de bruikbaarheid (en het draagvlak) voor de AEOLUS-resultaten vergroten.

Wanneer dit wordt geïmplementeerd, groeit het stelsel van vergelijkingen dat door AEOLUS simultaan wordt opgelost met ca. 50%. We hebben niet onderzocht of dat qua geheugengebruik door AEOLUS haalbaar is, en ook niet wat dat betekent voor de runtijd.

11.4 Voorgestelde verandering

Splits het motief niet-zakelijk binnen AEOLUS in een motief “vakantie” en een motief “bezoek familie/vrienden”. Reizigers voor de motieven sport, emigratie en medisch binnen het Continu Onderzoek hebben waarschijnlijk een vergelijkbaar gedrag als voor bezoek familie/vrienden en kunnen daarbij worden gevoegd. Het motief “anders” kan het beste bij het grootste motief (i.e. vakantie) worden gevoegd.

11.5 Plan van aanpak

De volgende stappen moeten worden doorlopen voor de voorgestelde verandering

1. Onderzoek of het haalbaar is om deze aanpassing in GAMS uit te voeren en wat de consequenties hiervan zijn voor de rekentijd. Dit kan eenvoudig door aanpassing van de AEOLUS-code om een iteratie over drie in plaats van over twee motieven te doen. Dit is in principe triviaal, maar vergt wel aanpassing op diverse plaatsen. Vervolgens wordt alle invoer voor het motief niet-zakelijk gedupliceerd en toegepast voor beide nieuwe motieven vakantie en bezoek familie/vrienden.
2. Beperkt onderzoek naar eventuele verschillen in de groei van beide motieven. Dit kan op basis van het Continu Onderzoek Schiphol over de periode 2004 – 2019 en/of op basis van de jaarlijkse gepubliceerde Traffic Review van Schiphol. Als de groei vergelijkbaar is geweest, kan de bestaande AEOLUS-groefunctie voor het motief niet-zakelijk voor beide nieuwe motieven worden toegepast. Zo niet, dan moeten nieuwe groefuncties bepaald worden.
3. Bepalen van de prijs- en andere elasticiteiten voor de groefunctie voor beide motieven. Op dit moment hanteert AEOLUS een prijselasticiteit van -1 voor het motief niet-zakelijk. Deze is op basis van expert judgement vastgesteld wegens gebrek aan data. Dit zal dan ook voor beide motieven apart moeten gebeuren.
4. Beperkt onderzoek naar de noodzaak en de mogelijkheden om onderscheid te maken tussen de ticketprijs voor reizigers van beide motieven. Het is denkbaar dat dit onderscheid niet noodzakelijk is (reizigers voor beide motieven betalen gemiddeld dezelfde prijs voor een reis naar dezelfde bestemming), of dat het niet mogelijk is door gebrek aan data. Indien het wel noodzakelijk en mogelijk is, moet aan SEO Economisch Onderzoek worden gevraagd hier een empirische functie voor af te leiden en deze toe te voegen aan NetCost.
5. Afleiden van aparte OD-matrices voor beide motieven op basis van het Continu Onderzoek Schiphol. Dit kan op analoge wijze gebeuren als eerder gedaan is voor het motief niet-zakelijk.
6. Bepalen van de reistijdwaardering voor beide motieven. Door gebrek aan onafhankelijke kosten en tijdvariatie in de data, kan deze waardering niet op basis van het Continu Onderzoek worden bepaald. Maar de onderlinge verhouding van het belang van tijd en van geld is wel input voor de volgende stap. Het nationale reistijdwaarderingsonderzoek levert in principe alleen waarden op voor de motieven woon-werk, zakelijk en overig, maar er zijn achtergrondgegevens beschikbaar om een verdere uitsplitsing te maken.
7. Bepalen van aparte gedragscoëfficiënten voor alle keuzefuncties die in AEOLUS aanwezig zijn. Dit kan op analoge wijze gebeuren zoals eerder gedaan is voor het motief niet-zakelijk.
8. Bepalen van diverse andere invoervariabelen die per motief moeten worden gespecificeerd. Het gaat hier bijvoorbeeld om de bezettingsgraad van auto als voortransportmiddel, de inchecktijd, de tijd om een vliegveld weer te verlaten, de parkeerkosten. Deze zijn allemaal in het verleden voor het motief niet-zakelijk vastgesteld op basis van expert judgement en dit moet ook voor de nieuwe motieven worden gedaan.
9. Aanpassen documentatie

12. Verbeterpunt J - Schatting vraag buitenlandse luchtreizigers naar Nederland

12.1 Huidige situatie

De omvang van het aantal buitenlandse niet-zakelijke reizigers naar Nederland wordt in AEOLUS bepaald door de omvang in het basisjaar, vermenigvuldigd met een groeifactor. Deze groeifactor wordt bepaald door vijf componenten:

- De groei van de bevolking in de herkomstzone van de buitenlandse reiziger. Deze groei werkt met een elasticiteit van 1 door in het aantal niet-zakelijke reizigers.
- De groei van het inkomen in de herkomstzone van de buitenlandse reiziger. Deze groei werkt met een elasticiteit van 1.15 (Europees) en 1.35 (intercontinentaal) door het aantal niet-zakelijke reizigers.
- De verandering van de gemiddelde ticketprijs voor luchtreizen tussen de herkomstzone en Nederland. Deze verandering werkt met een elasticiteit van -1 door in het aantal niet-zakelijke reizigers.
- De verandering van de gemiddelde vliegtijd tussen de herkomstzone en Nederland. Deze verandering werkt met een elasticiteit van -1 door in het aantal niet-zakelijke reizigers. Echter, omdat vliegtijden eigenlijk nauwelijks veranderen, is dit geen belangrijke factor.
- De verandering van de gemiddelde vluchtfrequentie tussen de herkomstzone en Nederland. Deze verandering werkt met een elasticiteit van +0.1 door in het aantal niet-zakelijke reizigers. Door de lage elasticiteit is dit ook geen belangrijke factor.

De groeifactor voor het aantal zakelijke reizigers wordt bepaald door vier componenten. De laatste drie zijn gelijk aan die van de groeifactor voor niet-zakelijke reizigers, alleen met iets andere elasticiteiten.

- De groei van de handel (in euro's) in de herkomstzone van de buitenlandse reiziger. Deze groei werkt met een elasticiteit van 0.80 door in het aantal niet-zakelijke reizigers.
- De verandering van de gemiddelde ticketprijs voor luchtreizen tussen de herkomstzone en Nederland. Deze verandering werkt met een elasticiteit van -0.5 door in het aantal niet-zakelijke reizigers.
- De verandering van de gemiddelde vliegtijd tussen de herkomstzone en Nederland. Deze verandering werkt met een elasticiteit van -0.5 door in het aantal niet-zakelijke reizigers. Echter, omdat vliegtijden eigenlijk nauwelijks veranderen, is dit geen belangrijke factor.
- De verandering van de gemiddelde vluchtfrequentie tussen de herkomstzone en Nederland. Deze verandering werkt met een elasticiteit van +0.1 door in het aantal niet-zakelijke reizigers. Door de lage elasticiteit is dit ook geen belangrijke factor.

Bovenstaande formule geldt voor het totaal aantal buitenlandse reizigers naar Nederland, ongeacht via welke luchthaven ze naar Nederland reizen. Strikt genomen geldt deze formule dus niet voor de groei van het aantal buitenlandse OD-reizigers op Schiphol, omdat de fractie van het totaal aantal buitenlandse OD-reizigers dat via Schiphol reist, niet constant hoeft te zijn door de tijd.

12.2 Beperkingen van de huidige situatie

In de uitvoeringsagenda van de luchtvaartnota is het voornemen opgenomen om de mobiliteitsbehoefte op Nederlandse luchthavens goed in kaart te brengen. Het is daarom goed om vast te stellen of deze huidige groeiformule goed werkt of dat er een verfijning nodig is.

