



RWS INFORMATIE

Review Luchtvaartmodel AEOLUS

Datum	20 februari 2023
Versie	
Status	DEFINITIEF

Colofon

Uitgegeven door RWS
Auteur Frank Hofman
Informatie
Telefoon
Mobiel 0652306337
E-mail frank.hofman@rws.nl

Datum 20 februari 2023
Versie
Status DEFINITIEF

Versiebeheer

Inhoudsopgave

Inleiding.....	5
Bijdrage Prof. Dr. Eddy van de Voorde, Emeritus Professor.....	6
<u>1. Omschrijving van de opdracht tot review</u>	7
<u>2. De gevolgde werkwijze</u>	7
<u>3. Opmerkingen en/of suggesties over het globale model AEOLUS</u>	8
<u>4. Formulering advies</u>	17
Bijdrage Prof. Dr. Ing. Paul Peeters, Professor sustainable tourism transport , Breda University of Applied Sciences.....	23
<u>1 Inleiding</u>	25
<u>2 Algemene observaties</u>	26
<u>3 Is AEOLUS fit for purpose?</u>	35
<u>4 Aanbevolen verbeteringen</u>	38
<u>Literatuur</u>	40
Bijdrage Prof. Dr. Ben Derudder, Research Professor in City Science, Public Governance Institute, KU Leuven.....	42
<u>Context</u>	43
<u>Is AEOLUS geschikt voor de vooropgestelde gebruiksdoelen – is het 'fit for purpose'? Wat zijn eventuele aandachtspunten?</u>	44
<u>Welke opties zijn er voor verdere verbetering van het model?</u>	46
<u>Zijn er andere toepassingen van AEOLUS die nu al mogelijk zijn of dat worden na (haalbare) doorontwikkeling?</u>	48
<u>Overige opmerkingen en suggesties</u>	48
Bijdrage Dr. Eric Pels, Associate Professor School of Business and Economics, Vrije Universiteit Amsterdam.....	49
<u>Inleiding</u>	50
<u>Aannames en restricties</u>	50
<u>Modelopzet</u>	50
<u>Passagiersmodule</u>	52
<u>Vrachtmodule</u>	55
<u>Vliegtuigbewegingenmodule</u>	56
<u>Milieueffectenmodule</u>	57
<u>Beleidsmaatregelen</u>	57
<u>Modeloutput</u>	58
<u>Conclusie</u>	58

Inleiding

Het luchtvaartprognosemodel AEOLUS wordt gebruikt om per scenario (hoge/lage economische groei, met/zonder capaciteitsrestricties) prognoses voor de lange termijn op te stellen voor het aantal vliegtuigbewegingen, het aantal passagiers en de hoeveelheid vracht voor Nederlandse luchthavens.

AEOLUS wordt bijvoorbeeld toegepast voor scenariostudies van de planbureaus (De Welvaart en Leefomgeving Scenario's – WLO), verkenningen zoals de Klimaat en Energie Verkenning, voor het ramen van de effecten van verschillende beleidsmaatregelen zoals op het gebied van klimaatbeleid, voor het uitvoeren van kosten-baten analyses en ook om invoer te leveren voor de modellen voor landzijdige mobiliteit.

Sinds enige tijd beheert RWS in opdracht van de Directie Luchtvaart van het Ministerie van IenW het luchtvaartmodel AEOLUS.

Bij dat beheer hoort een aantal activiteiten:

- Zorgen dat er altijd een goed gedocumenteerde versie van AEOLUS beschikbaar is met voldoende kwaliteit
- Zorgen voor kwaliteitsborging van AEOLUS
- Organiseren van versiebeheer van de software
- Het model ter beschikking stellen voor studies in overleg met de Directie Luchtvaart
- Periodiek zorgen voor actuele referentieprognoses met als uitgangspunt vastgesteld beleid
- Op basis van de informatiebehoefte van de Directie Luchtvaart en wensen van stakeholders verder ontwikkelen van AEOLUS – gemiddeld genomen eens per vier jaar een actualisatie en grotere vernieuwing.

In het kader van de kwaliteitsborging is een aantal wetenschappers benaderd om ze te vragen het model te beoordelen voor wat betreft de bruikbaarheid van het model voor het leveren van informatie ten behoeve van besluitvorming ("fit for purpose") en een advies te geven over mogelijke verdere verbeteringen van het model.

In dit document staan de bijdragen aan deze review van:

Prof. Dr. Eddy van de Voorde, Emeritus Professor Universiteit Antwerpen, Departement Transport en Ruimtelijke Economie

Prof. Dr. Ing. Paul Peeters, Professor sustainable tourism transport at the Centre for Sustainability, Tourism & Transport (CSTT), Breda University of Applied Sciences

Prof. Dr. Ben Derudder, Research Professor in City Science, Public Governance Institute, KU Leuven

Dr. Eric Pels, Associate Professor School of Business and Economics, Vrije Universiteit Amsterdam

- 1 Bijdrage Prof. Dr. Eddy van de Voorde, Emeritus Professor
Universiteit Antwerpen, Departement Transport en Ruimtelijke
Economie

Review van het luchtvaartmodel AEOLUS

Prof. dr. Eddy Van de Voorde

Universiteit Antwerpen, Departement Transport en Ruimtelijke Economie (TPR)

1. Omschrijving van de opdracht tot review

Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving beheert in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat het luchtvaartmodel AEOLUS, een prognosemodel voor de omvang van de luchtvaart in Nederland. AEOLUS is een globaal (lees: op wereldschaal) en strategisch simulatiemodel, waarmee voor bepaalde toekomstscenario's (tot 2050) het aantal luchtreizigers, de hoeveelheid vracht, het aantal vliegbewegingen, afhankelijk van de jaarcapaciteit, de baancapaciteit en de geluidscapaciteit kunnen worden berekend. Daarmee heeft het model een ander doel, een andere functie en een verschillend karakter dan de rekenmodellen die worden gebruikt in bijvoorbeeld een milieueffectrapport voor een specifieke luchthaven.

AEOLUS draait op een aantal modules, zoals een verkeersmodel, een vervoermodel en een milieumodel. Naast de eerder vermelde output, geeft het model ook informatie over de CO₂-emissies en de emissies van NO_x. Modelinput houdt onder meer rekening met de demografische en economische ontwikkeling, de bereikbaarheid van de luchthavens aan landzijde, het luchtvaartnetwerk, de vliegtuigvloot en de kosten van verplaatsingen, zowel van het vliegtuig als van de concurrerende modi.

In het recente verleden is AEOLUS ingezet voor heel wat toepassingsgerichte studies, onder meer met betrekking tot het doorrekenen van scenario's van de planbureaus (De Welvaart en Leefomgeving Scenario's – WLO) en verkenningen zoals de Klimaat en Energie Verkenning. Daarna werden ook de te verwachten effecten doorgerekend van beleidsmaatregelen, zoals de heffingen op vliegverkeer en op de netwerkqualiteit, de kerosine-taks, de vliegbelasting, de transferheffing. Andere doorrekeningen gingen over de capaciteitslimieten door het aantal woningen binnen de geluidscontouren, het luchthavenbeleid, de ontwikkeling van de regionale luchthavens, een maatschappelijke Kosten Baten Analyse van het openstellen van Lelystad, de effecten van het klimaat op de luchtvaart.

Het is de bedoeling een aantal niet-betrokken wetenschappers te laten kijken naar de werking van het model en de veronderstellingen die gebruikt werden bij de bouw en de updates van het model. Het gaat daarbij ook om advies met betrekking tot de bruikbaarheid van het model voor het leveren van informatie ten behoeve van besluitvorming, naast advies voor mogelijke verdere verbeteringen van het model. Concreet zal een antwoord en/of advies geformuleerd worden op volgende vragen:

- 1) Is AEOLUS in zijn huidige vorm geschikt voor gebruiksdoelen zoals omschreven door de tot dusver uitgevoerde toepassingsgerichte studies, i.e. is het model 'fit for purpose'?
- 2) Welke opties voor verdere verbetering van het model kunnen worden geformuleerd?
- 3) Dienen zich belangrijke andere toepassingsmogelijkheden aan voor AEOLUS, al dan niet na een haalbare doorontwikkeling?

2. De gevolgde werkwijze

De binnen de review gevoerde werkwijze is dubbel, met name een combinatie van deskresearch op basis van door de opdrachtgever bezorgde documenten, gekoppeld aan een hearing met de modelbouwers.

De bestudeerde documenten betreffen:

- 1) Significance (Stefan Grebe, Larissa Eggers, Gijs van Eck en Marco Kouwenhoven), November 2020, Overzicht modelversies AEOLUS-luchtvaartmodel, Rapport voor Rijkswaterstaat WVL, 14 p.
- 2) Significance (Stefan Grebe, Larissa Eggers en Gijs van Eck), Juli 2020, AEOLUS Documentatie 1.0. Rapport voor Rijkswaterstaat WVL, 142 p.
- 3) Significance, Februari 2019, Actualisatie AEOLUS 2018 en geactualiseerde luchtvaartprognoses. Rapport voor Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 101 p.
- 4) Centraal Planbureau / Planbureau voor de Leefomgeving, Januari 2016, Mobiliteit – Luchtvaart. Achtergronddocument. WLO – Welvaart en Leefomgeving. Toekomstverkenning 2030 en 2050, 111 p.
- 5) SEO Economisch Onderzoek (Guillaume Burghouwt en Jan Veldhuis), Augustus 2007, Verbetering Vlootmodule ACCM, 7 p.

De hearing werd georganiseerd op dinsdag 14 september 2021.

Het op basis van deze werkzaamheden geformuleerde rapport maakt een aantal opmerkingen en/of suggesties over het globale model AEOLUS, inclusief de verschillende deelmodules.

Achtereenvolgens wordt ingegaan op een globale inschatting en waardering, het historisch karakter van het model, de verschillende deelmodules, de traditionele insteek, het niet steeds up-to-date zijn van bepaalde deelmodules (met vracht als voorbeeld), de afweging tussen wetenschappelijke zuiverheid versus praktische bruikbaarheid, het inbouwen van controle, een evaluatie van de gebruikte aannames en tenslotte de beleidstoepassingen. Op basis van het geheel worden een aantal conclusies en aanbevelingen geformuleerd.

3. Opmerkingen en/of suggesties over het globale model AEOLUS

In wat volgt formuleren we een aantal opmerkingen en/of suggesties die het geheel van het AEOLUS-model betreffen.

1) Waardering

Er kan geen twijfel over bestaan: over de tijd heen is rond de specificatie en invulling van AEOLUS als model heel hard en boeiend onderzoek verricht. Hiervoor past een diepe waardering, zowel van peer-reviewers, modelgebruikers als van beleidsverantwoordelijken. Voor zover dat kan worden ingeschat, beschikken weinig andere overheden over dit type van model, met name een model met een heel grote batterij aan mogelijke toepassingen. Ook de rapportering is vanuit technisch oogpunt topkwaliteit.

Soms krijgt de lezer wel het gevoel dat ‘de liefde voor het algoritme’ groter is dan de drang om zo zuiver mogelijke prognoses van het toekomstig luchtvervoer te maken. Ter illustratie volgend citaat: *“De malusfactor is een modelmatige truc, die geen invloed heeft op de resultaten. Deze is ingevoerd om te voorkomen dat het algoritme in een lokaal minimum blijft hangen, waarbij de vraag te sterk wordt gereduceerd en het aantal vliegbewegingen door te hoge schaarstekosten significant onder de geldende limiet blijft”* (Significance, 2020, p. 54).

2) Een historisch gegroeid model

AEOLUS is een historisch gegroeid model. Bijlage 1 van dit rapport geeft een overzicht van de verschillende modelversies, gekoppeld aan de belangrijkste aanpassingen en/of actualisaties. De eerste versie van het ACCM dateert uit 2004, met basisjaar 2003 en de mogelijkheid prognoses te maken tot 2040. Daarna is het model meerdere keren verbeterd en geactualiseerd, inclusief een naamwijziging in 2007 naar AEOLUS. AEOLUS 2018 is een doorontwikkeling van de laatste modelversie uit 2016. De meest actuele versie is AEOLUS GAMS-G5 met basisjaar 2017 en de mogelijkheid om prognoses te maken tot 2050.

Over de tijd heen werden dus nieuwe zaken toegevoegd en werden bestaande zaken aangepast en/of verbeterd. De modelstructuur van 2003 is ook nog de huidige structuur. Het voordeel van deze aanpak kan zijn dat men jaren verder bouwt en een zekere internationale voorsprong verwerft. Tegelijkertijd zit men wel vast aan die structuur en soms ook aan gebruikte variabelen. Zo maakt het model gebruik van macro-economische scenario-input, onder andere GDP-groecijfers. Recente literatuur is daar van afgestapt, onder meer omwille van de over de tijd heen gewijzigde samenstelling van GDP in productie en diensten.

Opvallend is dat het men het vaak over ‘rekenmethodes’ heeft. Er is het basismodel en daaraan worden een aantal afgeleide rekenmodellen gekoppeld. Maar er zijn ook nadelen aan deze aanpak. Men bouwt verder op een bestaande modelstructuur. Mogelijke aanpassingen gebeuren in functie van de modelstructuur zoals die uit het verleden is aangeleverd. De vraag moet gesteld worden of dat de vrijheidsgraden voor modelaanpassingen niet beperkt.

Een alternatieve aanpak zou kunnen opteren voor een ander modeltype dat zich eerder richt op het capteren van de concurrentiestrijd tussen luchthavens. Beslissingen van luchtvaartmaatschappijen en luchthavens worden immers genomen in een uiterst competitieve omgeving en dit wordt niet in elk niveau van het AEOLUS-model opgenomen. Men stelt dat het AEOLUS-model niet ontwikkeld is om mogelijke tariefaanpassingen van luchtvaartmaatschappijen te voorspellen (Significance, 2020, p. 1). Maar goede prognoses vereisen wel het correct inschatten van mogelijke strategieën van luchtvaartmaatschappijen en concurrerende luchthavens, ook en vooral op het vlak van prijszetting.

Vanuit die filosofie wordt een variabele zoals ‘maximale capaciteit’ (cf. de 500.000 bewegingen per jaar) een beslissingsvariabele, met vergaande gevolgen, ook wat betreft de resultaten van de modelvoorspellingen. Zeker op het gebied van vrachtvervoer speelde Schiphol in de afgelopen periode net omwille van dat maximale ‘plafond’ vluchten en klanten kwijt aan concurrerende luchthavens zoals Luik en Brussel.

Significance (2019, p. 16) stelt het volgende: *“Het AEOLUS-model wordt continue verder ontwikkeld om de invoerdata actueel te houden, de modellering te verbeteren en nieuwe inzichten op te nemen.”* Wat is daarbij sturend: de vraag van de potentiële klant-gebruiker van dit model of nieuwe ontwikkelingen in de wetenschappelijke onderzoeksliteratuur? Die vraag wordt niet beantwoord met volgende vaststelling (Significance, 2019, p. 82): *“Het doel van de nu uitgevoerde studie was niet om het scenario voor 2030 en 2050 aan te passen (behalve als dit nodig was gezien nieuwe regelgeving), maar alleen om deze prognose te maken vanuit een nieuw basisjaar.”*

3) Verschillende deelmodules

Het AEOLUS-model kan worden beschouwd als een blokkendoos, met verschillende aan elkaar gelinkte elementen. De output van een module vormt input voor een andere module. Uit een analyse van de verschillende deelmodules blijkt dat elke deelmodule op zich op een knappe wijze is uitgewerkt. Wel kunnen twijfels worden geuit over de koppeling tussen de verschillende deelmodules. De output van een module kan worden omgezet naar input voor een daaropvolgende module. Daar is op zich niets mis mee. Het betekent wel onder meer dat vertekende prognoses in de basismodule mee worden genomen in afgeleide modules. Bovendien moet wel worden toegekeken op de tijd-as, cf. de verschillende momenten van ontwikkeling en eventuele aanpassingen en bijstellingen.