12.3 Discussie

Om te bepalen hoe goed de groeiformule werkt, kan het beste naar historische data worden gekeken. De groei zoals door de AEOLUS-formule wordt beschreven, kan met de werkelijke groei van het aantal buitenlandse luchtvaartpassagiers die naar Nederland reizen worden vergeleken. Echter, dit is geen eenvoudige vergelijking:

- De AEOLUS-formule maakt onderscheid tussen zakelijke en niet-zakelijke reizigers en gebruikt een andere groeiformule voor beide segmenten. Dat betekent dat voor een goede (informatieve) vergelijking met de realiteit ook een databron gebruikt moet worden dat een onderscheid maakt tussen het aantal zakelijke en niet-zakelijke reizigers. Het Continu Onderzoek Schiphol is een goede bron, maar beschrijft alleen het aantal reizigers op Schiphol, terwijl de AEOLUS-formule voor alle reizigers naar Nederland geldt. Door alleen Schiphol-data te gebruiken wordt impliciet verondersteld dat het marktaandeel van Schiphol in het buitenlandse OD-reizigers segment constant is geweest door de tijd.
- De AEOLUS-groeifactor voor zakelijke en voor niet-zakelijke reizigers hangt onder meer af van de ontwikkeling van de gemiddelde ticketprijs, maar daar is geen goede historische databron voor.
- De AEOLUS-groeifactor voor zakelijke reizigers hangt af van de ontwikkeling van de handel, geaggregeerd over een groter gebied, maar de berekening is niet goed gedefinieerd. Moet er een weging plaatsvinden van de landen binnen dat gebied, en zo ja, hoe? En wat wordt precies meegeteld (niet elk handelsproduct zal in gelijke mate bijdragen aan het aantal zakelijke reizigers)?
- De AEOLUS-groeifactor voor niet-zakelijke reizigers hangt af van de ontwikkeling van de inkomens. Dit is vaak niet goed bekend. Als proxy kan wel het GDP per capita worden gebruikt (hetgeen in de scenario's ook gebeurt), maar dat is uiteraard niet exact hetzelfde. Bovendien is daarbij de vraag hoe met koersverschillen wordt omgegaan (voor de toekomst worden vaak min of meer gelijkblijvende koersen verondersteld). Met andere woorden, welke definitie van het GDP per capita moet worden gebruikt is niet duidelijk.

Desalniettemin hebben we een poging gewaagd om enig inzicht te geven. We hebben hiervoor:

- Alleen naar de ontwikkeling van niet-zakelijke reizigers gekeken
- Alleen naar de ontwikkeling van het aantal buitenlandse passagiers op Schiphol gekeken
- Niet naar de ontwikkeling gekeken van het aantal buitenlandse passagiers uit de ons omringende landen (Duitsland, België, Frankrijk, Luxemburg). Dit komt omdat sommige van deze reizigers Schiphol gebruiken als vertrekluchthaven (bijvoorbeeld als je net over de grens woont en naar een ver weggelegen bestemming wilt vliegen), terwijl andere reizigers Schiphol gebruiken als aankomstluchthaven (en een luchthaven direct bij hen in de buurt gebruiken als vertrekluchthaven). De originating en destinating passagiersstromen zijn hierdoor iets lastiger uit elkaar te houden. Daarom worden ze uitgesloten van de analyse
- Alleen naar de ontwikkeling gekeken van het aantal buitenlandse passagiers vanuit de 50 landen met de grootste passagiersstromen.

Voor elk van deze landen is het aantal passagiers in 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2013 en 2017 bepaald en vervolgens is daar een groeicurve op gefit. Zo wordt een soort gemiddelde geobserveerde groeifactor per jaar bepaald. Deze hebben we vergeleken met de “modelmatige” groeifactor op basis van de AEOLUS-formule, waarbij we:

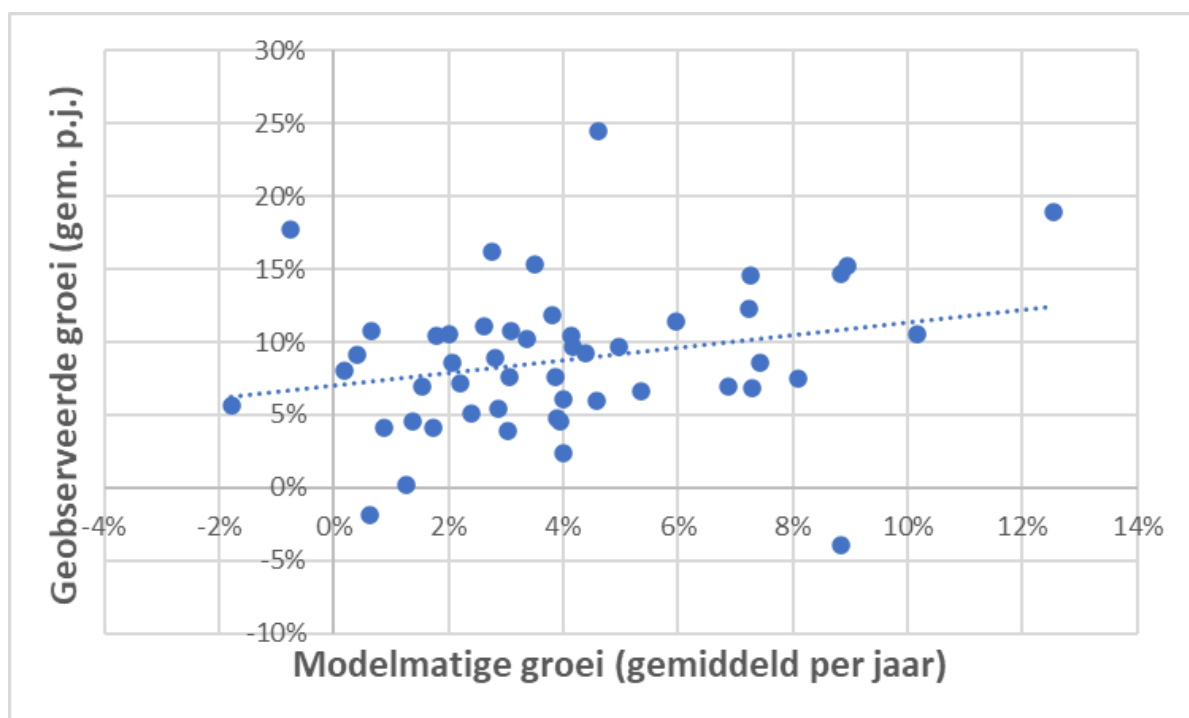
- de (gemiddelde) ontwikkeling van de bevolking per jaar hebben meegenomen (met elasticiteit -1)

- de (gemiddelde) ontwikkeling van het GDP per capita per jaar hebben meegenomen (in lokale munteenheid, dus zonder rekening te houden met koersontwikkelingen (met elasticiteit 1.15 (Europees) en 1.35 (buiten Europa))).

Dat betekent dat we geen groei op basis van verlaging van de ticketprijzen (of verhoging van de frequenties) hebben meegenomen. Of, anders gezegd, bij de interpretatie moet bedacht worden dat (een deel van) het verschil tussen de geobserveerde en modelmatige groei veroorzaakt kan worden door de ontwikkeling van de ticketprijzen.

In sommige gevallen valt een bepaald land in een veel grotere AEOLUS-zone (samen met andere landen). Dit hebben we genegeerd: we hebben de modelmatige groeifactor bepaald alsof het betreffende land een aparte AEOLUS-zone zou zijn geweest. De reden hiervoor is dat bij verbeterpunt C (§5) al geadviseerd wordt om het aantal AEOLUS-zones flink uit te breiden en daar zijn al voldoende argumenten voor. Deze analyse kijkt of er nog verdere aanpassingen nodig zijn, bovenop de aanpassing van het aantal zones.

De volgende figuur laat voor 50 landen zowel de modelmatige als de geobserveerde procentuele groei (gemiddeld per jaar) zien. De gestippelde lijn is een regressie door de punten. Geconcludeerd kan worden dat er wel een verband zit tussen de modelmatige en de geobserveerde groei, maar dat er wel veel spreiding om de punten zit. Zoals gezegd mocht dat ook verwacht worden, aangezien we niet alle factoren hebben meegenomen in de modelmatige groei (waarvan de ontwikkeling van de ticketprijzen de belangrijkste is), maar het lijkt onwaarschijnlijk dat die de volledige resterende groei zouden kunnen verklaren.



De vraag is nu: kan dit beter. Dat volgt niet uit dit onderzoek, maar uit de literatuur zijn er wel twee factoren bekend die zouden kunnen worden overwogen:

- Het aantal hotelbedden (en met name in Amsterdam) zou een verklarende factor kunnen zijn voor het aantal toeristen dat naar Nederland komt. Het is wel de vraag wat oorzaak en gevolg is (komen er meer hotelbedden om de groei van het aantal bezoekers te kunnen accommoderen? Of komen er meer bezoekers omdat het aantal hotelbedden is toegenomen en de eigenaren met prijsbeleid ervoor willen zorgen dat die ook gevuld zullen worden). Ongetwijfeld is het een samenspel van beide effecten. Er kan daarom overwogen worden om te kijken naar de groei van het aantal hotelbedden

dat groter is dan de groei die nodig is om de toename van het aantal reizigers door bevolking en inkomen te kunnen accommoderen (om dubbeltelling te voorkomen).