In totaliteit gaat het om een keten van sub-modellen. Elk model heeft op zich een eigen finaliteit, i.e. men kan er bepaalde zaken mee doorrekenen, andere zaken evenwel niet. De combinatie van verschillende modules geeft dan weer andere mogelijkheden, maar de koppeling tussen sub-modules betekent, zonder tussentijdse controles, dat mogelijke fouten doorheen heel het systeem worden meegenomen. De milieueffectenmodule vormt hiervan een mooie illustratie (Significance, 2020, p. 64). De facto is deze module een rekenmodule met als input een voorspelling van de vliegtuigbewegingen, op zich reeds afgeleid uit de voorspellingen van het aantal passagiers en de vrachttonnage, een ingeschatte verdeling van de vliegtuigtypes en ingevoerde coëfficiënten van de verschillende milieueffecten. Een combinatie van onzekerheid op verschillende niveaus. Wie heeft de finale controle op het geheel?

Vandaar de noodzaak om op verschillende niveaus tussentijdse evaluaties en/of controles in te bouwen. Een voorbeeld ter illustratie (Significance, 2019, p. 34): *“Tijdens het aggregeren worden frequenties bij elkaar opgeteld en wordt een over de frequenties gewogen gemiddelde genomen van kosten en reistijden.”* Wat zijn de effecten van dit soort acties (aggregeren, gewogen gemiddeldes,...)? Werden er sensitiviteitsanalyses ingebouwd? Kan je alle frequenties zomaar aggregeren, wetende dat sommige carriers hun vloot standaardiseren en andere carriers opteren voor diversificatie?

Werken aan een bestaand model, met deelmodules, noopt ook tot voortdurende waakzaamheid voor aanpassingen en het effect daarvan op het geheel. We nemen het voorbeeld van het toegangskeuzemodel. *“De keuze tussen deze alternatieven is net als voor het hoofdtransport gebaseerd op verschillen in reistijd, reiskosten en in het nieuwe model ook afstand”* (Significance, 2019, p. 34). Reiskosten en reistijden zijn sowieso functie van onder meer de afstand. Als je ‘afstand’ er nog eens bijneemt als afzonderlijke variabele, riskeer je dubbeltellingen. In een econometrische omgeving zou dit een garantie zijn voor multicollineariteit.

4) Een traditionele insteek

Het basismodel volgt een traditionele aanpak/insteek, vanuit de volgende filosofie: generatie/attractie – distributie – modal split – verkeersconversie. Die aanpak wordt onder meer aangegeven in volgende quote: *“Berekening van het totale aantal luchtvaartreizigers: door middel van macro-economische groeifactoren wordt het totale aantal reizigers in het basisjaar geschaald naar prognosejaren”* (Significance, 2020, p. 17). Ook op het niveau van distributie worden groeifactoren toegepast: *“In plaats daarvan wordt de reizigersstroom in prognosejaren per relatie afgeleid door een groeifactor toe te passen op het aantal jaar passagiers in het basisjaar. Deze groeifactor bestaat uit twee componenten”* (Significance, 2020, p. 34). De vliegtuigbewegingenmodule kan worden beschouwd als een verkeersconversiemodule.

Los van de discussie rond de variabelen die gebruikt worden voor deze opschaling (zie elders in deze nota de opmerkingen m.b.t. de GDP-variabele) heeft de groeifactorenaanpak ook nog enkele andere nadelen. De methode is niet toepasbaar wanneer de oude vervoerstromen niet gekend zijn, wat het geval is bij nieuwe verbindingen. De methode is compleet onbetrouwbaar bij kleine zones die een explosieve groei kennen. Regio’s die zich op korte termijn tussen het basisjaar en het prognosejaren sterk ontwikkelen, moeten op een andere manier worden meegenomen in de analyse.

De gebruikte methode noopt ook tot een aantal eigenaardige ingrepen. We beperken ons tot enkele voorbeelden. Een eerste voorbeeld betreft de verbinding tussen Amsterdam en Brussel: *“Met vluchten en passagiers tussen andere luchthavens in het achterland (bijvoorbeeld Amsterdam – Brussel) wordt in het model helemaal geen rekening gehouden, omdat de aantallen heel klein zijn”* (Significance, 2020, p. 19). Best hier het onderscheid maken tussen de vluchten tussen Amsterdam en Brussel enerzijds, de passagiers die gebruik maken van die vluchten anderzijds. Er zijn geen reizigers die enkel het traject tussen beide hoofdsteden vliegen. Die vluchten nemen uitsluitend passagiers mee die op Schiphol aansluiten op het intercontinentale netwerk van KLM. Maar de vluchten tussen Amsterdam en Brussel nemen natuurlijk wel capaciteit in op de luchthaven.

Met vrij algemene modellen dreigt men het belang van detailanalyse uit het oog te verliezen. Een voorbeeld betreft de keuze van Wallonië als referentiezone (Significance, 2019, p. 37). Soms kunnen specifieke variabelen, in dit geval de taal, een barrière vormen. Een Waalse potentiële luchtreiziger denkt en kiest ‘getrapt’: Charleroi is mogelijk de eerste optie, gevolgd door Brussel (Zaventem) en Parijs CDG. De taalbarrière maakt Amsterdam minder attractief.

De facto wordt het AEOLUS-model vooral ingezet voor twee soorten toepassingen, met name het inschatten van de toekomstige vraag naar luchtvervoer met alle mogelijke afgeleide effecten, onder meer op het vlak van milieu en geluid. Daarnaast streeft men ook naar het correct inschatten van de effecten van mogelijke ingrepen. De groeifactorenmethode is ook steeds data-intensief. Men kan zich de vraag stellen of deze relatief zware aanpak steeds nodig is voor het soort toepassingen dat men wil modelleren en kwantificeren. Een vraag stelt zich ook over de gebruikte groeifactoren en/of elasticiteiten. Significance (2020, p. 35) geeft in tabel 10 een overzicht van de standaardelasticiteiten voor groeifactoren. Hoe werden deze elasticiteiten bepaald? Werden die geprikt? Op basis van welke literatuur? Enige vorm van sensitiviteitsanalyse toegepast?

5) Deelmodules niet steeds up-to-date: de vrachtmodule als voorbeeld

Het historisch verloop van de uitbouw en aanpassing van het model, betekent ook dat bepaalde deelmodules niet steeds up-to-date zijn voor wat betreft de beschikbare wetenschappelijke literatuur. Typisch voorbeeld om dit te illustreren vormt de deelmodule met betrekking tot luchtvracht. De vrachtmodule werd vele jaren niet aangepast. In 2018 werd de modellering van luchtvracht en vrachtvliegtuigen op basis van nieuwe inzichten en recente data uit 2017 helemaal opnieuw opgezet (Significance, 2019, p. 5). Er kunnen bij de vrachtmodule wel een aantal kanttekeningen geplaatst worden.

Het is duidelijk dat de vernieuwde aandacht voor luchtvracht in belangrijke mate gekoppeld is aan het capaciteitsplafond van 500.000 bewegingen. Dat blijkt ook uit volgende quote: *“Omdat in het scenario Hoog de berekende capaciteitslimiet van Schiphol bereikt is, gaat (in het model) een deel van de full-freighters uitwijken naar andere luchthavens. Hierdoor wordt de groei van luchtvracht op Schiphol in het scenario Hoog geremd”* (Significance, 2019, p. 11). Is dit scenario niet te eng? Waarom zouden full-freighters de dupe worden? Misschien zijn full-freighters net wel bereid om meer te betalen voor schaarste. Hier zijn parallellen te trekken met de modelvorming van bijvoorbeeld containeroverslag van zeeschepen in zeehavens.

Er is duidelijk niet steeds gebruik gemaakt van de meest recente bronnen op het vlak van modelvorming van luchtvracht. Een quote: *“In de literatuur worden elasticiteiten ten opzichte van de GDP-ontwikkeling en ten opzichte van handelontwikkeling met het buitenland beschreven”* (Significance; 2019, p. 63), met onder meer een verwijzing naar GDP-elasticiteiten gebaseerd op Van Riet et al, 2007. Hier kan onder meer verwezen worden naar een special issue van het tijdschrift Journal of Air Transport Management over ‘Air cargo: a by-product or success factor?’ (Volume 61, juni 2017). Met daarin onder meer een voorspellingsmodel dat inzoomt op lange- en korte termijn-effecten (Kupfer et al, 2017). Maar ook aantonend dat GDP als verklarende variabele voor luchtvracht niet echt werkt en best vervangen kan worden door variabelen zoals ‘merchandise export’ en ‘share of manufactures’ (Kupfer et al., 2017, p. 10).

Men was zich daar nochtans van bewust op basis van de expertinterviews: *“In alle drie gesprekken werd genoemd dat luchtvracht veel gedetailleerder gemodelleerd zou moeten worden met onder anderen een onderscheiding naar verschillende soorten luchtvracht”* (Significance, 2019, p. 64). Dat is een terechte opmerking. Men mag zich er niet van afmaken met quotes zoals de volgende: *“Uit deze analyse kan geconcludeerd worden dat het hanteren van een handelselecticiteit van 1 of hoger tot een onrealistisch hoge luchtvrachtgroei zou leiden”* (Significance, 2019, p. 67). En ook de volgende: *“Dit verschil tussen de literatuurelasticiteit van ca. 1,1 en de AEOLUS-elasticiteit van 0,5 kan verklaard worden door effecten die de vraag naar luchtvracht remmen en die niet worden gemodelleerd in AEOLUS, bijvoorbeeld prijsverhogingen voor luchtvracht”* (Significance, 2019, p. 65). Dit is een te makkelijke uitspraak. De luchtvrachtmarkt is complex en men heeft nood aan modellen die de complexiteit vatten, voor Schiphol onder meer de onzekerheid over slots en capaciteit, maar zeer zeker ook de hevige concurrentie van omringende luchthavens zoals Luik, Brussel en Leipzig. Dat staat in schril contrast met de hier gehanteerde aanpak voor de luchthaven van Maastricht: *“In de gebruikte methodiek is het daarom ook niet van belang om expliciet rekening te houden met concurrentie van andere luchthavens”* (Significance, 2019, p. 68).

Luchtvrachtanalyse zonder die in te bedden in een concurrentieanalyse is niet meer van deze tijd. De concurrentieanalyse omvat niet alleen concurrerende luchthavens, maar moet gekoppeld worden aan variabelen zoals beschikbare belly-ruimte, maar ook aan vrije capaciteit en slots voor full freighters. Dan zou men volgende quote beter kunnen plaatsen: *“In AEOLUS wordt verondersteld dat de heenvlucht en de terugvlucht met hetzelfde vliegtuigtype worden uitgevoerd”* (Significance, 2020, p. 46). Hiermee moet men opletten. Vrij veel carriers vliegen met hun full freighters in driehoeken of soms zelfs ‘round-the world’ schedules, om expliciet in te spelen op onevenwichten in gevraagde capaciteit per stretch. Dit model neemt dit niet mee, evenmin als de speciale positie die zgn. ‘integrators’ zoals Fedex, DHL en UPS innemen in het luchtvrachtgebeuren.

6) Wetenschappelijk zuiver versus praktische bruikbaarheid: inbouwen van controle

De opdrachtgevers en ontwikkelaars van AEOLUS moeten een voortdurende afweging maken tussen het honderd procent correct en wetenschappelijk zuiver zijn van het model en zijn deelmodules enerzijds en de praktische bruikbaarheid voor het inschatten van beleidsvraagstukken anderzijds. Dat vereist een voortdurende controle op alle niveaus van het model, van technische specificatie van functionele relaties tot de samenstelling en het beheer van databases.

Die samenhang kan geïllustreerd worden met volgend voorbeeld. AEOLUS simuleert de toegangs- en routekeuze van luchtvaartpassagiers door middel van een genest logit model. Op het bovenste niveau wordt de routekeuze gemodelleerd en op het niveau daaronder de toegangskeuze. Voor het herschatten van deze keuzemodellen zijn twee databronnen gebruikt, met name de Schiphol-enquête 2017 en de KiM-vliegenenquête uit 2016 (Significance, 2019, p. 49). Beide databases hebben duidelijke beperkingen. In de eerste enquête zijn alleen reizigers bevroegd die gebruik maken van de luchthaven Schiphol. De KiM-database bevat aanzienlijk minder respondenten, waardoor het lastig is om hiermee significante coëfficiënten te schatten. Indien enkel gewerkt kan worden met reizigers die nu reeds kozen voor Schiphol betekent dit dat in onvoldoende mate de concurrentiekracht van de verschillende luchthavens in de zgn. ‘captive market’ kan meegenomen worden. Het advies is dus om de databases te analyseren op hun sterkte en zwakte. Daarbij ook rekening houdend met het feit dat

men voor bepaalde data afhankelijk blijft van externe inbreng, bijvoorbeeld de LTO-emissies per gecorrigeerde vliegtuigbeweging (Significance, 2019, p. 27). Ook voor die externe inbreng is het opzetten van controle aangewezen.

Een vergelijkbare opmerking en/of suggestie kan worden gemaakt met betrekking tot de belangrijkste functie van AEOLUS, met name het zo goed mogelijk proberen inschatten van de toekomstige vraag naar luchtvervoer, voor zowel passagiers als vracht. Op een bepaald ogenblik wordt heel gedetailleerd werk geleverd aan de kalibratie van specifieke coëfficiënten. Waarom wordt de accuraatheid van het model ook niet voortdurend geëvalueerd door het toepassen van zogenaamde 'back-casting'? Men gebruikt een recente versie van het model om de jaren tussen modelontwikkeling en het jaar van gebruik te voorspellen. Uit een vergelijking van de op die manier gemaakte 'voorspellingen' en de effectieve cijfers, kan heel wat worden geleerd. Men zou dat zelfs kunnen koppelen aan nieuwe kalibratieoefeningen. De boodschap is hier dat men kan leren uit een systematische, zorgvuldige ex-post analyse, onder meer door het vergelijken van de vroeger gemaakte voorspellingen en de ondertussen gerealiseerde passagiers- en vrachtstromen. Dat kan bij voorbeeld ook gebeuren door verschillende scenario's voortdurend te vergelijken en de resultaten te toetsen aan expertpanels.