- Een geavanceerdere kijk op de bevolking- en inkomensontwikkeling: niet zozeer kijken naar de ontwikkeling van het (gemiddeld) inkomen maar vooral naar de inkomensverdeling. Daarbij kijken naar de toename van het aantal mensen dat boven een bepaalde inkomensdrempel zit die als ondergrens geldt om te kunnen vliegen. Daarboven zou een niet lineaire elasticiteit moeten worden gebruikt.

12.4 Voorgestelde verandering

Het lijkt zeker nodig om dit aan te passen. Hiervoor is het nodig om een kort literatuuroverzicht te maken om te bepalen welke factoren als verklarende factoren meegenomen zouden kunnen worden. Vervolgens ligt het voor de hand om een schatting te doen op historische data.

12.5 Plan van aanpak

De volgende stappen moeten worden doorlopen:

3. Kort literatuuroverzicht (of bespreking met experts)
4. Schatting van elasticiteiten op historische data (met alle beperkingen die er gelden, maar waarschijnlijk is dit beter dan alleen literatuurwaarden of expert opinion te gebruiken: dit kan nog wel als fall-back optie worden gebruikt)
5. Als er andere verklarende factoren worden gebruikt, dan moeten daar ook scenario-aannames voor gedaan worden
6. Inbouwen in AEOLUS
7. Testen
8. Aanpassen documentatie

13. Verbeterpunt K - Modelling emissies

13.1 Huidige situatie

In de vliegbewegingenmodule wordt per relatie het aantal vliegbewegingen bepaald aan de hand van het aantal passagiers en de hoeveelheden vracht zoals berekend in respectievelijk de passagiers- en vrachtmodule. Hierbij wordt bovendien rekening gehouden met de geldende capaciteitsrestricties. In de vlootmodule wordt vervolgens de verdeling van deze vluchten over vliegtuigtypen gemodelleerd. De uitvoer van de vliegbewegingen- en vlootmodule dient als invoer voor de milieueffectenmodule. In deze module wordt de uitstoot van emissies tijdens de vluchtfase en tijdens landing-and-take-off (LTO) berekend. Voor Schiphol worden daarnaast ook de hoeveelheid geluid en het aantal woningen binnen de 58dB(Lden) grens berekend. Op basis van de wetenschappelijke review richten we ons binnen dit verbeterpunt hoofdzakelijk op het modelleren van emissies tijdens de vluchtfase. Hierin speelt de samenstelling van de vloot een belangrijke rol. In de volgende paragraaf wordt daarom eerst de vlootmodule kort toegelicht. Hierna komt het berekenen van emissies tijdens de vluchtfase in de milieueffectenmodule aan bod. Tenslotte wordt kort beschreven hoe (Europees) klimaatbeleid momenteel kan worden meegenomen in AEOLUS.

Vlootmodellering

In totaal onderscheidt AEOLUS 63 vliegtuigtypen. De gehanteerde indeling is gebaseerd op 9 grootteklassen en 7 technologieklassen. Grootteklassen zijn gebaseerd op gewicht, terwijl de indeling naar technologieklassen op basis van geluidsbelasting is gemaakt. De verdeling van het aantal vluchten over grootte- en technologieklassen per luchthaven, alliantie en bestemming (op het niveau van wereldregio's) is voor het basisjaar gebaseerd op de daadwerkelijk geobserveerde verdeling. Dit is modelinvoer. De samenstelling van de vloot in toekomstjaren wordt gemodelleerd in de vlootmodule. Deze module past jaarlijks de samenstelling van de vloot aan door middel van de volgende drie stappen:

- **Uitfasering oude vliegtuigen** – De doorrekening van een modeljaar start met het uitfaseren van een deel van de vloot. Dit gebeurt op het niveau van herkomst-bestemmingsrelaties. De kans dat een vliegtuig in een bepaald jaar uit de vloot wordt verwijderd is gebaseerd op de leeftijd en technologieklasse van het toestel en van de alliantie waar de luchtvaartmaatschappij deel van uit maakt. Daarnaast wordt in de vervangingskansen onderscheid gemaakt tussen passagiers- en vrachtvliegtuigen. Oudere en minder schone vliegtuigen hebben de grootste kans om vervangen te worden.
- **Benodigde omvang van de vloot** – Uit de vliegbewegingenmodule volgt het benodigde aantal vliegbewegingen (en daarmee het aantal vliegtuigen) per herkomst-bestemmingsrelatie. Dit aantal wordt afgezet tegen de bestaande vloot (na de uitfasering van oude vliegtuigen in de voorgaande stap). Op relaties waar uitbreiding nodig is moeten nieuwe vliegtuigen aan de vloot worden toegevoegd. In het omgekeerde geval worden juist extra vliegtuigen uit de vloot verwijderd.
- **Verdeling naar vliegtuigtypen** – Indien nieuwe vliegtuigen aan de vloot worden toegevoegd, dan wordt in de vlootmodule bepaald wat de verdeling van deze nieuwe vliegtuigen over de grootte- en technologieklassen is. Door expliciet rekening te houden met de uitbreidingsvraag, waarvoor alleen relatief nieuwe types in aanmerking komen, is zo een mechanisme ingebouwd dat in scenario's met een snellere vraagontwikkeling leidt tot een sterkere verschuiving naar hogere technologieklassen. Dit wordt hieronder verder toegelicht.

In de vlootmodule wordt de verdeling over grootteklassen op een herkomst-bestemmingsrelatie constant verondersteld. Dit wil zeggen dat vliegtuigen naar rato van de bestaande grootteklasseverdeling aan de vloot worden toegevoegd (of hieruit verwijderd). De verdeling over technologieklassen verandert wel richting de toekomst.

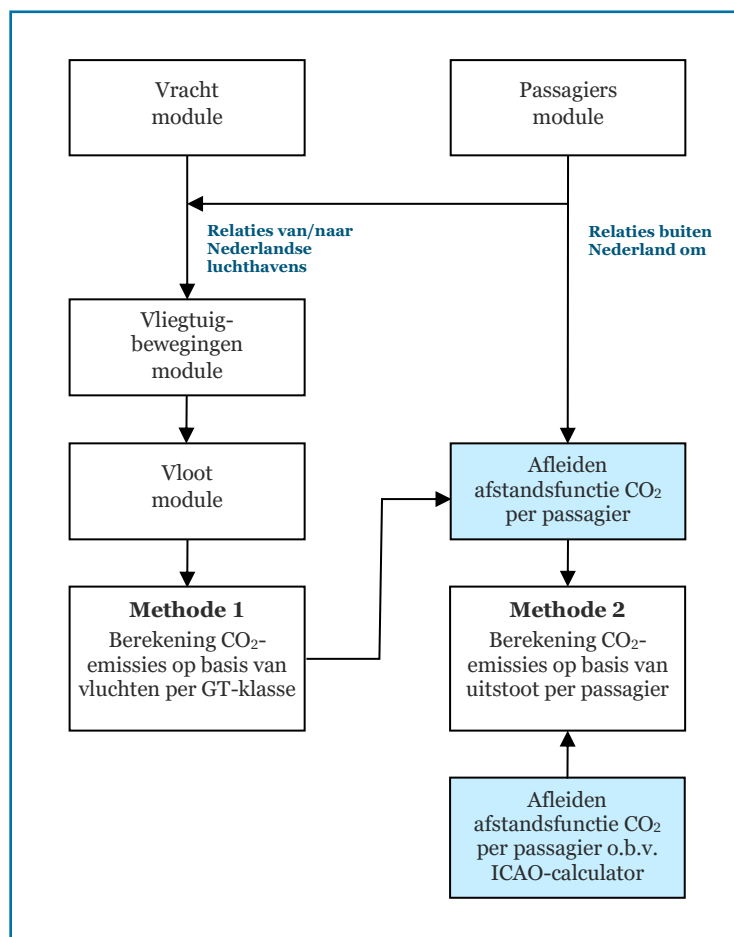
Van welke technologieklassen nieuwe vliegtuigen zijn is afhankelijk van de beschikbaarheid van de verschillende klassen op dat moment. Voor elke technologieklasse beschrijft de modelinvoer in welk jaar (1) de productie start, (2) de productie eindigt en (3) de technologieklasse niet meer operationeel is. Elke technologieklasse krijgt op basis hiervan een 'waardering' op grond waarvan de verdeling van nieuwe vliegtuigen over grootte- en technologieklassen wordt bepaald. Vanzelfsprekend komen uitgefaseerde klassen niet meer in aanmerking. Wel kunnen klassen in aanmerking komen waarvan de

productie weliswaar is beëindigd, maar het moment van volledige uitfasering nog niet is aangebroken. De kans hierop wordt echter steeds kleiner naarmate het moment van uitfasering dichterbij is. Vliegtuigtypen die op dat moment net in productie zijn en nog lange tijd zullen meegaan hebben de grootste kans om aan de vloot toegevoegd te worden.

Berekening emissies tijdens de vluchtfase

In de milieueffectenmodule worden (onder meer) de CO₂-emissies tijdens de vluchtfase berekend. Hiervoor worden twee methoden gebruikt:

- Methode 1** – Op routes van of naar Nederlandse luchthavens berekent AEOLUS het precieze aantal vluchten en de daarbij behorende verdeling over grootte- en technologieklassen. Er wordt gebruikt gemaakt van emissiekentallen om de CO₂-uitstoot per vlucht te berekenen. Deze door SEO afgeleide kentallen zijn grootte- en technologieklasse afhankelijk en geven de CO₂-emissie per minuut per vluchtfase (climb, cruise en decent). Per directe relatie zijn deze vliegtijden voor elk van de drie vluchtfasen modelinvoer. Door deze tijden met de kentallen te vermenigvuldigen wordt voor elke individuele vlucht de CO₂-uitstoot berekend. Sommatie over alle vluchten resulteert in de totale CO₂-emissie. Deze methodiek is weergegeven in de linkerzijde van Figuur 17.



Figuur 17 - Schematische weergave modellering CO₂ vluchtfase

- Methode 2** – Voor routes buiten Nederland om berekent AEOLUS (indien gemodelleerd¹⁵) alleen het aantal reizigers en niet het aantal vluchten. Als gevolg hiervan kan de hierboven beschreven methode hier niet worden toegepast. Omdat het wel wenselijk is uitspraken te doen over bijvoorbeeld weglekeffecten bij Nederlands CO₂-beleid, is voor routes buiten Nederland om een

¹⁵ AOLUS modelleert alleen herkomst-bestemmingsrelaties waarop het marktaandeel van Amsterdam boven een bepaalde grenswaarde ligt.

alternatieve methodiek ontwikkeld. Deze methode is weergegeven in de rechterzijde van Figuur 17 en bestaat uit de volgende drie stappen:

1. Op basis van de uitkomsten van methode 1 wordt voor relaties van en naar Nederland een lineair verband afgeleid tussen de gemiddelde CO₂-uitstoot per passagier en de totale vliegtijd. Deze afleiding gebeurt eenmalig buiten AEOLUS om voor de jaren 2017, 2030 en 2050. Voor tussenliggende jaren wordt geïnterpoleerd.
2. Het in stap 1 afgeleide verband wordt toegepast op relaties buiten Nederland om, om het totale emissieniveau te berekenen. De impliciete aanname die hierbij gemaakt wordt is dat de verdeling van vluchten over grootte- en technologieklassen in de rest van de wereld overeenkomt met die op verbindingen van en naar Nederlandse luchthavens.
3. Op basis van de ICAO-calculator is een alternatief verband afgeleid tussen de CO₂-uitstoot per passagier en de totale vliegtijd. Dit verband is niet lineair en de afstandafhankelijke component van dit verband wordt daarom betrouwbaarder geacht. Dit verband wordt gebruikt om de totale emissies zoals berekend in stap 1 te verdelen over de verschillende routes.

De blauw gemarkeerde stappen in Figuur 17 worden buiten AEOLUS om uitgevoerd. Boven op de verschuiving naar hogere technologieklassen wordt in de standaard gehanteerde WLO-scenario's uitgegaan van een additionele jaarlijkse efficiëntieverbetering. Niet CO₂-effecten zoals indirecte effecten van stikstof tijdens de vluchtfase en effecten op condensatiestrepen en cirrusvorming worden niet gemodelleerd binnen AEOLUS.

Modellering (Europees) klimaatbeleid

In een aantal recente projecten is AEOLUS gebruikt voor het doorrekenen van (Europees) klimaatbeleid zoals CO₂-beprijzing (EU-ETS en CORSIA), directe belastingen op kerosine (ETD), het verplicht bijmengen van duurzame brandstoffen (ReFuel EU en RED III) en het opleggen van een CO₂-plafond voor de Nederlandse luchtvaart. Dergelijk klimaatbeleid wordt als volgt meegenomen in AEOLUS:

- Hogere kosten voor vliegen – Klimaatbeleid brengt extra kosten met zich mee voor luchtvaartmaatschappijen die (in ieder geval) deels zullen worden doorberekend aan passagiers en vrachtvervoerders. Als gevolg van deze extra kosten zal de vraag dalen en daarmee ook het aantal benodigde vliegbewegingen. Voor passagiers kan dit meegenomen worden door de ticketprijzen in de luchtzijdige level-of-service handmatig aan te passen in een aparte voorbereidingsstap. Voor vracht is dit niet mogelijk, omdat hier niet expliciet met transportkosten wordt gerekend.
- Minder uitstoot duurzame brandstoffen – Voor duurzame brandstoffen (SAF) wordt per liter verbruikte brandstof meestal een lagere CO₂-uitstoot verondersteld. Per relatie tussen (1) Nederland, (2) de rest van Europa en (3) de rest van de wereld kunnen bijmengpercentages worden ingevoerd als scenarioinvoer in AEOLUS. Daarnaast kan aangegeven worden hoe de CO₂-emissie van duurzame brandstoffen zich verhoudt tot die van fossiele kerosine. Op basis hiervan worden de berekende CO₂-emissies (zowel tijdens landing-and-take-off als tijdens de vluchtfase) gecorrigeerd voor het bijmengen van SAF.
- Efficiëntieverbetering door prijsprikkels – De hogere kosten voor luchtvaartmaatschappijen ten gevolge van klimaatbeleid kunnen een prikkel zijn voor de industrie om sneller efficiëntieverbeteringen in het brandstofverbruik te realiseren. Om dit mee te nemen zijn met het AERO-MS model verbanden afgeleid tussen de hoogte van alle CO₂-gerelateerde kosten per liter brandstof (t.o.v. een referentiescenario) enerzijds en de verwachte additionele efficiëntieverbeteringen ten gevolge hiervan anderzijds. Hierbij is onderscheid gemaakt naar Low Cost Carriers, Full Service Carriers en vrachtvervoer en tussen Europese en intercontinentale vluchten. Omdat de totale CO₂-gerelateerde kosten als scenarioinvoer aan het model kunnen worden meegegeven, kan hiermee de additionele efficiëntieverbetering ten gevolge van prijsprikkels worden toegepast op de berekende emissies.
- Optimalisatie CO₂-plafonds – In principe is het mogelijk om het effect van een CO₂-plafond voor de Nederlandse luchtvaart met AEOLUS te kwantificeren. In een recente studie met AEOLUS zijn twee hoofdvarianten voor een dergelijk plafond doorgerekend:
 - De luchthavenvariant: in deze variant wordt de handhaving van het plafond gerealiseerd door het aantal uitgegeven slots per luchthaven te verlagen.

- De brandstofvariant: in deze variant wordt de handhaving van het plafond gerealiseerd door een extra CO₂-heffing op kerosine.

AEOLUS kan ingezet worden om het maximale aantal slots (luchthavenvariant) of de minimale extra CO₂-heffing op kerosine (brandstofvariant) te bepalen die nodig om onder het CO₂-plafond te blijven. Hiervoor is wel een iteratief proces nodig waarin AEOLUS meerdere keren gedraaid wordt. Daarbij wordt tussen de modelruns door steeds een nieuwe inschatting gemaakt van het aantal slots of de extra CO₂-heffing. Deze bijstelling gebeurt buiten AEOLUS om en wordt herhaald totdat de gemodelleerde CO₂-emissies samenvallen met het opgelegde CO₂-plafond.

13.2 Beperkingen van de huidige situatie

De huidige modellering van emissies binnen AEOLUS kent een aantal beperkingen. De belangrijkste punten waarop modelverbetering wenselijk is, zijn de modellering van CO₂-emissies tijdens de vluchtfase (met onderscheid naar relaties van/naar Nederland en buiten Nederland om), het kwantificeren van niet-CO₂-effecten en het meenemen van (Europees) klimaatbeleid. Hieronder worden de belangrijkste verbeterpunten van het model toegelicht.