Bij het analyseren van AEOLUS komt men onder de indruk van de graad van detailberekening. Maar tegelijkertijd blijft men werken met gemiddelden. Zo stelt men bijvoorbeeld voor de 'Level-of-service voor- en natransport' de kosten van de trein gelijk aan de kosten van de auto + 31,3% (Significance, 2019, p. 39). Bij dit soort zaken stelt zich de vraag naar de betrouwbaarheid van dit soort gegevens, maar evenzeer naar de gevoeligheid van de prognoses voor al dan niet lichte wijzigingen in de data. Een voorbeeld ter illustratie. Voor de luchthavenheffingen die in AEOLUS ingevoerd worden, wordt voor Charleroi een tarief van 8,33 € aangerekend. Dit lijkt vrij hoog, wetende dat in 2012 in Charleroi het tarief per vertrekkende passagier 2,39 € bedroeg, tegenover 31,36 € per passagier in Brussel (Vlaamse Luchthavencommissie, 2012). Werken met gemiddelden en aggregeren is niet fout, maar men moet zich bewust zijn van de gevoeligheid van over- of onderschattingen op de finale prognoses. Gepubliceerde tarieven zijn vaak niet de in de realiteit toegepaste tarieven.

Voor een buitenstaander is niet alles even relevant. Zo stelt men dat in een vorige versie van AEOLUS geen plausibele kostencoëfficiënten geschat konden worden voor het routekeuze-model. Daarom is er destijds voor gekozen om deze te bepalen op basis van expertoordeel (Significance, 2019, p. 55). Bij de nieuwe AEOLUS-versie is het dan wel gelukt om plausibele kostencoëfficiënten te schatten. Het zou de lezer helpen om gerapporteerd te worden over een vergelijking van de coëfficiënten tussen beide versies, gekoppeld aan het effect van mogelijke verschillende coëfficiënten op de finale prognoses.

Voor de Value-of-time (VOT) zijn in de laatste versie van AEOLUS dezelfde waarden genomen als in de vorige versie, gecorrigeerd met de consumentenprijsindex van 2017 ten opzichte van 2014 (Significance, 2019, p. 51). Dit lijkt wel een gemakkelijksoplossing. In welke mate is een consumentenprijsindex gekoppeld aan de evolutie in VOT? Men zou beter eigen onderzoek opzetten rond de VOT, of bestaande nieuwe inzichten of wetenschappelijke literatuur gebruiken. Opnieuw, te koppelen aan sensitiviteitsstudies.

Een ander issue betreft de uitgevoerde kalibraties. In het basisjaar zijn de discrete keuzemodellen voor de passagierskeuze gekalibreerd waardoor deze de passagiersaantallen per luchthaven correct

berekenen. Bij de luchtvracht zijn de vervoerde tonnen per luchthaven directe input (Significance, 2020, p. 7). Op zich is dit een aanvaardbare procedure. Maar daar bovenop zou men, zoals reeds eerder geformuleerd, ook een vorm van back casting kunnen invoeren, waarbij jaar na jaar de prognoses worden vergeleken met de gerealiseerde volumes aan passagiers en vracht, gekoppeld aan een analyse die eventuele verschillen helpt verklaren. Het leerproces van die back casting kan helpen bij het op een zinvolle manier startwaarden te geven aan de op te lossen parameters (Significance, 2020, p. 9).

7) De gebruikte aannames

Elk model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Het spreekt voor zich dat men daarbij gebruik maakt van veronderstellingen en aannames. Bepaalde van die aannames zijn gekoppeld aan de modelkeuze die men heeft gemaakt. Andere aannames hebben vaak te maken met de input-data. In wat volgt gaan we in detail in op enkele van deze aannames en het soort vragen dat daarbij gesteld kan/moet worden.

We schreven reeds eerder dat de modelstructuur van AEOLUS impliciet bepaalde aannames bevat. Dat wordt bevestigd door volgende quote: *“Zones die in het basisjaar van een bepaalde luchthaven niet aangevlogen worden, zijn ook in de toekomst vanaf deze luchthaven niet bereikbaar”* (Significance, 2019, p. 19). Dit valt te begrijpen omwille van de beperkingen door de gekozen modelstructuur, maar kan totaal in tegenspraak zijn met macro-economische ontwikkelingen. Hoe ouder het model, hoe groter de kans dat dit soort ontwikkelingen zich voordoet en niet kan opgenomen worden in het model.

Een voorbeeld van een wel vrij geaggregeerde aanname betreft de geografie en de toepasbaarheid van het model. AEOLUS is een globaal model (zonegrootte Nederland – COROP/provincie; Europa = land; Wereld = continent). Vraag is of vooral dat laatste niet te geaggregeerd is. De westkust van Afrika is vanuit de Nederlandse invalshoek totaal verschillend van de oostkust van Afrika. Al was het maar omwille van opnieuw een taalbarrière. Dat vertaalt zich in totaal verschillende ‘drivers’ voor economische samenwerking en dus personen- en vrachtstromen via Schiphol.

Voor bepaalde aannames wordt te snel gebruik gemaakt van extern aangereikte aannames. Een voorbeeld: *“In plaats daarvan is een waarde berekend op basis van de door SEO gemaakte aanname dat het overschrijden van de grens gelijk staat met 100 kilometer extra reisafstand”* (Significance, 2019, p. 56). Het principe van een extra barrière is duidelijk, maar waarop is dat cijfer gebaseerd? Is die dummy voor alle landen gelijk?

Weer andere aannames gaan soms te kort door de bocht en kloppen niet steeds met de realiteit. Bij luchtvrachtvervoer is de aanname gemaakt dat eerst de belly’s worden gevuld en pas daarna full freighter toestellen worden ingezet (Significance, 2019, p. 19). Dat is niet steeds het geval, zeker niet in luchthavens waar ook integrators belangrijke hub-operaties hebben. Daar zijn de integrator en de traditionele carriers vaak beste klanten van elkaar en worden factoren zoals frequentie en timing vaak belangrijker dan het vullen van de belly ruimte.

Het maken en formuleren van aannames vormt op zich geen probleem. Het gaat ongetwijfeld om gefundeerde en bediscussieerde keuzes. We pleiten echter wel voor een voorzichtige en meer

gecontroleerde aanpak. Dat betekent voortdurend zorgvuldige rapportering over de gemaakte aannames, de gebruikte motivering en vooral over elke uitgevoerde sensitiviteitsanalyse. Monitoring van het model op zich is belangrijk, maar dat geldt zeer zeker ook voor de gebruikte aannames. De kwaliteit van de geleverde output wordt mee beïnvloed door de kwaliteit van de gebruikte aannames. Elementen waar het goed zou zijn om systematisch een gedetailleerde rapportering te krijgen zijn onder meer de gebruikte elasticiteiten en de Value-of-Time waarden.

8) Beleids toepassingen

AEOLUS werd ondertussen ingezet voor heel wat toepassingsgerichte studies. Voorbeelden vormen het doorrekenen van scenario's van de planbureaus (De Welvaart en Leefomgeving Scenario's – WLO) en verkenningen zoals de Klimaat en Energie Verkenning. Andere toepassingen gingen over het doorrekenen van de te verwachten effecten van beleidsmaatregelen, onder meer op het vlak van heffingen op vliegverkeer, de netwerkkwaliteit, de kerosine-taks, de vliegbelasting, de transferheffing. Er werden ook doorrekeningen gemaakt over de capaciteitslimieten voor het aantal woningen binnen de geluidscontouren, het luchthavenbeleid, de ontwikkeling van de regionale luchthavens, een maatschappelijke Kosten Baten Analyse van het openstellen van Lelystad, de effecten van het klimaat op de luchtvaart. Zonder enige twijfel een indrukwekkende lijst van toepassingen.

Zonder twijfel betekent het kunnen beschikken over AEOLUS een belangrijke troef voor beleidsmakers op alle niveaus. Het feit alleen reeds dat kwantitatieve inschattingen kunnen worden gemaakt van zowat elk aan de luchtvaart verbonden probleem, betekent een voorsprong bij situaties waarin men niet over zulk instrument beschikt. Belangrijk is dan wel dat men het instrument gebruikt zoals het moet gebruikt worden. AEOLUS blijft een combinatie van verschillende modules, bovendien erg data-intensief. Dat betekent dat niet zozeer het finaal berekend getal belangrijk is. Veel belangrijker is het leerproces uit de vergelijking van verschillende scenario's. Men leert eveneens uit elke sensitiviteitsanalyse, waarbij men probeert in te schatten hoe gevoelig het uiteindelijk resultaat is voor wijzigingen in belangrijke parameters. Dat op zich leert hoe betrouwbaar de gebruikte parameters zijn. Op dit niveau moeten gezagsargumenten worden vermeden. Een voorbeeld: *“De elasticiteiten zijn vastgesteld in afstemming met het PBL en het CPB tijdens de WLO2015”* (Significance, 2020, p. 15).

Vanzelfsprekend heeft AEOLUS ook zijn beperkingen. Naast de vrij statische en historisch gegroeide modelstructuur en de enorme nood aan data-input, is er ook het feit dat het model verschillende soorten output op jaarbasis genereert, terwijl een aantal luchtvaart gebonden problemen gerelateerd zijn aan specifieke momenten in de tijd. Typische voorbeelden vormen de piek-dal problematiek en ook specifieke capaciteitsproblemen.

Beleidsmakers moeten beseffen dat AEOLUS een instrument is om hun beleid te ondersteunen, niet om het beleid te vervangen. Instrumenten zijn in eerste instantie ondersteunend voor het beleid. Beleidservaring is vaak een minstens even belangrijke input.

4. Formulering advies

Dit advies betreft de bruikbaarheid van het model voor het leveren van informatie ten behoeve van besluitvorming, naast advies voor mogelijke verdere verbeteringen van het model. Concreet wordt gepoogd een antwoord en/of advies te formuleren op drie concrete vragen.

4.1 Is AEOLUS in zijn huidige vorm geschikt voor gebruiksdoelen zoals omschreven door de tot dusver uitgevoerde toepassingsgerichte studies, i.e. is het model 'fit for purpose'?

AEOLUS is een sedert 2003 historisch gegroeid model waarbij over de tijd heen nieuwe zaken werden toegevoegd en bestaande zaken werden aangepast en/of verbeterd. Het voordeel van deze aanpak is dat men jaren verder bouwt en een zekere internationale voorsprong verwerft. Nadeel is dat men verder bouwt op een bestaande modelstructuur en de mogelijke aanpassingen gebeuren in functie van de modelstructuur zoals die uit het verleden is aangeleverd.

In zijn huidige vorm blijft AEOLUS geschikt om te worden ingezet voor gebruiksdoelen zoals de tot dusver uitgevoerde studies. Men kan het model wel op een andere manier gaan gebruiken. Op het ogenblik dat men de rekenmodules jaarlijks inzet, kan men leren uit de trendevolucie maar tegelijkertijd ook afwijkingen tussen prognoses en effectief gerealiseerde volumes vaststellen, evalueren en interpreteren. We verwijzen onder meer naar de eerder in deze nota gemaakte suggesties rond 'back-casting'.

Zit alles goed aan AEOLUS? Neen, en dat is in grote mate het gevolg van het feit dat het om een historisch model gaat dat dateert uit 2003 en in de daaropvolgende jaren werd uitgebreid met nieuwe modules en aangepast op basis van nieuwe vragen en inzichten. Men riskeert na twee decennia een zekere metaalmoeheid. Men riskeert ook voortdurend aanpassingen te moeten doen om misgroei weg te werken. Kalibratie op het basisjaar kan nog net.

Een eerste keuze die dus gemaakt moet worden is die tussen enerzijds het verder werken met AEOLUS en inspanningen blijven doen om de modules te verbeteren en aan te passen aan de realiteit en anderzijds opnieuw starten 'from scratch' en nadenken over een totaal nieuwe modelaanpak. Bij de eerste optie moet dan veel meer ingezet worden op een voortdurende monitoring en kritische evaluatie van alle input, de geleverde output en alle gebruikte aannames. Bij de tweede en alternatieve optie zou men kunnen opteren voor een ander modeltype dat zich eerder richt op het capteren van de concurrentiestrijd tussen luchthavens (en luchtvaartmaatschappijen). Ook bij de tweede optie blijft de door de makers van AEOLUS opgedane kennis van de luchtvaartsector uiteraard van goudwaarde.

4.2 Welke opties voor verdere verbetering van het model kunnen worden geformuleerd?

Indien men opteert voor het verder werken met en aan AEOLUS, maakt men best een duidelijke planning van mogelijke aanpassingen en verbeteringen. Die mogelijke verbeteringen situeren zich op het vlak van de modelstructuur, het databeheer, de aannames, maar ook op het vlak van sensitiviteitsanalyse en monitoring. Dat vereist een voortdurende controle op alle niveaus van het

model, van technische specificatie van functionele relaties tot samenstelling en beheer van databases.

De keuze om in AEOLUS te werken met groeifactoren heeft nadelen. De methode is niet toepasbaar wanneer de oude vervoerstromen niet gekend zijn, wat het geval is bij nieuwe verbindingen. De methode is compleet onbetrouwbaar bij kleine zones die een explosieve groei kennen. Regio's die zich op korte termijn tussen het basisjaar en het prognosejaren sterk ontwikkelen, moeten op een andere manier worden meegenomen in de analyse. Dat stelt hier problemen, gegeven de ver in de tijd liggende prognosejaren 2040 en 2050.

Elke aanpassing aan het basismodel vereist ook dat men gebruik maakt van de meest recente literatuur. Zo kunnen bij de in 2018 herwerkte vrachtmodule kanttekeningen geplaatst worden. Het lijkt zinvol om de luchtvrachtanalyse in te bedden in een concurrentieanalyse tussen concurrerende luchthavens, daarbij rekening houdend met de mogelijke strategieën van de verschillende luchtvaartmaatschappijen.

Elke gemaakte keuze dient ook telkens weer gemotiveerd te worden. Te beginnen met het overzicht van de standaardelasticiteiten voor groeifactoren. Hoe werden deze elasticiteiten bepaald? Werden die geprikt? Op basis van welke literatuur? Werd enige vorm van sensitiviteitsanalyse toegepast? In de praktijk betekent dat een voortdurende en zorgvuldige rapportering over de gemaakte aannames, de gebruikte motivering en vooral over elke uitgevoerde sensitiviteitsanalyse. Monitoring van het model op zich is belangrijk, maar zeer zeker is ook een voortdurende controle van de gebruikte aannames noodzakelijk. De kwaliteit van de geleverde output wordt immers mee beïnvloed door de kwaliteit van de gebruikte aannames.

De accuraatheid van het model zou voortdurend geëvalueerd moeten worden door het toepassen van zogenaamde 'back-casting'. Men gebruikt een recente versie van het model om de jaren tussen modelontwikkeling en het jaar van gebruik te voorspellen. Uit een vergelijking van de op die manier gemaakte 'voorspellingen' en de effectieve cijfers, volgt bij een goede evaluatie een heel leerproces.

Een ander discussiepunt betreft de vraag of men voor elke sub-problematiek zulke grote databestanden nodig heeft. Het voorspellen van het toekomstige vrachtvervoer kan een voorbeeld zijn, cf. de recente literatuur.

4.3 Dienen zich belangrijke andere toepassingsmogelijkheden aan voor AEOLUS, al dan niet na een haalbare doorontwikkeling?

Het kunnen beschikken over AEOLUS betekent een belangrijke troef voor beleidsmakers op alle niveaus. Het feit alleen reeds dat kwantitatieve inschattingen kunnen worden gemaakt van zowat elk aan de luchtvaart verbonden probleem, betekent een voorsprong ten opzichte van situaties waarin men niet over zulk instrument beschikt.

AEOLUS is een model met een geschiedenis. Het AEOLUS-model kan worden beschouwd als een blokkendoos, met verschillende aan elkaar gelinkte elementen. De output van een module vormt input voor een andere module. Daar ligt wel een risico, met name dat mogelijke vertekende prognoses in de basismodule mee worden genomen in afgeleide modules en in de finale output.

Vandaar de noodzaak om op verschillende niveaus tussentijdse evaluaties en/of controles in te bouwen. Daarnaast is er ook het feit dat het model verschillende soorten output op jaarbasis genereert, terwijl een aantal luchtvaart gebonden problemen gerelateerd zijn aan specifieke momenten in de tijd. Typische voorbeelden vormen de piek-dal problematiek, naast specifieke capaciteitsproblemen.

De toepassingen van en met het model kunnen worden ingedeeld in twee grote groepen, met name volume- en/of capaciteitsgebonden problemen, naast vooral milieu gerelateerde problemen. Dat zal ook in de toekomst zo blijven. Nieuwe problemen die zich aandienen, zullen met dit model kunnen worden aangepakt, mogelijk na een haalbare doorontwikkeling. Dit laatste betekent dat er mogelijk nog modules zullen worden toegevoegd, wat het afgeleid karakter en de kans op vertekening van resultaten verhoogt.

Men zou wel kunnen overwegen om het model ook op een andere manier te gebruiken. Met name met een voortdurende monitoring, het voortdurend checken en testen van de gebruikte aannames, waaronder de elasticiteiten. Mits een goede en continue evaluatie, kan dit leerproces input leveren voor beleidsontwikkeling. Dat betekent een continue gebruik van AEOLUS, eerder dan een 'ad hoc' gebruik op het ogenblik dat een probleem politiek 'hot' wordt.

Naar de toekomst toe zullen bijkomende beleidsvragen zich in toenemende mate ook stellen op het strategische vlak. Welke gevolgen kunnen gekoppeld worden aan strategische beslissingen rond een eventuele verdere integratie van KLM en Air France, met eventuele gevolgen van het wegsluizen van verbindingen van Schiphol naar Charles de Gaulle? Waarbij men ook moet beseffen dat er een mogelijk belangenconflict is tussen een luchthavenuitbater die denkt in termen van winstmaximalisatie en de overheid, vooral denkend in termen van volume en tewerkstelling.

Beleidsmakers moeten bovendien wel beseffen dat AEOLUS een instrument is om hun beleid te ondersteunen, niet om het beleid te vervangen. Beleidservaring is vaak een minstens even belangrijke input.

Bijlage: 1

Bijlage 1 Overzicht modellen

De modelopbouw begon met in 2003 het ACCM-model dat uit 4 modules bestond;

- 1) De luchtzijdige LoS-module bepaalt alle relevant directe en indirecte verbindingen van en naar Schiphol;
- 2) De passagiersmodule berekent vervolgens het aantal passagiers dat gebruik maakt van Schiphol;
- 3) De vrachtmodule berekent de hoeveelheid vracht die via Schiphol wordt vervoerd;
- 4) Vervolgens berekent de vliegtuigbewegingsmodule het te verwachten aantal vliegtuigbewegingen.

Na de opstart van bovenstaand model zijn er verschillende nieuwe versies gebouwd. De onderstaande tabel geeft een gedetailleerd overzicht van de verschillende versies en de belangrijkste aanpassingen en actualisaties.

Modelversie	Belangrijkste wijzigingen en actualisaties
ACCM II (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • Implementatie mogelijkheid om rekening te houden met capaciteitssituatie op Schiphol en aanliggende luchthavens • Vluchten kunnen worden opgesplitst naar grootteklasse, technologieklasse en periode van de dag • Implementatie van prijsmaatregelen, twee soorten capaciteitsrestricties en één uitplaatsingsmaatregel
ACCM III (2006)	<p>Verbetering van een zestal punten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aanpassing basisverdeling vloot • Correctie starten en landen per dagdeel • Opname van een verschilvariabele voor Totaal Volume Geluid (TVG) • Mogelijk maken richtjaar 2040 • Aanpassen invoer 'level of service' (bv aanpassen ticketprijzen en frequenties) • Simulatie van slotallocatie
AEOLIS Delphi (2007)	<p>Een aantal wijzigingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nieuw basisjaar (2006)

	<ul style="list-style-type: none"> • Vrachtmodellering • Vlootsamenstelling • Jaar-op-jaar berekeningen • Emissieberekeningen
AEOLUS GAMS-G1 (2009)	In deze eerste GAMS-versie van AEOLUS is het Delphi-programma overgezet in een nieuwe omgeving
AEOLUS GAMS-G2 (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Verdere actualisering van het model • Model zodanig aanpassen dat meer beleidsmaatregelen gesimuleerd kunnen worden • Invoering HSL als aparte modaliteit • Nieuw, stabielere oplossingsalgoritme dat de gebruiker in staat stelt om een absoluut aantal vliegbewegingen aan het model op te leggen als restrictie. • In totaal zijn er 11 aanpassingen uitgevoerd.
AEOLUS GAMS-G3 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Actualisatie van het basisjaar 2006 naar het jaar 2013 • Aantal technische verbeteringen aan het model (prognosejaar 2050; onderscheid tussen originating and destinating reizigers; uitgebreidere milieu-output; aanpassing van de wijze waarop een ticketprijsverandering in het model doorwerkt; updating van de modelcoëfficiënten)
AEOLUS GAMS-G4 (2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Aanpassing van AEOLUS zodat met de actuele wetgeving rekening kan gehouden worden • De geluidsberekeningen rond Schiphol zijn gebaseerd op het Nederlandse Rekenmodel (NRM) • Actualisatie van de ouderdomsverdeling van vliegtuigen in het basisjaar
AEOLUS GAMS-G5 / AEOLUS 2018 (2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Actualisatie basisjaar van 2013 naar 2017 • Verbetering en actualisatie van verschillende aspecten van het model (o.a. onderscheid gemaakt naar verschillende vliegtuigmotoren en niet alleen naar verschillende vliegtuigtypes) • Herschatting van keuzemodellen • Volledige herziening van de aanpak van de vrachtmodellering

	<ul style="list-style-type: none"> • De methode van de berekening van de CO₂-emissies werd gewijzigd • Actualisering van de LTO-emissies
AEOLUS GAMS-G5.1 / AEOLUS 2018 v1.1 (2019)	<p>Bij het doorrekenen van enkele extremere varianten met een vliegbelasting werd duidelijk dat er een fout zat in AEOLUS GAMS-G5 (o.a. met de vrachtvliegtuigen). Dat is weggewerkt.</p> <p>Tegelijkertijd is er een tweede aanpassing aangebracht, want in het basisjaar was het aantal vrachtvliegtuigen op Schiphol / Maastricht niet helemaal correct</p>

Uit een gedetailleerde analyse van bovenstaande tabel kunnen een aantal interessante conclusies getrokken worden.

Bovenstaand overzicht helpt mogelijke historische keuzes voor de gerealiseerde modelaanpassingen te verklaren. Vaak is die keuze vooral beïnvloed door het bestaande model en de bestaande modelstructuur, niet altijd door wat op dat ogenblik voor het specifieke probleem de beste modelkeuze zou zijn.

Daarnaast is er de dataproblematiek. In 2014 gebeurde een actualisatie van de basisdata van 2006 naar 2013. Zeven jaar betekent in de luchtvaart een eeuwigheid. Dat betekent dat er een aantal jaren met verouderde data werd gewerkt. Men moet beseffen dat de gebruikte modelstructuur zeer gevoelig is voor de kwaliteit van de ingevoerde data. Na 2014 opteerde men (terecht) voor snellere actualisaties. Daartegenover staat dat elke keer veel tijd en middelen naar de actualisatie gaan. De vraag kan gesteld worden of een modelaanpassing die toelaat dat bestaande en/of gepubliceerde data kunnen worden ingelezen, geen voordelen biedt.

Zeer veel aanpassingen aan de modellen gebeurden om te kunnen ingaan op nieuwe beleidsvragen. Dat betekent dat er geen model wordt gebouwd specifiek om een beleidsvraag op te lossen, maar dat een bestaand model wordt aangepast aan een specifieke vraag.

- 2 Bijdrage Prof. Dr. Ing. Paul Peeters, Professor sustainable tourism transport at the Centre for Sustainability, Tourism & Transport (CSTT), Breda University of Applied Sciences

Review van het AEOLUS-model

Paul Peeters

Breda, 24-11-2021

Versie: 3.0 (finale)

DISCOVER YOUR WORLD



Breda
University
OF APPLIED SCIENCES

Index

INDEX	1
1 INLEIDING	2
1.1 AANLEIDING VOOR HET RAPPORT.....	2
2 ALGEMENE OBSERVATIES	3
2.1 INLEIDING	3
2.2 VOLUME EN MODAL SPLIT	3
2.3 MILIEUBEREKENINGEN.....	4
2.3.1 CO ₂ -emissies luchtvaart	4
2.3.2 Vliegtuigklassen en emissiefactoren	7
2.3.3 CO ₂ -emissies voor andere vervoerwijzen	10
2.4 VERANDEREND BELEIDSKLIAMAAT LUCHTVAART: GROTE VERANDERINGEN OP TIL?	11
3 IS AEOLUS FIT FOR PURPOSE?	12
3.1 INLEIDING	12
3.2 SCENARIO STUDIES PLANBUREAUS (DE WELVAART EN LEEFOMGEVING SCENARIO'S – WLO)	12
3.3 VERKENNINGEN ZOALS DE KLIMAAT EN ENERGIE VERKENNING	12
3.4 EFFECTEN BELEIDSMATREGELEN.....	13
3.4.1 Effecten prijsmaatregelen op vliegverkeer en netwerkwaliteit.....	13
3.4.2 Capaciteitslimieten door aantal woningen binnen geluidscontouren.....	13
3.4.3 Luchthavenbeleid en ontwikkeling regionale luchthavens.....	13
3.4.4 Maatschappelijke Kosten Baten Analyse openstelling Lelystad.....	13
3.4.5 Effecten klimaatbeleid op de luchtvaart	13
4 AANBEVOLEN VERBETERINGEN	14
LITERATUUR	16

1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor het rapport

Het AEOLUS-model is de opvolger van het ACCM (Airport Catchment area and Competition Model) en staat onder beheer van Rijkswaterstaat WVL. Sinds 2007 is het model verder ontwikkeld en onderhouden door Significance. De opdrachtgever/eigenaar van het model, het Ministerie van I&W, heeft behoefte aan een review waarin bekeken wordt in hoeverre het model in geschikt is voor de volgende toepassingen:

AEOLUS wordt toegepast voor:

- Scenario studies planbureaus (De Welvaart en Leefomgeving Scenario's – WLO)
- Verkenningen zoals de Klimaat en Energie Verkenning
- Effecten beleidsmaatregelen:
 - Effecten heffingen vliegverkeer op netwerkkwaliteit, kerosine taks, vliegbelasting, transferheffing
 - Capaciteitslimieten door aantal woningen binnen geluidscontouren. Gedetailleerde geluidsberekeningen worden buiten AEOLUS uitgevoerd
 - Luchthavenbeleid
 - Ontwikkeling regionale luchthavens
 - Maatschappelijke Kosten Baten Analyse luchtvaart
 - Effecten klimaatbeleid op de luchtvaart

De reviewers is gevraagd de volgende vragen te beantwoorden:

1. Is AEOLUS geschikt voor genoemde gebruiksdoelen – *fit for purpose*? Wat zijn aandachtspunten?
2. Welke opties zien jullie voor verdere verbetering van het model?
3. Zien jullie belangrijke andere toepassingen van AEOLUS die nu al mogelijk zijn of dat worden na (haalbare) doorontwikkeling?

Het antwoord op vraag 1 is te vinden in hoofdstuk 3, dat op vraag 2 in hoofdstuk 4. Het ontbrak me aan tijd om antwoord te geven op de vraag naar andere toepassingen. Het lijkt me overigens dat het huidige voorgestelde pakket aan toepassingen al behoorlijk ambitieus is. Voordat ik de eerste twee vragen beantwoord, geef ik, eerst in hoofdstuk 2 een gedetailleerde beschouwing van mijn bevindingen op basis van de ten behoeve van de review geleverde rapportages (Grebe et al. 2020, Significance et al. 2019) en de toepassing in de WLO-scenario's (Romijn et al. 2016).

2 Algemene observaties

2.1 Inleiding

AEOLUS is een uniek model met een lange modelgeschiedenis. Het gebruikt een econometrische methode om op basis van sociaal-economische data en gegevens over de level-of-service tussen enkele tientallen zones in de wereld het volume van de luchtvaart en andere vervoerwijzen te berekenen. Milieugegevens worden op basis van de uit de vraag resulterende vlootontwikkeling en aantallen vluchten per vliegtuig technologie- en grootteklasse extern van AEOLUS berekend. In geval er capaciteitsbeperkingen optreden, bijvoorbeeld door geluidsbeleid, past AEOLUS schaduwrijzen toe totdat de vraag zich heeft aangepast aan deze capaciteitsrestricties. Het luchtvaartgedeelte van het model is gebaseerd op gedetailleerde gegevens tot op het niveau van vluchten tussen alle onderscheiden zones in de wereld per luchtvaartmaatschappij en alliantie en voor de specifieke vliegtuig G- en T-klassen. Voor andere vervoerwijzen en verschuivingen in herkomsten en bestemmingen is het model aanzienlijk minder gedetailleerd.

In deze evaluatie heb ik me vooral geconcentreerd op de volgende aspecten:

- De betrouwbaarheid van de resultaten als het gaat om verschuivingen in de herkomstbestemming en de vervoerwijzekeuze (2.2)
- De betrouwbaarheid van de berekende of op basis van AEOLUS berekende gevolgen voor het milieu en dan met name voor CO₂-emissies (2.3)
- De mogelijkheden van het model om naast geleidelijke veranderingen ook schoksgewijze veranderingen (in beleid, omstandigheden; denk ook aan de situatie met COVID-19) te kunnen representeren (zie 2.4).

2.2 Volume en modal split

De cijfers voor het basisjaar zijn gekalibreerd met behulp van gemeten cijfers van Schiphol. De groei is een functie van groeiende bevolking, ontwikkeling van de handel en groeiende inkomens zowel in Nederland als de landen waar vandaan mensen naar of via Nederland vliegen. Daarnaast is de groei en verdeling van het vervoer over routes en vervoerwijzen afhankelijk van de reistijden, prijzen en frequenties. Voor deze drie worden prijselasticiteiten aangenomen. Die voor frequentie is 0.1 (Tabel 10 in Grebe et al. 2020), wat, volgens de formules in de AEOLUS documentatie, betekent dat bij een verdubbeling van de frequentie de vraag met ruim 7% toeneemt¹. In andere studies zie ik aanzienlijk hogere frequentie-elasticiteiten zoals 0,39-0,42 (Gillen 2016) en 0,3 voor non-business tot 0,73 voor business. De vraag is of het niet beter zou zijn om het frequentie-effect in de reistijd te verwerken. Want ik geloof eerlijk gezegd niet dat er een constant effect te verwachten is van een verdubbeling van de frequentie van bijvoorbeeld één per dag naar twee vluchten, vergeleken met van 20 naar 40. In dat laatste geval is de reistijdwinst (aankomen wanneer dat gewenst is) een minuten kwestie, terwijl dat bij de eerste om uren gaat.