Voor de berekening van CO₂-emissies tijdens de vluchtfase op relaties van en naar Nederland (methodiek 1) geldt:

- Indeling naar technologieklassen is gebaseerd op geluid - Voor de emissieberekeningen worden kentallen gebruikt die afhangen van de grootte- en technologieklassen. De indeling naar technologieklassen is gemaakt op basis van geluidsemissie. Het verschil tussen opeenvolgende technologieklassen is steeds 3dB. Zodra de geluidsproductie van nieuwe vliegtuigen 3dB omlaag gaat, komt een nieuwe klasse beschikbaar. De reductie in geluid valt echter niet altijd samen met reducties in CO₂-emissies. Als de emissiekenmerken van nieuwe vliegtuigen tussentijds veranderen dan kan dit momenteel niet accuraat worden meegenomen in AEOLUS. Pas bij het beschikbaar komen van een (op geluid gebaseerde) nieuwe technologieklasse worden ook andere emissiekentallen toegepast.
- Er wordt gerekend met gemiddelde vliegtijden – De gebruikte emissiekentallen geven de CO₂-uitstoot per minuut per vluchtfase (climb, cruise en decent). Deze vliegtijden zijn een (naar frequentie) gewogen gemiddelde van de vliegtijden naar alle luchthavens in een zone. Het rekenen met gemiddelde vliegtijden zorgt voor een afwijking in de berekeningen, omdat CO₂-emissies niet volledig lineair verlopen. In het basisjaar wordt wel het totale emissieniveau gekalibreerd, maar dit gebeurt niet op relatieniveau. Als de ontwikkeling van het aantal vluchten gaat verschillen tussen relaties zal dit leiden tot afwijkingen in de emissieberekeningen.
- De afstandafhankelijkheid van emissies is biased – Per vliegtuigtype is er een vliegafstand waarbij het brandstofverbruik (en daarmee de uitstoot van CO₂) per kilometer een minimale waarde heeft. Onder deze kritieke afstand wordt relatief veel energie verbruikt om het vliegtuig op hoogte en op snelheid te krijgen. Dit effect wordt in de huidige methodiek meegenomen door het gebruik van aparte kentallen voor de climb en decent fase van een vlucht. Boven de kritieke afstand wordt relatief meer energie verbruikt omdat de lange vliegafstand betekent dat er relatief veel extra brandstof moet worden meegenomen. Dit effect wordt niet meegenomen in AEOLUS. Als gevolg hiervan worden emissies op korte afstand overschat en op lange afstand onderschat.
- De toename van het aantal passagiers per vliegtuig heeft geen effect op berekende emissies per vlucht – Het gemiddelde aantal passagiers per vliegtuig blijft de komende jaren toenemen. Dit is niet alleen het gevolg van een verschuiving tussen grootteklassen, ook binnen grootteklassen worden meer reizigers vervoerd. Hierdoor neemt ook het vervoerde gewicht toe en daarmee het brandstofverbruik. In de huidige versie van AEOLUS wordt er geen rekening mee gehouden dat dit gepaard gaat met extra CO₂-emissie. De gehanteerde kentallen zijn wel grootteklasse-specifiek, maar hangen niet af van de ontwikkeling van het aantal passagiers per vliegtuig binnen een grootteklasse.

De methodiek voor het berekenen van CO₂-emissies op relaties buiten Nederland om (methodiek 2) is gedeeltelijk gebaseerd op methodiek 1 en kent daarom dezelfde beperkingen. Daarnaast geldt:

- De ICAO-calculator is ongeschikt voor modelberekeningen – Voor het berekenen van het totale emissieniveau wordt impliciet aangenomen dat de verdeling van vliegtuigen over grootte- en

technologieklassen in de rest van de wereld gelijk is aan die in Nederland. Dit wordt als valide beschouwd. Voor de afstandafhankelijkheid van emissies op vluchten buiten Nederland om wordt echter een verband gebruikt dat is afgeleid met behulp van de ICAO-calculator. Deze bron wordt door deskundigen niet als geschikt beschouwd voor modelberekeningen zoals in AEOLUS.

- De emissieberekeningen zijn scenario-onafhankelijk – Het verband tussen CO₂-emissies per passagier en de totale vliegtijd wordt slechts eenmalig afgeleid op basis van een referentiescenario. Nieuwe scenario's hebben hierdoor geen invloed op emissies in de rest van de wereld. Er zijn echter situaties denkbaar waar dit wel het geval is, bijvoorbeeld bij Europees klimaatbeleid. Ook is het denkbaar dat actief klimaatbeleid in Nederland of Europa er voor kan zorgen dat minder schone vliegtuigen juist vaker elders worden ingezet.
- De gebruikte methodiek is niet consistent met methodiek 1 – Doordat in methode 2 de afstandafhankelijkheid volgt uit de ICAO-calculator zijn beide methoden niet volledig gebaseerd op dezelfde brondata. Als methode 2 wordt toegepast op relaties van en naar Nederland levert dit andere emissies op dan met methode 1. Om daadwerkelijk goede uitspraken te kunnen doen over het wegleffect van emissies is het daarom wenselijk dat beide methoden consistent met elkaar zijn.

Een andere beperking is dat met AEOLUS op dit moment geen uitspraken gedaan kunnen worden over niet CO₂-effecten. Daarnaast vergt het doorrekenen van (Europees) klimaatbeleid in veel gevallen één of meerdere handmatige bewerkingen buiten AEOLUS om. Dit maakt het gebruik van AEOLUS aanzienlijk minder gebruiksvriendelijk en inzichtelijk. Ook kan het effect van klimaatbeleid op de kosten voor vrachtvervoer momenteel niet worden meegenomen.

13.3 Discussie

Op basis van de wetenschappelijke review en de gesprekken met deskundigen zijn verschillende mogelijkheden geïdentificeerd om de emissiemodellering te verbeteren. Deze verbeteringen hebben betrekking op de vlootmodellering, het modelleren van emissies tijdens de vluchtfase, het meenemen van niet CO₂-effecten en het meenemen van klimaatbeleid in AEOLUS. In deze sectie worden de belangrijkste opties besproken en tegen elkaar afgewogen.

- Samenhang vlootmodellering en emissieberekeningen. De uitkomsten van de milieueffectenmodule hangen in de huidige versie van AEOLUS sterk af van de gemodelleerde technologieklasseverdeling. Hier zijn een aantal nadelen aan verbonden. In de eerste plaats heeft de aanname over welke technologieklasse wanneer beschikbaar komt een grote invloed op gemodelleerde emissies. Deze aanname bevat echter een behoorlijke mate van onzekerheid. Ten tweede is de indeling naar technologieklasse gebaseerd op geluid. Pas bij een geluidsverbetering van 3dB wordt een nieuwe technologieklasse geïntroduceerd. Doordat de gebruikte emissiekentallen zijn opgehangen aan de op geluid gebaseerde technologieklassen wordt onterecht verondersteld dat het stiller en schoner worden van vliegtuigen parallel aan elkaar verloopt. In werkelijkheid verloopt het schoner worden van vliegtuigen naar verwachting meer geleidelijk. Er zijn een aantal mogelijk opties om hier mee om te gaan:
 - Emissiekaracteristieken koppelen aan echte vliegtuigtypen: Het daadwerkelijk aantal ingezette vliegtuigtypen op Amsterdam is ruim lager dan het huidige aantal gemodelleerde vliegtuigtypen (9 grootteklassen x 7 technologieklassen = 63 vliegtuigtypen). Er is daarom wat voor te zeggen om in AEOLUS te gaan werken met echte vliegtuigtypen. Dit maakt het mogelijk om de daadwerkelijke geluids- en emissiekaracteristieken van een toestel toe te passen in plaats van met gemiddelden over meerdere vliegtuigtypen te werken. Ook wordt de ontwikkeling van het stiller en schoner worden bij deze aanpak niet meer beperkt door een vooraf gekozen indeling naar technologieklassen. Echter, het beschikbaar komen van nieuwe vliegtuigtypen blijft scenarioinvoer. Zeker naar de toekomst toe zal het nog lastiger zijn om hiervoor betrouwbare scenarioinvoer op te stellen. Daarnaast moet de huidige vlootmodule worden aangepast en wordt deze complexer en sluit dit detailniveau minder goed aan bij de overige modules binnen AEOLUS.
 - Emissiekaracteristieken koppelen o.b.v. het EIS-jaar (entry-into-service) van vliegtuigen: Het lastigste onderdeel van de huidige vlootmodellering is de verdeling over de technologieklassen. De vraag of en wanneer een vliegtuig wordt vervangen is eenvoudiger te modelleren. Het is

daarom ook een optie emissiekaracteristieken niet te koppelen aan vliegtuigtypen (echte vliegtuigtypen of de op dit moment in AEOLUS onderscheiden vliegtuigtypen), maar aan het jaar waarop een vliegtuig onderdeel van de vloot wordt. Het lijkt immers plausibel om te veronderstellen dat nieuwe vliegtuigen steeds iets schoner worden ten opzichte van de reeds in de vloot aanwezige vliegtuigen. In dit geval is geen scenarioinvoer nodig voor het precies beschikbaar komen van nieuwe vliegtuigen, maar is een eenvoudigere aanname nodig voor de mate waarin nieuwe vliegtuigen jaarlijks schoner worden. In dit geval wordt hiervoor een meer geleidelijk pad verondersteld dat beter aansluit bij de onzekerheid over het precieze moment waarop bepaalde schonere technologieën beschikbaar komen.

- Loskoppelen emissiemodellering en vlootmodule: Tenslotte is het een mogelijkheid om de emissiemodellering volledig los te koppelen van de vlootmodellering binnen AEOLUS. Dat wil zeggen dat voor het berekenen van emissies geen gebruik wordt gemaakt van de gemodelleerde verdeling over bijvoorbeeld grootte- en technologieklassen of de leeftijdsverdeling binnen de vloot. In plaats daarvan wordt per relatie gerekend met een gemiddelde uitstoot per passagiers of vlucht in combinatie met een jaarlijkse efficiëntieverbetering. In dit geval heeft de onzekerheid van de technologieklasseverdeling geen invloed op emissieberekeningen. Nadeel van deze methode is dat bijvoorbeeld uitbreiding van de vloot met overwegend schone vliegtuigtypen niet meer endogeen doorwerkt op de emissiemodellering. Efficiëntieverbeteringen worden volledig exogeen en zullen daarom per scenario vooraf bepaald moeten worden.

Op basis van de hierboven genoemde argumenten lijkt de tweede optie (emissiekaracteristieken koppelen aan EIS-jaar) het meest aantrekkelijk. Door emissiekaracteristieken te koppelen aan het jaar waarin een vliegtuig in de vloot komt, worden efficiëntieverbeteringen nog steeds deels endogeen gemodelleerd. In scenario's met meer uitbreidingsruimte zal de vloot sneller schoner worden. Tegelijkertijd is de emissiemodellering bij deze optie niet meer afhankelijk van de indeling naar technologieklassen en de onzekere aannamen over wanneer deze technologieklassen beschikbaar komen. In plaats daarvan kan een gelijkmatigere ontwikkeling van de efficiëntieverbetering aangenomen worden. Als op korte termijn wel grote efficiëntiesprongen worden verwacht (door het beschikbaar komen van een specifiek type vliegtuig) kan dit alsnog meegenomen worden door voor het jaar waarin dit speelt een grotere efficiëntieverbetering te veronderstellen.

- **Emissiemodellering.** Welke opties er zijn om de CO₂-emissies tijdens de vluchtfase beter te modelleren hangt grotendeels af van de hierboven beschreven keuze. Grofweg zijn er, afhankelijk van deze keuze, twee interessante opties:
 - Emissiekaracteristieken per vliegtuigtypen/EIS-jaar gebruiken: Deze methode kan gecombineerd worden met de eerste twee opties zoals hierboven beschreven. Conform de huidige aanpak (emissiekentallen per grootte- en technologieklasse) worden emissiekaracteristieken per vliegtuigtypen bepaald. In dit geval gaat het dan om aparte karakteristieken per echt vliegtuigtype of per EIS-jaar. Deze emissiekaracteristieken worden vervolgens toegepast op de vloot zoals door AEOLUS gemodelleerd. Bij deze aanpak volgt de totale emissie op een bepaalde relatie uit de gemodelleerde vlootsamenstelling in combinatie met de gehanteerde emissiekaracteristieken. De gemodelleerde efficiëntieontwikkeling blijft hiermee deels endogeen (volgt nog steeds de vlootontwikkeling). Verdere overwegingen hierbij zijn:
 - In plaats van emissiekentallen per minuut per vluchtfase (climb, cruise en decent) kunnen ook zogenaamde emissiecurves gebruikt worden. Deze curves beschrijven de gemiddelde uitstoot per kilometer als functie van de totale vliegafstand. Door te werken met emissiecurves verbetert de afstandsafhankelijk van de gemodelleerde emissies.
 - In plaats van emissiekaracteristieken per vlucht te beschrijven, kan dit ook per passagier. Een emissiecurve geeft dan bijvoorbeeld de gemiddelde CO₂-uitstoot per kilometer per passagier. Voordeel hiervan is dat dan dezelfde methode ook kan worden toegepast op relaties buiten Nederland om (waarvoor het aantal vluchten niet berekend wordt in AEOLUS).
 - Gemiddelde emissies per relatie afleiden voor het basisjaar: Deze methode kan gecombineerd worden met de derde methode hierboven beschreven (loskoppelen emissiemodellering en

vlootmodule). In dit geval wordt voor elke herkomst-bestemmingsrelatie in het basisjaar afgeleid wat de gemiddelde uitstoot per vlucht of passagier is. Hiervoor wordt data op vluchtniveau gebruikt, waarbij het precieze vliegtuigtypen en de bestemmingsluchthaven bekend zijn. Deze op basis hiervan berekende gemiddelde uitstoot wordt vervolgens voor elk jaar toegepast op het aantal passagiers of vluchten. Nadeel van deze methode is dat de efficiëntieontwikkeling nu volledig exogeen wordt. Het sneller schoner worden van de vloot (door bijvoorbeeld meer uitbreidingsruimte) wordt niet meer in AEOLUS gemodelleerd maar wordt scenarioinvoer. Voordeel van deze methode is dat de emissies in het basisjaar veel nauwkeuriger worden gemodelleerd omdat expliciet rekening wordt gehouden met:

- Exacte herkomsten en bestemmingen. In plaats van te werken op het niveau van AEOLUS-zones wordt naar relaties op luchthavenniveau gekeken. De gebruikte reistijden en/of reisafstanden kunnen daardoor veel nauwkeuriger bepaald worden.
 - Daadwerkelijk per relatie ingezette vliegtuigtypen. De gemiddelde emissies per relatie zijn gebaseerd op alle uitgevoerde vluchten in het basisjaar en de vliegtuigtypen die daarbij zijn ingezet.
- Een derde optie is om beide opties te combineren. Dit kan door naar de toekomst toe emissiekentallen of emissiecurves te hanteren (optie 1: emissiekenmerken per vliegtuigtype/EIS-jaar), maar deze emissiekenmerken te kalibreren op daadwerkelijke emissies in het basisjaar (optie 2: gemiddelde emissies per relatie bepalen voor het basisjaar). Zowel emissiekentallen als emissiecurves gaan uit van vliegtijden of afstanden. Per relatie kan de maatgevende vliegtijd of -afstand zo gekalibreerd worden dat de berekende emissies voor het basisjaar per relatie goed overeenkomen. Momenteel wordt in AEOLUS alleen het totale emissieniveau van alle uit Nederland vertrekkende vluchten gekalibreerd.
- Niet CO₂-emissies. In opdracht van het ministerie van IenW ontwikkelt CE Delft momenteel een methodiek voor het kwantificeren van niet-CO₂ klimaat effecten. Hierbij gaat het ondermeer om de indirecte effecten van stikstof (NO_x) en het effect op condensatiestrepen en cirrusvorming. Hiervoor wordt een geautomatiseerde koppeling gemaakt tussen standaard AEOLUS uitvoertabellen en een reeds bestaande tool van DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt). De voor de berekeningen gebruikte invoer bestaat uit de grootte- en technologieklasseverdeling, routes en frequenties. Zowel de tool als de koppeling worden openbaar, in die zin dat deze vrij gebruikt mogen worden. Het intellectuele eigendom van de tool en het recht deze te wijzigen blijft bij DLR. De planning is dat CE Delft deze methodiek in februari 2023 afgerond zal hebben.

Gegeven de reeds voorziene koppeling met AEOLUS ligt het niet voor de hand om deze berekeningen in het model zelf op te nemen. Hierbij komt dat meerdere deskundigen aangaven dat het detailniveau van AEOLUS eigenlijk niet geschikt is om niet CO₂-effecten te berekenen. Deze effecten hangen namelijk nauw samen met onder andere vliegroutes, vlieghoogten en snelheden. Dit zijn operationele aspecten die niet binnen een strategisch (midden)lange termijn model zoals AEOLUS passen.

- Europees klimaatbeleid. In het recente project naar een CO₂-plafond voor de Nederlandse luchtvaart zijn op dit punt al grote stappen gemaakt waarbij kan worden aangesloten. Enkele aanvullingen die hierbij nog wel nodig zijn worden in de volgende sectie benoemd.