Wat betreft de andere vervoerwijzen als hoofdvervoer, de bestemmingskeuze en afzien van een reis, is de modelbeschrijving minder helder. Het lijkt erop dat het model het luchtvaartdeel sterk heeft gemodelleerd, maar dat alle andere effecten afhankelijk zijn van dat luchtvaartmodel. Het luchtvaartdeel gaat uit van oneindige capaciteit en pas bij capaciteitsgebrek gaat er verkeer naar andere opties dan de luchtreis. Impliciet lijkt te worden aangenomen dat de default reis een vliegreis is. Dit is echter onjuist. Voor bijvoorbeeld alle vakantiegangers vanuit Nederland blijkt dat in 2019 26% per vliegtuig reisde en 65% per auto (Eijgelaar et al. 2021). Deze cijfers zijn inclusief binnenlandse reizen. Dat is van belang omdat in de vakantiemarkt alle soorten reizen met elkaar concurreren. Uit mijn eigen werk (Peeters 2017) bleek dat het aantal reizen dat mensen maken (wereldwijd) door een

¹ $2^{0.1}=1.0718$

eenvoudig lineair model voor het gemiddelde aantal trips per persoon per jaar op basis van de inkomens kan worden beschreven. De verdeling van dat inkomen is van belang omdat er een maximum van gemiddeld ongeveer 5 trips per persoon per jaar is dat niet meer toeneemt met toenemend inkomen (dus toch niet helemaal lineair). Echter, de verdeling over de bestemmingen, in mijn model een afstandsklasse, en vervoerwijzen is aanzienlijk complexer. Van elke combinatie afstandsklasse-vervoerwijze is de vraag niet alleen afhankelijk van de kenmerken van de integrale reiskosten (tijd en geld) maar ook van een referentiepunt dat wordt bepaald door de integrale kosten en het aandeel van alle andere afstand-vervoerwijze combinaties in het model. Dergelijke verbanden lijken in AEOLUS niet te bestaan.

Ook is onduidelijk waar de basisgegevens voor andere modaliteiten als hoofdmodaliteit op zijn gebaseerd. Deze komen niet voor in de Schipholstatistieken, maar waar komen die dan wel vandaan? Bovendien zijn deze alternatieve vervoerwijzen weinig gedetailleerd beschreven. Dat komt doordat met erg vaak grote geografische zones wordt gerekend die bovendien direct gekoppeld zijn aan luchthavens en niet aan herkomst- en bestemmingsgebieden zelf. Vooral voor andere vervoerwijzen luistert het nogal nauw.

Zo varieert het LoS van de trein enorm met de exacte bestemming ook voor dezelfde afstand en frequentie. De reis van Amsterdam naar Luxemburg, een afstand van ruim 400 km, duurt bijvoorbeeld 7 uur per trein en 5 uur per auto. Voor een verdere reis (500 km) naar Parijs is dat omgekeerd: per auto 7 uur en per trein 4 uur. In 8 uur treinen kun je naar Marseille, een afstand van 1230 km; drie keer zo ver als naar Luxemburg maar slechts een uurtje langere reistijd. Aangezien er aanwijzingen zijn dat het aandeel trein niet lineair afhangt van de reistijd, is het middelen van de reisduur over een zone als Spanje, met een groot aandeel naar de per trein onbereikbare Canarische Eilanden, waarschijnlijk een onderschatting van de mogelijkheden van de trein. Uiteraard wordt het model in het basisjaar hiervoor gecorrigeerd, maar doordat de mechanismen minder goed zijn, zullen zeker bij grotere veranderingen, de resultaten in de toekomst onbetrouwbaar worden. Nog per trein en auto bereikbare plekken zijn Barcelona (circa 12 uur per trein) en Madrid (15 uur), maar naar Malaga wordt dit 26 uur, met name door een overnachting in Madrid. Om een enigszins goeie schatting van het potentiële aandeel van de auto en de trein te kunnen maken, zal je dus tot afstanden van zo'n 1000-1500 km veel gedetailleerder data en HB-matrix nodig hebben in het basisjaar. Voorts hebben we in toenemende mate weer nachttreinen waarvoor de reistijd een sterk andere waardering heeft. Hoewel het totale aandeel van nachttreinen klein is, is het van belang om dit wel goed te modelleren. Er is veel maatschappelijke en politieke aandacht voor nachttreinen en hun aantal is de afgelopen jaren weer sterk toegenomen. Wanneer AEOLUS de nachttrein niet ziet, worden ze ook onzichtbaar voor beleidsmakers en kan op de AEOLUS gene rol spelen in de maatschappelijke discussie op dit onderwerp. Een ander punt is dat een nachttrein per etmaal 200-600 pax kan meenemen op een bepaalde route en dat betekent dat het op die specifieke route een relevant aandeel kan verkrijgen met gevolgen voor onder andere het luchtvaartnetwerk.

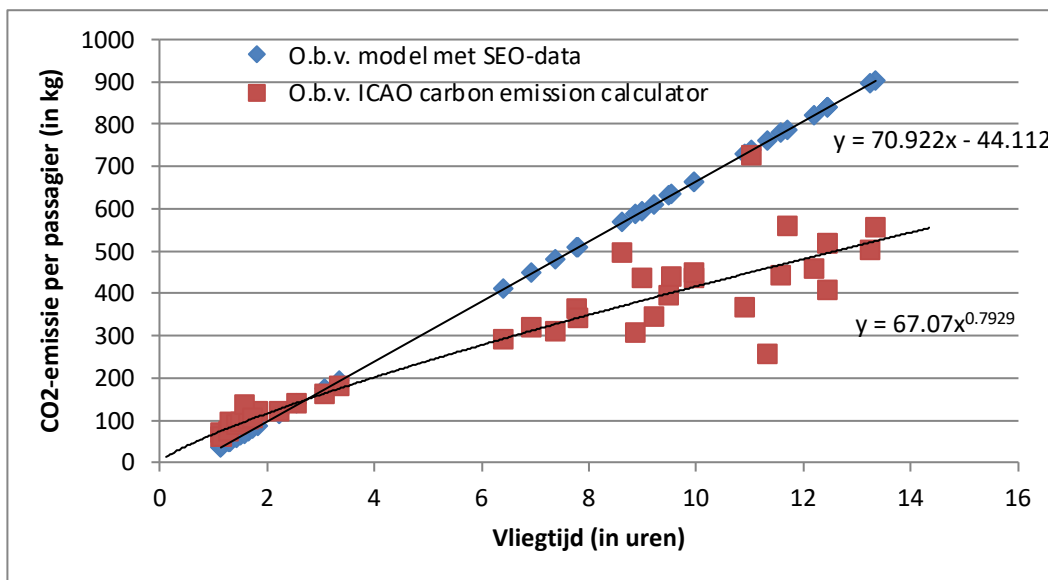
Een ander punt is het (waarschijnlijk) ontbreken van de grote variabiliteit in prijzen waarbij de gemiddelde prijs niet persé hetzelfde resultaat geeft als de opgetelde vraag voor verschillende prijsmarkten (geldt dat niet ook voor LCC versus *legacy airlines*?). Hoewel de huidige aandelen van de trein niet groot zijn, zal AEOLUS niet in staat zijn om, zelfs bij sterke afname van de luchtvaartcapaciteit, de effecten daarvan op alternatieve vervoerwijzen en bestemmingen te laten zien. Deels komt dat ook omdat binnenlandse reizen niet in het model zijn opgenomen. Een en ander betekent dat het berekende belang van de luchtvaart in AEOLUS overschat zal worden.

2.3 Milieuberekeningen

2.3.1 CO₂-emissies luchtvaart

AEOLUS gaat uit van een wat ongebruikelijke formule voor het berekenen van de CO₂-emissies per passagier. Waar dergelijke emissies normaal gesproken een functie zijn van de afstand, het type

vliegtuig, de bezettingsgraad en een aantal kleinere invloeden als variabele weersomstandigheden en afwijkingen van het meest optimale vlieg-pad en *speed schedule* vanwege beperkingen door air traffic control, gaat AEOLUS deels uit van een lineair verband met de vliegduur (Significance et al. 2019). Dit verband is afgeleid door SEO op basis van feitelijke vliegtuigemissies per vliegtuigtype (representatieve type per AEOLUS categorie) met behulp van het BADA modelpakket (Eurocontrol 2021). Dat laatste wordt in veel modellen gebruikt en kan als correct beschouwd worden. Door echter de vliegtijd in de formule op te nemen wordt ook een extra onzekerheid ingevoerd: de vertaling van afstand naar vliegduur die een functie is van een aantal variabelen als ATC, weer, etc. Significance et al. (2019) meldt zelf ook dat er een fors verschil bestaat tussen het SEO-model en bijvoorbeeld de ICAO calculator (ICAO 2018), zoals Figuur 1 duidelijk laat zien. Daarbij moet wel worden aangetekend dat de ICAO Calculator is gebruikt met Economy class, terwijl SEO van het gemiddelde uitgaat voor alle klassen samen. Wanneer beiden op basis van het gemiddelde zouden zijn genomen wordt het verschil denk ik ongeveer de helft kleiner. Uiteindelijk gebruikt AEOLUS een mix van beide modellen, maar hoe dat precies werkt is me niet helemaal duidelijk.

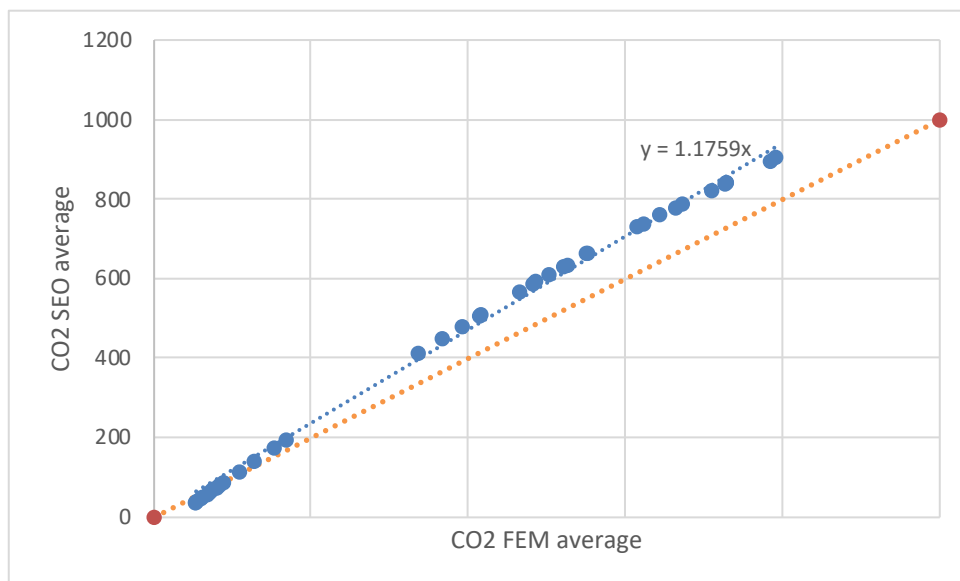


Figuur 1: Vergelijking tussen SEO en ICAO emissies op basis van de vliegtijd (bron: Significance et al. 2019).

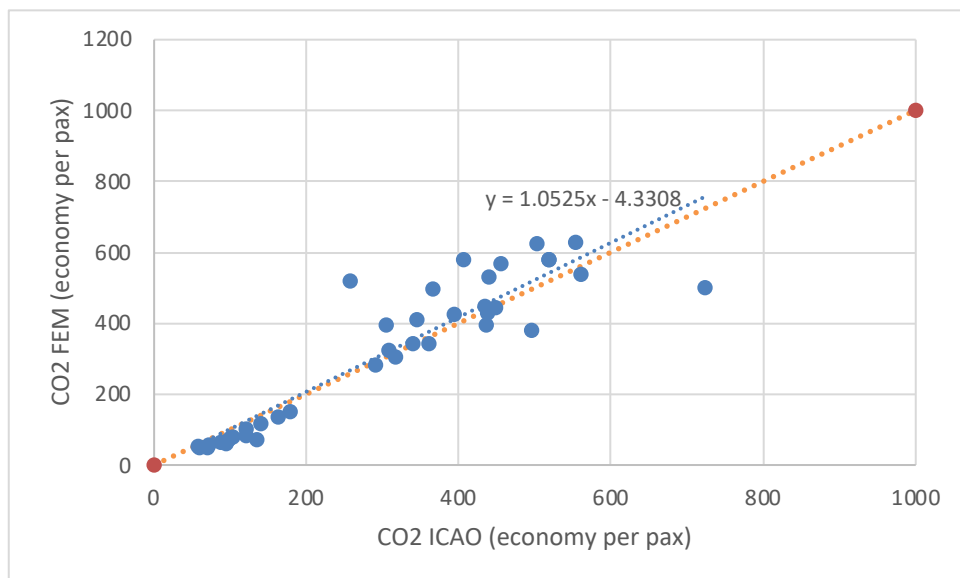
Onlangs heeft het BUAS CSTT het Flight Emissions Model (FEM) ontwikkelt voor een studie voor MilieuCentraal. Met dit model zijn verbanden afgeleid tussen afstand en emissiefactoren per pax-km en per stoel-km (Peeters et al. 2021a). Deze studie is gebaseerd op een steekproef van 5470 vluchten vanaf de vijf Nederlandse luchthavens in 2019. Van elke vlucht waren de bestemming, het vliegtuigtype en de luchtvaartmaatschappij bekend. De data zijn geleverd door FlightRadar24 (2021). Per vliegtuigtype is de totale CO₂ emissie voor de betreffende vlucht berekend met behulp van een rekentool (het Small Emitters Tool, Eurocontrol 2020) dat luchtvaartmaatschappijen voor het Europese Emissiehandel Systeem (ETS) mogen inzetten. Voorts is voor elke vlucht uitgezocht hoeveel stoelen het gebruikte vliegtuig per zitplaatsklasse heeft en wat de gebruikelijke vrachtcapaciteit is. Van elke luchtvaartmaatschappij is de gemiddelde bezettingsgraad en vrachtbelading per vliegtuigklasse (*narrow* en *wide body*) bepaald op basis waarvan de CO₂-emissies van de vlucht verdeeld kunnen worden over de vier onderscheiden zitplaatsklassen (Economy, Economy Plus, Business en First) en tussen vracht en passagiers. De resultaten zijn gebruikt door MilieuCentraal en zullen worden overgenomen door CO₂emissiesfactoren.nl. ook zijn ze gebruikt in een PbL-studie (Peeters et al. 2021b).

Op mijn verzoek heeft Significance data aangeleverd die zijn gebruikt door SEO om tot het verband tussen vliegtijd en CO₂-emissies te komen. Ik heb deze data gebruikt voor een paar vergelijkingen

tussen ons model (het FEM), AEOLUS en data van de ICAO emissie-calculator (ICAO 2018). Figuur 2 laat duidelijk zien dat er een met de afstand toenemende overschatting is door het SEO-model ten opzichte van het FEM. Alleen bij de kortste afstanden is er een onderschatting. Het verschil tussen ICAO en FEM is veel kleiner zoals Figuur 3 laat zien.



Figuur 2: Vergelijking tussen de CO₂ berekend door (Peeters et al. 2021a) en die van AEOLUS voor het gemiddelde voor alle zitplaatsklassen.