13.4 Voorgestelde verandering

Wij stellen de volgende veranderingen aan AEOLUS voor:

- Werken met emissiecurves (gemiddelde CO₂-uitstoot per kilometer afgezet tegen de totale vliegafstand) in plaats van met de huidige emissiekentallen. Door deze verandering verbetert de afstandsafhankelijkheid van de emissiemodellering. Deze emissiecurves worden per grootteklasse afgeleid op basis van de beschikbare (nieuwe) vliegtuigtypen in het basisjaar. Een verschuiving naar bijvoorbeeld grotere vliegtuigen werkt op deze manier door in de emissiemodellering. Daarnaast wordt jaarlijks een correctiefactor toegevoegd om rekening te houden met de groei van het gemiddelde aantal passagiers in vliegtuigen binnen een grootteklasse. De link met gemodelleerde technologieklassen wordt losgelaten.

- De afgeleide emissiecurves worden per relatie toegepast op het aantal vluchten per grootteklasse. Hierbij wordt rekening gehouden met het EIS-jaar van vliegtuigen. Dit is het jaar waarop vliegtuigen aan de vloot zijn toegevoegd. Vliegtuigen die voor het basisjaar aan de vloot zijn toegevoegd worden verondersteld minder schoon te zijn; vliegtuigen die in latere jaren worden toegevoegd zijn juist schoner. De hiervoor gebruikte correctiefactoren zijn scenarioinvoer.
- Voor het basisjaar worden maatgevende vliegafstanden gekalibreerd. Hiervoor wordt per relatie eerst de totale CO₂-emissie bepaald op basis van daadwerkelijke vluchtgegevens. Vervolgens worden de (voor het toepassen van de emissiecurves gebruikte) vliegafstanden zodanig afgesteld dat het gemodelleerde CO₂-niveau overeenkomt.
- Voor relaties buiten Nederland om wordt een aanname gemaakt over de verdeling naar grootteklasse en de leeftijdssamenstelling van de vloot. Het uitgangspunt is om deze verdelingen gelijk te veronderstellen aan de verdelingen op relaties van en naar Nederland. Hierbij wordt dan wel onderscheid gemaakt naar continentale en intercontinentale vluchten. Het zal echter ook mogelijk zijn om door middel van scenarioaannamen alternatieve scenario's door te rekenen voor de vlootontwikkeling in de rest van de wereld.
- Voor niet CO₂-effecten wordt aangesloten bij de door CE Delft ontwikkelde methodiek. Het inzichtelijk maken van deze effecten wordt dus geen integraal onderdeel van AEOLUS, maar uitvoer van het model kan hier wel voor worden gebruikt.
- Voor het doorrekenen van klimaatbeleid wordt aangesloten bij de aanpassingen die reeds gemaakt zijn in het recente CO₂-plafond project. Hieraan worden de volgende elementen toegevoegd:
 - Bij verbeterpunt B (aanpasbaarheid van het vliegnetwerk, zie §4) wordt ook meegenomen dat klimaatkosten eenvoudig in de ticketprijzen kunnen worden verwerkt.
 - De impact van klimaatkosten op vracht wordt aan het model toegevoegd. Dit kan op dezelfde manier als waarop bijvoorbeeld vrachtheffingen doorwerken.

Idealiter wordt ook het doorrekenen van CO₂-plafond binnen AEOLUS geautomatiseerd. Het is echter onzeker of dit binnen AEOLUS mogelijk is. We raden daarom aan dit pas te doen zodra wordt overgestapt naar een andere softwareomgeving.

Tabel 4 laat zien hoe deze veranderingen ingrijpen op de in §13.2 beschreven beperkingen van de huidige AEOLUS-versie.

Figuur 18 toont hoe de modellering van emissies in de vluchtfase er na doorvoering van de hierboven voorgestelde aanpassingen uit zal zien.

Tabel 4 - Impact van de voorgestelde aanpak op de huidige beperkingen van AEOLUS

| Huidige beperking | Oplossing in de voorgestelde aanpak |
|--|--|
| Berekening CO₂-emissies tijdens de vluchtfase (van/naar Nederland) | |
| De indeling naar technologieklasse is gebaseerd op geluid | Emissiekenmerken worden gekoppeld aan EIS-jaren in plaats van aan de in AEOLUS gemodelleerde technologieklassen. |
| Er wordt gerekend met gemiddelde vliegtijden | Voor het basisjaar wordt de totale CO ₂ -uitstoot tijdens de vluchtfase op herkomst-bestemmingsniveau gekalibreerd door per relatie de maatgevende vliegafstand te bepalen op basis van waargenomen vluchten (inclusief vliegtuigtypen en exacte bestemmingen). |
| De afstandafhankelijkheid van de berekende emissies is biased | In plaats van de huidige emissiecentra voor de drie vluchtfasen (climb, cruise en decent) wordt met emissiecurves gewerkt. Deze curves geven de gemiddelde uitstoot per kilometer afgezet tegen de totale vliegafstand. |
| De toename van het aantal passagiers per vliegtuig heeft geen effect op berekende emissies | De gebruikte emissiecurves beschrijven per grootteklasse de emissie per passagier. Jaarlijks wordt hierop een kleine correctie toegepast om rekening te houden met de ontwikkeling van het aantal passagiers per vliegtuig binnen een grootteklasse. |
| Berekening CO₂-emissies tijdens de vluchtfase (buiten Nederland om) | |
| De ICAO-calculator is ongeschikt voor modelberekeningen | Er wordt geen gebruik meer gemaakt van de ICAO-calculator. In plaats daarvan wordt op alle relaties gebruikt gemaakt van dezelfde emissiecurves. |
| Berekende emissies buiten Nederland om zijn scenario-onafhankelijk | Er wordt een koppeling gemaakt tussen de vlootontwikkeling in Nederland en de rest van de wereld. Ontwikkelingen lopen hierdoor in principe parallel, maar het is ook mogelijk aparte scenario's voor de rest van de wereld te veronderstellen. |
| De twee gebruikte methoden zijn onderling niet consistent | Op alle relaties worden emissiecurves toegepast op het aantal reizigers per grootteklasse. Op relaties van/naar Nederland wordt de verdeling over grootteklassen gemodelleerd. Op overige relaties wordt deze verdeling overgenomen. |

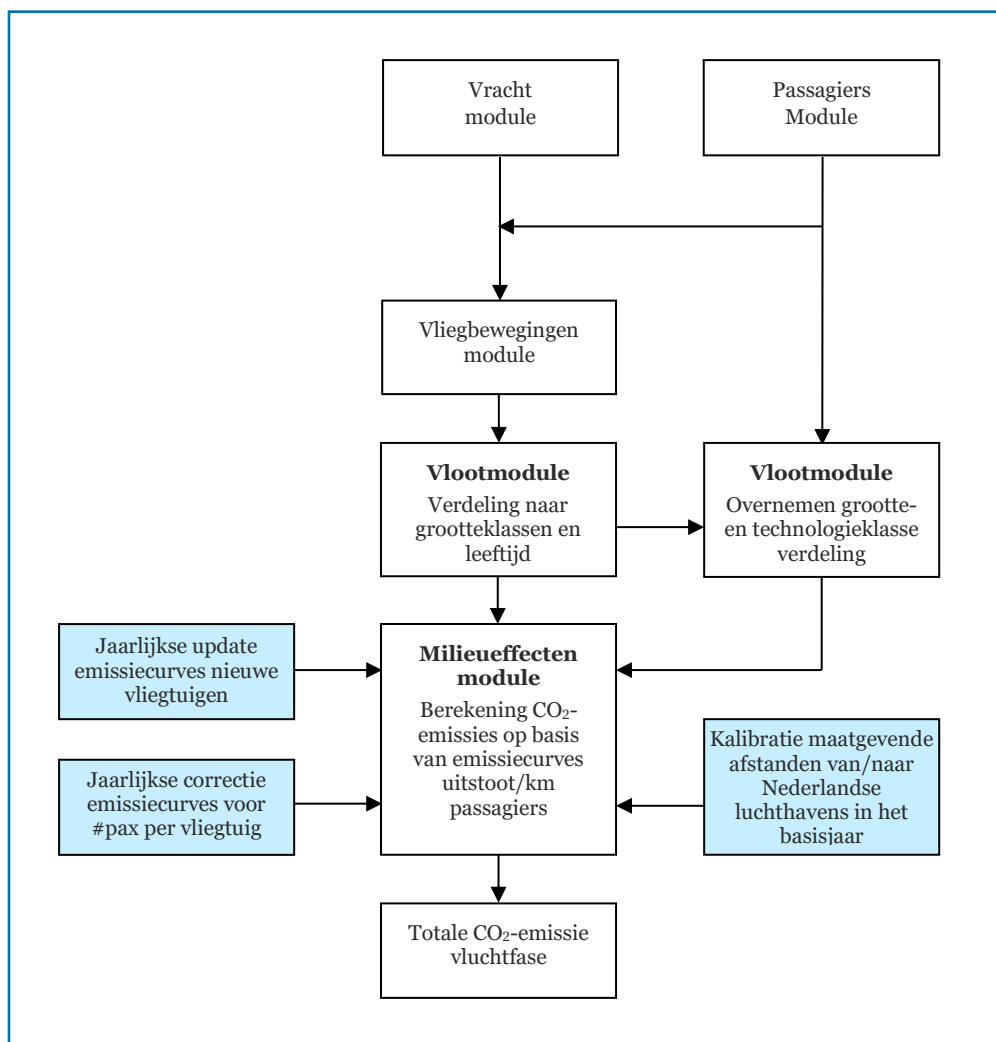
13.5 Plan van aanpak

De volgende stappen moeten worden doorlopen:

1. Afleiden emissiecurves voor de in het basisjaar beschikbare vliegtuigtypen. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van data uit de BADA-database van Eurocontrol. Deze database is ook gebruikt voor het afleiden van de huidige emissiecentra.
2. Omzetten opgestelde emissiecurves van uitstoot per kilometer per vlucht naar uitstoot per kilometer per passagier. Daarnaast wordt bepaald welk effect een toename van het gemiddelde aantal passagiers per vliegtuig (per grootteklasse) heeft op de uitstoot van CO₂.
3. Inschatting van de jaarlijkse efficiëntieverbetering van vliegtuigen die nieuw op de markt komen. Dit is in twee richtingen nodig: (1) terug in de tijd om emissies van eerder aan de vloot toegevoegde vliegtuigen te kunnen berekenen en (2) vooruit om de emissies van later toegevoegde vliegtuigen te kunnen berekenen.
4. Emissies op relatieniveau kalibreren door het bepalen van de maatgevende afstand. In de meeste zones zijn meerdere luchthavens. Er wordt nu met een gemiddelde afstand (of tijd) gewerkt. Het gebruik van een gemiddelde afstand levert echter niet per se de gemiddelde emissie op. Er wordt daarom een 'maatgevende' afstand bepaald waarbij de gemodelleerde emissies voor het basisjaar precies overeenkomen met emissies zoals berekend op basis van de daadwerkelijk uitgevoerde vluchten. Hiervoor is data op vluchtniveau nodig. Denkbare bronnen hiervoor zijn de Schiphol Statistiek en Flight Radar data.
5. Implementatie van de voorgestelde aanpassingen in AEOLUS. Idealiter wordt hierbij ook het doorrekenen van CO₂-plafonds geautomatiseerd. Het is echter onzeker of dit ook kan binnen

GAMS. We adviseren daarom om dit pas door te voeren wanneer wordt overgestapt naar een andere softwareomgeving.

6. Testen en valideren van de aangepaste versie van AEOLUS
7. Documentatie



Figuur 18 - Schematische weergave voorgestelde modellering CO₂ vluchtfase

14. Verbeterpunt L - verbeteringen ten behoeve van MKBA's

14.1 Inleiding

Dit verbeterpunt was geen onderdeel van de verleende opdracht, maar in de gesprekken met MKBA-experts van Decisio en CE Delft is gebleken dat er vanuit die groep gebruikers enkele wensen zijn voor de verbetering van AEOLUS. Veel van deze wensen vallen samen met de al genoemde verbeterpunten in dit document, zoals:

- Bepalen effecten niet-meer-rechtstreeks-bereikbaar-zijn van bepaalde bestemmingen (verbeterpunt B)
- Verfijning van de zonering (verbeterpunt C)
- Verbeteren meenemen HSL (verbeterpunt D)
- Verbetering vrachtmodellering (verbeterpunt E), met name onderscheid aanbrengen welk deel van de vracht bestemd is voor de Nederlandse markt, en een onderscheid aanbrengen in type product.
- Uitsplitsen motief niet-zakelijk (verbeterpunt I)
- Verbetering modellering emissies (verbeterpunt K)

Maar er zijn uit de gesprekken nog twee wensen naar voren gekomen die niet onder de bestaande verbeterpunten vallen:

- Zeer gedetailleerde output:
 - aantal passagiers voor elke OD-relatie, uitgesplitst naar
 - vervoerwijze (vliegen direct, vliegen indirect, auto, trein, richting)
 - alliantie (waar van toepassing)
 - per vervoerwijzestroom:
 - ticketprijs (incl. opsplitsing in componenten, kaal, belasting, CO₂-heffing, schaarstekosten)
 - reistijd.
- Opstellen van een bijsluiter voor MKBA-doeleinden. Het is belangrijk dat andere onderzoekers goed weten wat er nu precies wel/niet wordt meegenomen in de opgeleverde getallen. In het bijzonder:
 - toelichting op variabelen
 - welke (substitutie)effecten worden wel en niet meegenomen?
 - welke percentage per herkomstzone is Nederlander (zodat ze met fracties kunnen rekenen)?
 - welk percentage van Skyteam is KLM?
 - welk percentage van LowCost is Transavia?

14.2 Voorgestelde verandering

De gevraagde output is allemaal al in AEOLUS aanwezig, dus om dit mogelijk te maken is alleen een wijziging aan de outputmodule nodig. Dit is niet complex. Ook het opstellen van een bijsluiter is goed te doen.

14.3 Plan van aanpak

- Vaststellen welke informatie precies gewenst is
- Implementeren van extra output mogelijkheid
- Testen en documenteren
- Vaststellen welke informatie in de bijsluiter moet komen
- Opstellen concept bijsluiter
- Commentaar-ronde door stakeholders
- Opstellen definitieve bijsluiter

15. Indicatie benodigde inspanning

In de vorige hoofdstukken staat steeds per verbeterpunt en per oplossingsrichting een plan-van-aanpak. In dit hoofdstuk geven we een indicatie van de omvang van de werkzaamheden. Dit doen we door een classificatie in vier soorten aanpassingen: klein, middelklein, middelgroot en groot. De classificatie per verbeterpunt is als volgt:

| Verbeterpunt | classificatie omvang | Samenhang met andere verbeterpunten | Software-vereisten |
|---|--|---|--|
| A1 – cap.bep. region. Luchthavens | - | | |
| A2 – cap.bep. buitenl. luchthavens | Middelklein (indien oplossing 2) Klein (indien oplossing 3) | Er moet voor een van beide oplossingen worden gekozen | Kan in huidige GAMS-versie |
| B – aanpasbaarheid vliegnetwerk | Klein (verbetering 1 en 2) Middelklein (verbetering 3) | Verbetering 3 kan alleen als ook verbetering 1 wordt gedaan. Dit budget komt dan bovenop het budget van verbetering 1 en 2 | Advies om verbetering 1 en 3 in een apart script (i.e. buiten GAMS) te implementeren |
| C – zonering | Klein | Mits in samenhang gedaan met een actualisatie. Als losse activiteit (bij huidige basisjaar) is de classificatie middelgroot, maar we raden het af om dit los te doen. | Onduidelijk of dit binnen GAMS kan. |
| D – reiskosten andere modaliteiten | Klein | Mits in samenhang gedaan met een actualisatie. | Kan in huidige GAMS-versie |
| E – vracht | Groot | Mits in samenhang gedaan met een actualisatie. | Onduidelijk of dit binnen GAMS kan. |
| F – invloed schaarste op gedrag airlines | Middelgroot | | Kan in huidige GAMS-versie |
| G – invloed schaarste op vraag | Middelklein | Uitgaande van het mogen gebruiken van reeds opgedane kennis over strategisch gedrag airlines uit andere projecten. | Kan in huidige GAMS-versie |
| H – autonome groei regionale luchthavens | Klein | Mits in samenhang gedaan met een actualisatie omdat het model opnieuw gekalibreerd moet worden. | Kan in huidige GAMS-versie |
| I – uitsplitsing motief niet-zakelijk | Klein | Mits in samenhang gedaan met een actualisatie. | Onduidelijk of dit binnen GAMS kan. |
| J – schatting vraag buitenl. reizigers | Klein | | Kan in huidige GAMS-versie |
| K – emissies | Middelgroot | Hier zijn ook andere partijen bij betrokken. | Endogene bepaling CO ₂ -plafond kan niet binnen GAMS. |
| L – overig | Klein | | Kan in huidige GAMS-versie |

significance

quantitative research

Grote Marktstraat 47
2511 BH Den Haag
Nederland

info@significance.nl
+31 70 312 1530