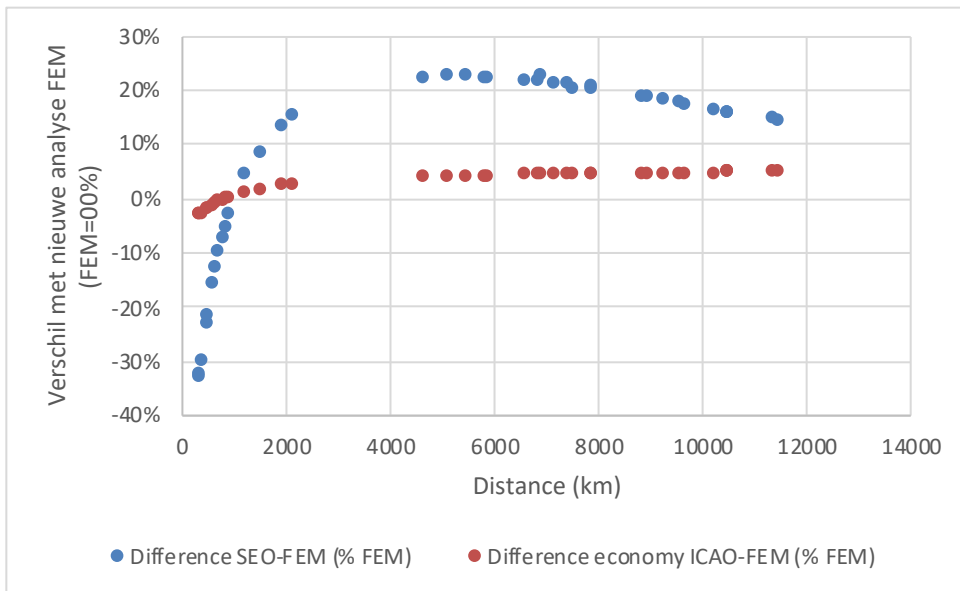


Figuur 3: Vergelijking tussen de CO₂ berekend door (Peeters et al. 2021a) en die van ICAO (ICAO 2018) voor het gemiddelde voor economy class.

Om beter te zien hoe de afwijkingen verlopen laat Figuur 4 zien dat zowel AEOLUS als ICAO een onderschatting laten zien tot een vluchten over een kleine duizend kilometer en een overschatting daarboven. Echter, waar ICAO tussen de -3% en +4% verschilt met FEM, lopen die verschillen voor AEOLUS op van -34% tot +21%. Niettemin vindt Significance et al. (2019) dat de totale berekende CO₂ emissies vanaf de Nederlandse luchthavens goed overeenkomen met een extrapolatie van een

berekening door CE Delft. Het kan zijn dat de vele korte vluchten het overschot op de wat minder talrijke lange vluchten deels compenseren.

Ook al is het totaal in orde, de verdeling ervan over korte en lange vluchten is dat zeer waarschijnlijk niet. Daardoor zullen de kosten van CO₂ of brandstofbelastingen op de kortste vluchten mogelijk met meer dan 30% worden onderschat en bij lange vluchten overschat. Dat is van belang voor het berekende aantal vluchten omdat juist op deze korte afstanden alternatieve vervoerwijzen een rol kunnen spelen en de vraag dus meer elastisch is. En het aantal vluchten is een cruciale factor bij de geluidsberekeningen. Het vervangen van lange vluchten door wat kortere, het effect dat van een CO₂-heffing te verwachten is, zal dus mogelijk worden overschat.



Figuur 4: vergelijking in procentuele afwijking tussen de resultaten van het FEM (Peeters et al. 2021a) en ICAO (ICAO 2018) respectievelijk AEOLUS.

2.3.2 Vliegtuigklassen en emissiefactoren

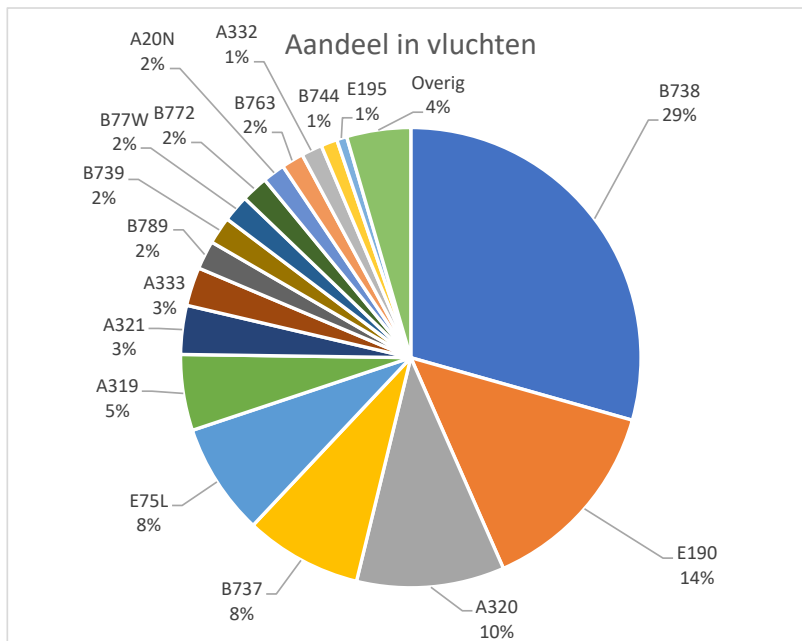
AEOLUS kent in totaal 63 vliegtuigklassen, namelijk 9 grootteklassen en 7 technologieklassen. De technologieklassen zijn verdeeld op basis van de gecertificeerde geluidsniveaus. Vervolgens zijn allerlei vliegtuigtypen per klasse-cel benoemd. Hoewel dit in andere modellen, bv Aero van NLR, ook ongeveer zo gaat, is het de vraag of dit wel verstandig is en niet gewoon van de belangrijkste werkelijke vliegtuigtypes uitgegaan kan worden.

Tijdens de presentatie van Significance is het volgende (verouderde) overzicht getoond:

Overzicht GT-klassen (verouderd)

		Technology classes (T)				
		1	2	3	4	5
Size classes (G)	1	jetstream 31	jetstream 31	jetstream 31	jetstream 31	jetstream 31
	2	Fokker 28	Fokker 27	Fokker 100	Fokker 70	Fokker 70 -3 dB(A)
	3	B737-200	DC -9-30 -3 dB(A)	B737-300 HWFAP	BAE 146-200	BAE 146-200 -3 dB(A)
	4	B727-200	B737-300	B737-300 HWFAP	MD-90	MD-90 -3 dB(A)
	5	DC-8-63	A310-203 +3 dB(A)	A310-203	B757-200/ RB211-535E4	B757-200/ RB211-535E4 -3 dB(A)
	6	DC-8-63	B767-300ER +3 dB(A)	B767-300ER	B767-300ER -3 dB(A)	B767-300ER -6 dB(A)
	7	DC-10- +3dB(A)	DC-10-30	DC-10-30- -3 dB(A)	B777-200	B777-200 -3 dB(A)
	8	B747-200B	B747-300	B747-400	B777-300ER	B777-300ER -3 dB(A)
	9			B747-400	B777-300ER	B777-300ER -3 dB(A)

Van de hier getoonde 43 passagiersvliegtuigen (ik negeer de zakenjets omdat die een nogal heel klein aandeel in de vluchten, de emissies en het geluid hebben) zijn er nog maar 11 die op Nederlandse luchthavens vliegen. Ik ga ervan uit dat in het huidige AEOLUS nieuwere types in de technologieklassen staan. De vraag is echter waarom van al die klassen uitgegaan wordt? In Figuur 5 geef ik de belangrijkste waargenomen vliegtuigtypen weer.



Figuur 5: Aandeel vluchten per vliegtuigtype (exclusief zakelijke jets) op alle 5 Nederlandse luchthavens volgens FEM (Peeters et al. 2021a)

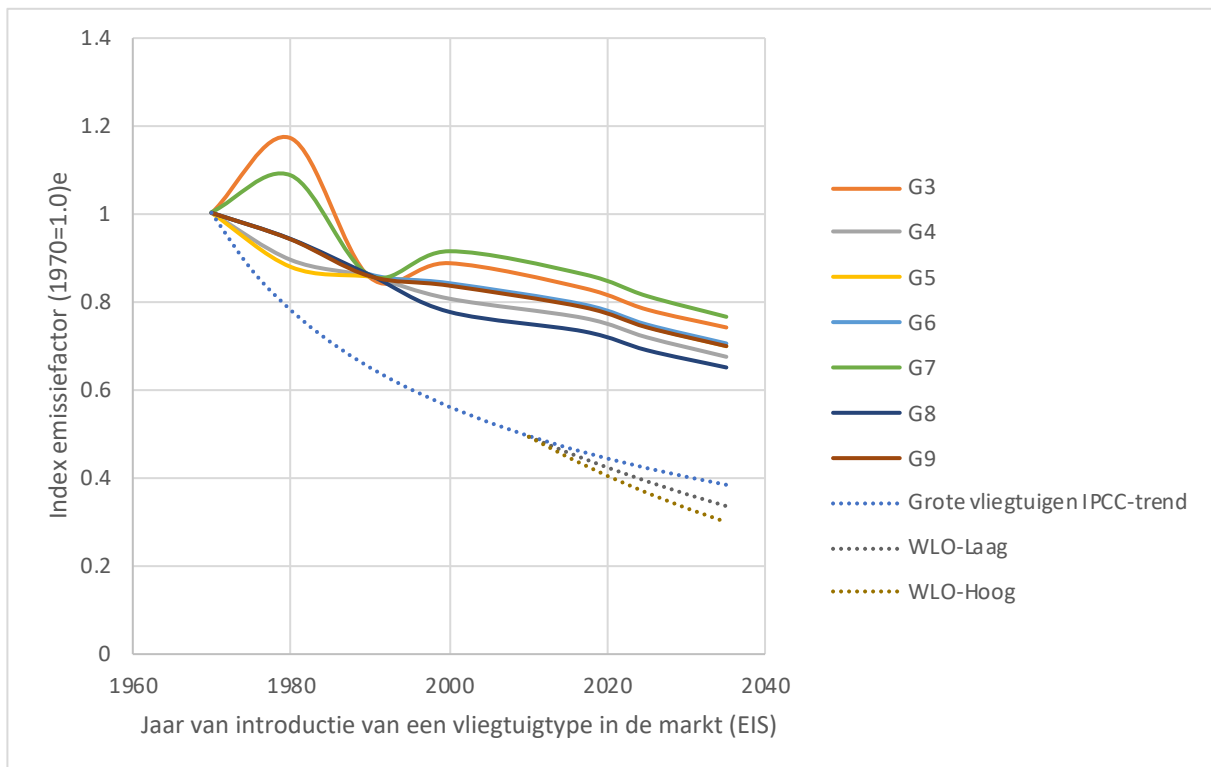
Waarom wordt niet gewerkt met het echte vliegtuigtypen en hun specifieke karakteristieken? Dat zijn er maar 43, dus feitelijk minder dan het huidige aantal klassen. Bovendien dek je met slechts 15 types al 95% van alle vluchten. Sommige zeldzame types hebben kenmerken die zo dicht bij veelvoorkomende typen dat je die bij het veelgebruikte type zou kunnen tellen.

De vlootontwikkeling is in AEOLUS gebaseerd op twee mechanismen: de vervanging van oude types door nieuwe en de groei (of krimp?) van de luchtvaart. Door de aanname dat oude vliegtuigen altijd worden vervangen door een type uit een nieuwere technologieklasse en nieuwe vliegtuigen altijd van de hoogst beschikbare technologieklasse zijn, wordt de voortdurende verbetering van de brandstofefficiency en vermindering van de geluidsproductie bepaald. Althans, dat zou ik verwachten.

Door het werken met technologieklassen wordt de verdeling van de vloot over technologieklassen onder andere een functie van de groeisnelheid, naast de vervangingsstrategie van de luchtvaartmaatschappij. De vraag is of AEOLUS de groei op de Nederlandse luchthavens gebruikt voor het 'groei-effect', de wereldwijde groei of een bepaalde mix daarvan. Daar kon ik niet met zekerheid helderheid over krijgen. Toch maakt dat wel uit. Stel bv dat Schiphol een deel van de hub-functie van Frankfurt afsnoept, dan zou AEOLUS in het eerste geval een flinke groei op Schiphol veronderstellen en dus vlootvernieuwing, terwijl er in heel Europa een lagere groei is en die vlootvernieuwing in dat geval dus in AEOLUS wordt overschat en daarmee de emissies worden onderschat.

Een ander punt is dat vlootvernieuwing in werkelijkheid in 'golven' komt: niet elk nieuw gekocht vliegtuig is beter dan het oude. Wel elk nieuw vliegtuigtype, maar vanaf dat het op de markt komt blijft de technologie constant totdat 1-3 decennia later door een ander type wordt vervangen. Wanneer de productietijd van een vliegtuigtype de economische levensduur bij een luchtvaartmaatschappij overschrijdt kan bij vernieuwing hetzelfde of een vergelijkbaar vliegtuigtype wordt aangeschaft dat geen of zeer weinig efficiencywinst oplevert. Kortom, de verschillen tussen hoge en lage groei in emissies worden door het huidige AEOLUS gedempt.

Maar er is nog iets aan de hand. Op basis van de toepassing van AEOLUS voor de WLO-scenario's (Romijn et al. 2016) is te zien dat de technologieklassen modernere vliegtuigtypen bevatten namelijk vanaf technologieklasse TE de huidige nieuwste generatie die vanaf 2017 op de markt is gekomen (de NEO's en MAXen). Uit tabel 5.7 van Romijn et al. (2016) blijkt dat de verkoop van de verschillende technologieklassen zo'n 10-15 jaar overlappen. Dit lijkt aan de hoge kant omdat vaak binnen vijf jaar een oud type uit productie gaat als er een nieuw type op de markt is gekomen. Een plot van de kruisemissies per EIS-jaar (*entry into service*) en voor de grootteklassen G3 t/m G9 laat zien dat daar merkwaardige schommelingen in zitten en zelfs toenames van de emissies (zie Figuur 6). De vraag is of die technologieklassen ook een andere gemiddelde capaciteit van de vliegtuigen veronderstelt per grootteklasse. De schommelingen laten zich moeilijk verklaren en de trends zijn sowieso te gering vergeleken met de door NLR en BUAS ontwikkelde IPCC -trend in Figuur 6.



Figuur 6: Index van de in AEOLUS veronderstelde emissiefactoren (op basis van door Significance op verzoek aangeleverde data) voor kruisvlucht vergeleken met de 'IPCC-trend' volgens (Peeters et al. 2007) op basis van gegevens van Rolls-Royce uit (Penner et al. 1999) voor grote vliegtuigen.

Ook blijkt dat in de WLO-scenario's het PbL eigen aannames doet voor de efficiencyverbeteringen in de luchtvaart (Romijn et al. 2016). Deze aannames variëren voor het Hoog en Laag scenario en staan ook in Figuur 6. Deze lijken toch echt te optimistisch vergeleken met de technologische ontwikkelingen op basis van vele decennia ontwikkelingen in straalverkeersvliegtuigen. Mogelijk zitten hier andere effecten in als snelle groei van de vloot waardoor de gemiddelde EIS-leeftijd van de vliegtuigen in de vloot afneemt en doordat wellicht meer stoelen in hetzelfde vliegtuig worden geplaatst. Maar dergelijke groei-gebaseerde effecten zullen altijd worden gevolgd door ene periode van stagnatie met weer toenemende EIS-leeftijd van de vloot.

2.3.3 CO₂-emissies voor andere vervoerwijzen

AEOLUS berekent de emissies voor alternatieve hoofdvervoerwijzen door simpelweg de afstand tussen de zones te vermenigvuldigen met het aantal reizigers en een emissiefactor. De documentatie over AEOLUS geeft echter geen informatie over de gebruikte emissiefactoren, noch over de afstanden die voor deze alternatieve vervoerwijzen tussen de zones zijn gekozen. Ook de bron van de basisdata voor de volumes is me niet helder. Het is bekend dat meerdaagse mobiliteit (dus met ten minste één overnachting) niet of slecht in vervoersstatistieken en modellen is opgenomen). Zoals de eerdere voorbeelden voor Achterland-Spanje laten zien is een gemiddelde afstand voor alternatieve modaliteiten niet realistisch bij dergelijke omvang van zones. Waar voor de luchtvaart veel detail is aangebracht tussen allianties en luchtvaartmaatschappijen met ieder hun eigen kenmerken, is dat bij de alternatieve vervoerwijzen niet gedaan.

Ook bij de auto is er een variatie in emissiefactoren doordat de bezettingsgraad varieert (tot een factor 5 verschil) en bovendien verschilt van die voor dagelijks vervoer. Uit data gebruikt door Neelis et al. (2020) blijkt dat zakelijke reizigers gemiddeld met bijna twee personen een auto delen, terwijl uit Eijgelaar et al. (2021) blijkt dat dit bijna drie is voor niet-zakelijke reizigers voor meerdaagse reizen.

Daarnaast varieert het type auto en moet er rekening mee worden gehouden dat wanneer er meer auto's in een huishouden beschikbaar zijn, men meestal de grootste auto voor de vakantie gebruikt. Wij schatten dat laatste effect op ongeveer 10%. Dus de emissiefactor zal hoger zijn dan het parkgemiddelde voor langere afstanden van het Nederlandse wagenpark. Wanneer AEOLUS met dit soort zaken nog geen rekening houdt, is het aan te bevelen te bekijken of en hoe dat wel gedaan kan worden.

Bij het spoor is de variabiliteit in emissie-factoren nog veel groter. Dat komt omdat een toenemend aantal landen hun elektrische treinen op 100% duurzame stroom laten rijden met emissies die vrijwel nul zijn. Het gaat bijvoorbeeld om Nederland, de Duitse ICE, Frankrijk, Zwitserland, Oostenrijk, Noorwegen en Zweden. Daarnaast levert het trekken van een caravan substantieel meer emissies op. Daartegenover staat dat bijvoorbeeld in het Verenigd Koninkrijk, Denemarken en Polen nog veel op kolengestookte elektriciteit wordt gereden en met dieseltreinen. Het is dus in ieder geval van belang om de emissiefactoren per zone te laten variëren.

2.4 Veranderend beleidsklimaat luchtvaart: grote veranderingen op til?

AEOLUS is in beginsel een 'vrije-markt' model: het gaat uit van een vrije markt die gedicteerd wordt door prijzen, reistijden en frequenties. Dat blijkt wel uit het gegeven dat de capaciteitsbeperkingen die door het Nederlandse geluidbeleid ontstaan, worden gemodelleerd via een schaduwprijs optimalisatie en niet een gedragsmodel voor het gedrag van allianties, luchtvaartmaatschappijen en luchthavens. Echter, het Nederlandse milieubeleid zal in toenemende mate restricties opleggen aan het aantal slots of de vrijheid om deze te gebruiken. Dat kan problematisch worden. Wanneer de Luchtvaartnota wordt ingevoerd komt daar ook een beperking bij vanwege het in te voeren CO₂-emissieplafond per luchthaven. Hoe een dergelijke maatregel er uit zal gaan zien en op basis van welk criterium is nog onderwerp van discussie (zie bijvoorbeeld Peeters et al. 2021b). AEOLUS vangt dit op door van schaduwpreizen uit te gaan, die worden verhoogd totdat de vraag past bij de (beperkte) capaciteit. Hoewel dit voor niet al te grote capaciteitsbeperkingen zeker een elegante methode is, denk ik dat het lastig wordt met het toenemende aantal beperkingen. Ten eerste levert een schaduwprijs mogelijk een andere herverdeling van vluchten, tussen vliegen en andere vervoerwijzen en de herverdeling van bestemmingen en herkomsten (voor niet-Nederlanders en transfer passagiers). Veel hangt bijvoorbeeld van af van welke partij en de wijze waarop deze partij aan zo'n CO₂-plafond moet voldoen. Als dat de luchtvaartmaatschappijen zijn, dan zullen deze vermoedelijk proberen om te tankeren – brandstof naar Nederlandse vliegvelden invliegen zodat minder getankt hoeft te worden – of, als de *metric* niet brandstof getankt is maar brandstof werkelijk gebruikt, de langste vluchten vanaf Schiphol te breken via een meer nabijgelegen hub. Dat soort reacties worden waarschijnlijk niet met een schaduwprijs herverdeling gerealiseerd. Wanneer de luchthaven verantwoordelijk wordt zou men wellicht kunnen ingrijpen in het hub-management en kunnen proberen om, anticiperend op het overschrijden van het CO₂-plafond, een beperkt aantal van de hubs voor de verste vluchten met de grootste vliegtuigen te ontmoedigen.

Ook zal de schaduwprijs een bepaald gevolg hebben voor de herverdeling van reizen naar andere bestemmingen en vervoerwijzen, die niet in lijn is met de capaciteitsbeperkingen zoals de maatregel die oplegt. Daardoor is het denkbaar dat de gevolgen van dergelijke maatregelen voor het reisgedrag, het gebruik van andere vervoerwijzen, en andere herkomstmarkten en bestemmingen onjuist in beeld worden gebracht. Dit maakt AEOLUS in toenemende mate minder geschikt om beleidsopgaven uit te werken, waarbij een toenemend aantal voorbewerkingen voor invoer of nabewerkingen van de resultaten nodig zal zijn.

De COVID-crisis, de klimaatcrisis en de meer algemene grondstoffencrisis maakt dat de kans toeneemt op grotere en snellere veranderingen in beleid. De vraag is in hoeverre AEOLUS die wel kan volgen met het schaduwprijsmechanisme. Dat baart me zorgen. Wat men kan proberen is om de gevolgen van de lock-downs in 2020-2021 met behulp van de schaduwpreizen te modelleren en te bezien hoe dicht AEOLUS bij de werkelijke gevolgen daarvan uitkomt.

3 Is AEOLUS fit for purpose?

3.1 Inleiding

Per gevraagde toepassing beschrijf ik hieronder wat de mogelijkheden en beperkingen zouden kunnen zijn. In het algemeen lijkt AEOLUS me gedetailleerd genoeg om binnen de luchtvaartsector zelf goeie verdelingen weer te geven en geleidelijke ontwikkelingen daarin. Maar AEOLUS lijkt minder geschikt om grotere veranderingen in de markt als gevolg van de op stapel staande klimaat-, gezondheidsbeleid en sterke variaties in grondstof- en energieprijzen in de wereld goed te vangen. Voor dat laatste zullen relatief sterke voorbewerkingen nodig zijn om aannames aan te passen en nabewerkingen van de resultaten om de tekortkomingen van AEOLUS op te vangen.

3.2 Scenario studies planbureaus (De Welvaart en Leefomgeving Scenario's - WLO)

AEOLUS wordt gebruikt voor bijvoorbeeld de doorrekening van de verkiezingsprogramma's (Folkert et al. 2021) op onder andere luchtvaartbeleid, het effect van internationaal klimaatbeleid op de Nederlandse luchtvaart (Uitbeijerse et al. 2019) en bij de ontwikkeling van de WLO-scenario's ten behoeve van planvorming in het beleid (Romijn et al. 2016). In sommige gevallen worden analyses indirect op AEOLUS gebaseerd, namelijk via de WLO-scenario's (bijvoorbeeld Schuur et al. 2018, Uitbeijerse et al. 2018). De eisen die gesteld kunnen worden aan dergelijk gebruik van het model hebben te maken met de onderliggende data, de ingevoerde aannames en de modelmechanismen en algoritmen.

In beginsel is AEOLUS wel geschikt voor dit soort berekeningen als het min of meer trendmatige scenario's betreft waarin grote veranderingen in vervoerwijzekeuze, bestemmingskeuzen en herkomstmarkten geen rol spelen. Wanneer echter grote veranderingen zullen plaatsvinden zoals bijvoorbeeld veroorzaakt door de Corona-crisis of door een stringent klimaatbeleid, dan zullen nut en betrouwbaarheid van AEOLUS fors afnemen. De meer fundamentele vraag is wellicht in hoeverre prognosticerende modellen onder sterke beleidsscenario's überhaupt wel betrouwbaar kunnen zijn onder zulke omstandigheden. Wellicht betekent dit dat voor scenario's met grote veranderingen vooral de samenhang in data voor het basisjaar en eventueel tot en met het jaar waarin de studie wordt gedaan nuttige inzichten kunnen verlenen, maar minder de herverdeling van reizigers. Tot op zekere hoogte zullen vergelijkende exploratieve analyses wel inzicht kunnen geven in de samenhangen in het geheel voor zover die in AEOLUS zijn gemodelleerd.

3.3 Verkenningen zoals de Klimaat en Energie Verkenning

Door de enorme veranderingen die het klimaatbeleid op (zou) moeten leveren, onder andere 50% emissiereductie in 2030, 100% reductie in 2050, mogelijk een verviervoudiging van alternatieve brandstofkosten, restricties door het CO₂-plafond, is het de vraag of AEOLUS niet te veel alleen de luchtvaart zelf goed beschrijft. Het probleem daarvan is dat eventuele remmen op de groei van de luchtvaart volgens een luchtvaart-gecentreerd model vooral vraaguitval als uitkomst zal laten zien omdat eventueel vraagverschuivingen niet in het model zitten. Daardoor lijken bepaalde maatregelen mogelijk economisch relatief kostbaar, terwijl dat voor de gehele economie niet het geval hoeft te zijn door de vraagverandering bijvoorbeeld naar meer nabije herkomsten en bestemmingen en andere vervoerwijzen en binnenlandse reizen. Kortom, AEOLUS leidt potentieel tot overschatting van het economische belang van luchtvaart voor Nederland. Daarom acht ik AEOLUS vooralsnog minder geschikt voor dit soort verkenningen van grote veranderingen die op ons afkomen, tenzij er kritisch naar de resultaten wordt gekeken en deze waar nodig flink worden bewerkt op basis van inzichten die AEOLUS niet kan representeren. Additioneel zijn aanpassingen aan AEOLUS nodig om de emissieberekeningen niet alleen voor de hele sector, maar vooral ook in meer detail correct te krijgen en zo de effecten van brandstof en CO₂-heffingen beter te kunnen inschatten.

3.4 Effecten beleidsmaatregelen

3.4.1 Effecten prijsmaatregelen op vliegverkeer en netwerkqualiteit

Bij matige aanpassingen van prijzen en belastingen is AEOLUS zeker betrouwbaar. Maar bij de enorme veranderingen die mogelijk op ons afkomen, neemt die betrouwbaar snel af. Dat geldt zeker bij substantiële CO₂-heffingen en brandstofheffingen, mogelijk minder bij eenvoudige ticket- of transferbelastingen. De effecten van financiële maatregelen op modal shift en tot op zekere hoogte ook de verdeling over herkomsten en bestemmingen, lijken me met het huidige model minder betrouwbaar. De frequentie-elasticiteit lijkt me een minder sterk deel van het model en het lijkt me beter om het effect van frequenties in reistijden te verwerken en dus alleen met de tijd- en geldkosten te rekenen.

3.4.2 Capaciteitslimieten door aantal woningen binnen geluidscontouren.

Hier hangt alles af van de kwaliteit van de representatieve vloot en het buiten AEOLUS toegepaste geluidsmodel. Zie de opmerkingen daarover in paragraaf 2.3.2, waarmee AEOLUS mogelijk beter geschikt is te maken om de output te genereren waarmee externe geluidsmodellen goed uit de voeten kunnen.

3.4.3 Luchthavenbeleid en ontwikkeling regionale luchthavens

Onder de aanname dat de totale marktprognose klopt, is AEOLUS het meest geschikt voor het bepalen van dit soort luchthaven verdelingsvraagstukken.

3.4.4 Maatschappelijke Kosten Baten Analyse openstelling Lelystad

Lelystad is een niet-bestaande luchthaven in het basisjaar en derhalve niet gekalibreerd in het model. Het lijkt mij een punt van aandacht of AEOLUS hiervoor geschikt is.

3.4.5 Effecten klimaatbeleid op de luchtvaart

Uitgaande van de voorgestelde luchtvaartnota, aangevuld met de maatschappelijk discussies hierover, gaat het hier met name om de SAF-bijmengverplichting, het CO₂-plafond, veronderstelde verbeteringen van de efficiency van luchtvaart door technologische en operationele ontwikkelingen en verschuivingen in de vraag en de vervoerwijzekeuze. In alle gevallen dienen de CO₂-berekeningen goed op orde te zijn. Daar is nog zeker een en ander aan te verbeteren. Met name het vervangen van de 63 vliegtuigklassen door werkelijke vliegtuigen plus aannames over de toegepaste capaciteit van allianties/luchtvaartmaatschappijen voor deze echte vliegtuigen, kan de berekening transparanter maken en in detail ook beter kloppend. De bijmenging vergt een voortdurende aanpassing van de aangenomen emissiefactoren en een aanpassing van de brandstofkosten. Het CO₂-plafond vergt een analyse van de mate waarin schaduw prijzen de werkelijk te verwachten gedragsveranderingen van luchthavens en luchtvaartmaatschappijen kunnen representeren, zeker wanneer deze plafonds na 2030 door zullen dalen tot nul in 2050/2070. De verschuivingen in de vraag en naar andere vervoerwijzen lijken me niet betrouwbaar genoeg in AEROLUS en vergen een additioneel model of additionele aanpak.

4 Aanbevolen verbeteringen

AEOLUS is een luchtvaartmodel en kan graduele veranderingen in de economie, de bevolking en luchtvaartbeleid redelijk goed representeren. Maar uit het voorgaande blijkt wel dat AEOLUS ook een aantal beperkingen kent. Deze liggen met name op het vlak van de 'totale reismarkt', de vervoerwijzekeuze, de CO₂-berekeningen en de marktontwikkeling onder sterke capaciteitsbeperkingen of andere grote veranderingen. Puntsgewijs wat gedachtenrichtingen voor verbetering:

1. **Totale reismarkt:** AEOLUS gaat nu uit van gedetailleerde data voor luchtreizigers en behandelt ook alleen de markten waar luchtreizigers substantieel op vliegen. Daardoor ontbreekt de gehele binnenlandse markt voor 'toerisme' - dat is elke reis waarin ten minste één overnachting zit - en die beslaat ruim 45% van alle vakantieritten van Nederlanders en een ook een aanzienlijk deel van de zakenreizen. De COVID-crisis heeft ons geleerd hoe massaal reisgedrag kan verschuiven van internationaal naar binnenlands en nu weer terug. Hoewel AEOLUS geen expliciete bestemmingskeuze kent, kent het wel relatieve groei en krimp binnen de HB-matrix. Wanneer je binnenlandse bestemmingen als zone toevoegt met nul luchtvaart maar de relevante aandelen voor de andere vervoerwijzen, dan zullen wegvallende internationale vluchten niet per definitie 'verdwijnen', maar ten minste deels verschuiven naar binnenlands met de bijbehorende vervoerwijze. Daarmee worden de 'kosten' van luchtvaartkrimp gedempt. Ook zou het goed zijn om nader onderzoek te doen naar de breedte van de bestemmingskeuze als mensen bijvoorbeeld op; internet surfen of tijdens de jaarlijkse vakantiebeurs in Utrecht. Een eenvoudige oplossing hiervoor is er niet maar een stevige test op de waarde van AEOLUS om de afgelopen twee jaar te reproduceren is tegelijk een mooie kans om AEOLUS echt goed te testen. Het betekent echter wel dat AEOLUS een minder betrouwbaar beeld levert van de gehele 'reismarkt' en daardoor bijvoorbeeld als invoer voor MKBA's minder geschikt is omdat de resultaten van AEOLUS waarschijnlijk bij bepaalde beperkingen van de luchtvaart een fors deel van de reizen laat 'verdampen', terwijl die reizen in werkelijkheid naar elders (andere afstanden ander vervoer) zullen gaan en dus nog altijd zullen bijdragen aan de economie. Pogingen om de reisafstanden, emissiefactoren, prijzen en vormen van alternatief vervoer beter te modelleren kunnen hierbij wel een eerste stap vormen.
2. **Vervoerwijzekeuze:** door de mate van detail in de luchtvaartmodule en het gebrek daaraan in de overige hoofdvervoerwijzen plus de te grove indeling in zones lijkt AEOLUS me minder geschikt om uitspraken te doen over de vervoerwijzekeuze. Dit is een inherent probleem van AEOLUS door de econometrische methodiek van het model. Ik zie weinig andere mogelijkheden dan een apart model om eventuele verschuivingen in de vervoerwijze te kunnen bepalen op basis van de uitkomsten van AEOLUS bij wijze van nabewerking en waarschijnlijk enigszins iteratief.
3. **Vlootmodel:** het lijkt me verstandig om de vloot voortaan te baseren op de werkelijke gebruikte vliegtuigtypen en daarvan een beperkt aantal dat zeg 95% van de vluchten dekt. De gegevens zijn eenvoudig te verzamelen van Schiphol, van Eurocontrol of zelfs van Flightradar24. Wat daaraan moet worden toegevoegd is het aantal stoelen per vliegtuig van elke luchtvaartmaatschappij. Peeters et al. (2021a) geeft daarvoor een werkbare methode die in een paar dagen is uit te voeren. Op die manier heeft men veel exacter inzicht in de capaciteit dan met de huidige op 63 vliegtuigtypeklassen gebaseerde methode. Voor toekomstige ontwikkelingen kan uitgegaan worden van de jaarlijkse Outlooks van Airbus (2018), Boeing (2021) en modellen die door ICAO CAEP, de milieuwergroep van ICAO, worden gebruikt (BADA, Campbell-Hill). Daarmee kan ook aangesloten worden bij werkelijke vlootvernieuwingen zoals die nu plaatsvinden en cyclussen daarin.

4. **CO₂-emissies:** hier zijn zeker mogelijkheden om het AEOLUS-model te verbeteren. Die bestaan eruit om zo mogelijk de bovenstaande vlootaanpassing toe te passen, maar vooral door uit te gaan van de technologische ontwikkeling van vliegtuigen als functie van het EIS jaar volgens het in 2.3.1 beschreven IPCC-trendmodel en gebruik te maken van de gedetailleerde emissiefactoren als functie van de afstand zoals die voor vluchten vanaf Nederlandse luchthavens onlangs zijn gerapporteerd (Peeters et al. 2021a). Ook de emissies van andere vervoerwijzen behoeven een scherpe aanpassing, maar die is alleen mogelijk wanneer meer detail in het modelleren van de vraag naar alternatieve vervoerwijzen wordt gestoken.
5. **Grote veranderingen en sterke capaciteitsbegrenzings:** het is de vraag of AEOLUS voor dit soort situaties geschikt is te maken.

Literatuur

- Airbus (2018) *Global Networks, Global Citizens. Global Market Forecast 2018-2037*. Paris: Airbus S.A.S.
- Boeing (2021) *Commercial market outlook 2020-2039*. Seattle: Boeing Commercial Airplanes. Marketing.
- Eijgelaar, E., Peeters, P.M., Neelis, I., de Bruijn, K. & Dirven, R. (2021) *Travelling large in 2019. The carbon footprint of Dutch holidaymakers in 2019 and the development since 2002*. ISBN: 978-90-825477-6-4 Breda: Breda University of Applied Sciences in collaboration with NBTC-NIPO Research.
- Eurocontrol (2020) *Small emitters tool*. Online documents at URL <https://www.eurocontrol.int/tool/small-emitters-tool> [08-07-2020].
- Eurocontrol (2021) *Base of aircraft data. Realistically model the performance of any aircraft*. Online documents at URL <https://www.eurocontrol.int/model/bada> [01-07-2021].
- FlightRadar24 (2021) *About Flightradar24*. Online documents at URL <https://www.flightradar24.com/about> [20-02-2021].
- Folkert, R., Hilbers, H., Schilder, F., Schouten, M., Tiktak, A., Boezeman, D., Hekkenberg, M. & 't Hoen, M. (2021) *Analyse Leefomgevingseffecten. Verkiezingsprogramma's 2021-2025 CDA, D66, GroenLinks, SP, PvdA, ChristenUnie. Effecten op: Mobiliteit & bereikbaarheid, Klimaat & energie, Landbouw, voedsel&natuur en Wonen*. The Hague: PBL.
- Gillen, D. (2016) Aviation economics and forecasting. *Air Transport Management: An international perspective*, 23.
- Grebe, S., Eggers, L. & van Eck, G. (2020) *AEOLUS Documentatie 1.0. Rapport voor Rijkswaterstaat WVL. Eindrapport*. Den Haag: Significance.
- ICAO (2018) *ICAO carbon emissions calculator. Version 11*. Montreal: ICAO.
- Neelis, I., Peeters, P. & Eijgelaar, E. (2020) *Travelling large, the carbon footprint of Dutch business travel in 2016. An air-based affair*. 9082547783.
- Peeters, P. & Reinecke, T. (2021a) *Berekening CO2-emissiefactoren voor Nederlandse luchtvaartpassagiers*. Breda: Centre for sustainability, tourism and transport.
- Peeters, P., Uitbeijerse, G., Geilenkirchen, G. & Peerlings, B. (2021b) *Fuel tankering in relation to a Dutch CO2 ceiling for aviation* The Hague: PBL.
- Peeters, P.M. (2017) *Tourism's impact on climate change and its mitigation challenges. How can tourism become 'climatically sustainable'?* Delft: Delft University of Technology Faculty of Technology, Policy and Management.
- Peeters, P.M. & Middel, J. (2007) Historical and future development of air transport fuel efficiency. IN Sausen, R., Blum, A., Lee, D. S. & Brüning, C. (Eds.) *Proceedings of an International Conference on Transport, Atmosphere and Climate (TAC); Oxford, United Kingdom, 26th to 29th June 2006*, 42-47. Oberpfaffenhoven: DLR Institut für Physik der Atmosphäre.
- Penner, J.E., Lister, D.H., Griggs, D.J., Dokken, D.J. & McFarland, M. (Eds.) (1999) *Aviation and the global atmosphere; a special report of IPCC working groups I and III*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Romijn, G., Blom, W. & Hilbers, H. (2016) *Mobiliteit - Luchtvaart Achtergronddocument WLO - Welvaart en Leefomgeving, Toekomstverkenning 2030 en 2050*. PBL-publicatienummer: 2373 Den Haag: PBL.
- Schuur, J., Blom, W. & Uitbeijerse, G. (2018) *Kennisscan Luchtvaartnota*. The Hague: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Significance & To70 (2019) *Actualisatie AEOLUS 2018 en geactualiseerde prognoses. Rapport voor Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat*. Den Haag: Significance, to70.
- Uitbeijerse, G. & Hilbers, H. (2018) *Ontwikkeling luchtvaart en CO2-emissies in Nederland. Factsheet voor de Omgevingsraad Schiphol*. The Hague: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Uitbeijerse, G., Schuur, J., Hilbers, H. & Geilenkirchen, G. (2019) *Parijsakkoord en Luchtvaart. Mogelijke gevolgen van het Parijse klimaatakkoord voor de omvang van de luchtvaart via Nederland*. PBL-publicatienummer: 3040 The Hague: PBL Planbureau voor de Leefomgeving.



Games



Media



Hotel



Facility



Built Environment



Logistics



Tourism



Leisure & Events



Mgr. Hopmansstraat 2
4817 JS Breda

P.O. Box 3917
4800 DX Breda
The Netherlands

PHONE
+31 76 533 22 03

WEBSITE
www.buas.nl

DISCOVER YOUR WORLD

-
-
- 3 Bijdrage Prof. Dr. Ben Derudder, Research Professor in City Science, Public Governance Institute, KU Leuven

Kritische analyse van opzet, documentatie en potentieel van AEOLUS

3 oktober 2021

Prof. Dr. Ben Derudder
Instituut voor de Overheid
KU Leuven

Context

In dit kort rapport wordt een analyse gemaakt van opzet, documentatie en potentieel van AEOLUS, een tool die in Nederland wordt toegepast voor:

- Scenariostudies van planbureaus
- Verkenningen zoals de Klimaat- en EnergieVerkenning
- Analyses van effecten beleidsmaatregelen, w.o.:
 - Effecten heffingen vliegverkeer op netwerk kwaliteit, kerosine taks, vliegbelasting, transferheffing
 - Capaciteitslimieten door aantal woningen binnen geluidscontouren. Gedetailleerde geluidsberekeningen worden buiten AEOLUS uitgevoerd
 - Luchthavenbeleid
 - Ontwikkeling regionale luchthavens
 - Maatschappelijke Kosten Baten Analyse openstelling Lelystad
 - Effecten klimaatbeleid op de luchtvaart

De bespreking heeft betrekking op volgende AEOLUS-documenten:

- Actualisatie AEOLUS 2018 en geactualiseerde luchtvaartprognoses (bij referentie in dit rapport: 'Actualisatie AEOLUS 2018')
- AEOLUS Documentatie 1.0 (bij referentie in dit rapport: 'AEOLUS Documentatie 1.0')
- Overzicht modelversies AEOLUS luchtvaartmodel (bij referentie in dit rapport: 'Overzicht modelversies')

Dit rapport (re)presenteert geen gedetailleerde analyse van het model, het gebruik ervan, de aannames die eraan ten grondslag liggen, of de documentatie. Het rapport (re)presenteert daarentegen wel een algemene appreciatie van het model en de documentatie, waarbij wordt stilgestaan bij de volgende overkoepelende vragen:

- (1) Is AEOLUS geschikt voor de vooropgestelde gebruiksdoelen – is het 'fit for purpose'? Wat zijn eventuele aandachtspunten?
- (2) Welke opties zijn er voor verdere verbetering van het model?

(3) Zijn er andere toepassingen van AEOLUS die nu al mogelijk zijn of dat worden na (haalbare) doorontwikkeling?

Een aantal van deze vragen en mogelijke antwoorden erop werden besproken tijdens (online) ontmoetingen op 14 september 2021 en 9 november 2021. Dit impliceert een iteratief proces waarbij sommige punten zijn aangepast, terwijl andere werden aangevuld of duidelijker gespecificeerd.

Dit rapport is in eerste orde gestructureerd volgens de drie hierboven opgelijste vragen. Er is echter ook nog een beknopt vierde deel met daarin een aantal losse observaties, opmerkingen, en bedenkingen.

Is AEOLUS geschikt voor de vooropgestelde gebruiksdoelen – is het ‘fit for purpose’? Wat zijn eventuele aandachtspunten?

Het voornaamste antwoord op deze beide vragen is zondermeer dat AEOLUS in het algemeen ‘fit for purpose’ is. Het model is veelzijdig en goed gedocumenteerd, en het is ook analytisch doordacht. Ook die assumpties en keuzes waarbij kritische vragen kunnen bij gesteld worden, zijn over het algemeen verdedigbaar en behoorlijk gedocumenteerd. Alhoewel de vraag of AEOLUS ‘fit for pupose’ is in eerste orde op zichzelf staat, schijnt het mij toe dat er wereldwijd weinig planbureaus en (overheids)administraties zijn die toegang hebben tot dergelijk gedetailleerd, veelzijdig, goed gedocumenteerd en gebruiksvriendelijk model. AEOLUS laat, kortom, niet alleen een brede waaier aan gebruiksdoelen toe, het maakt ook evidence-based beleidsvoering mogelijk op een niveau dat veel andere landen de Nederlandse Rijksoverheid zullen benijden.

Deze positieve appreciatie neemt echter niet weg dat bij lezing van de documentatie een drietal punten de aandacht trokken en m.i. verdere toelichting en/of meer analytische coherentie vragen.

Ten eerste, in de AEOLUS-documentatie 1.0 staat op p. 4 bij de “algemene aannames” het volgende: “Zones die in het basisjaar van een bepaalde luchthaven niet aangevlogen worden, zijn ook in de toekomst vanaf deze luchthaven niet bereikbaar.” Deze aanname lijkt enigszins in strijd met het feit dat Lelystad Airport wél reeds werd meegenomen in AEOLUS terwijl deze luchthaven nog niet geopend is voor commerciële vluchten.

Ten tweede, alhoewel er begrip is voor noodzakelijke vereenvoudigingen doorheen de modellen, kan vastgesteld worden dat de berekening van van de landzijdige Level of Service (LoS) – Actualisatie AEOLUS 2018, pp. 34-35 – wel erg vereenvoudigd is (zie volgende kernvraag voor meer details). Een minder vereenvoudigde berekening zou m.i. voor enkele van de gebruiksdoelen een goede zaak zijn.

Ten derde, alhoewel de (vereenvoudigde) definitie en operationalisering van ‘markten’ in veel gevallen verdedigbaar is, kan in sommige specifieke gevallen wel sprake zijn van incoherentie. In het geval van Spanje als ‘markt’, bijvoorbeeld, is er overduidelijk een onderscheid tussen vakantie-eilanden in het algemeen en Tenerife in het bijzonder enerzijds en dat deel van Spanje op het Iberische schiereiland anderzijds. Het bundelen van pakweg Madeira en Tenerife lijkt nuttiger dan die als onderdeel van een nationale/Iberische markt te beschouwen.

Welke opties zijn er voor verdere verbetering van het model?

In eerste instantie kunnen verbeteringen gezocht worden in de drie bovenstaande punten. Ten eerste, op dit moment is het dus zo dat "(z)ones die in het basisjaar van een bepaalde luchthaven niet aangevlogen worden ook in de toekomst vanaf deze luchthaven niet bereikbaar (zijn)" (AEOLUS-documentatie 1.0, p. 4). Indien dit zou aangepast worden en toekomstige veranderingen meer open-ended worden gedefinieerd, is er m.i. niet alleen coherentie met de behandeling van Lelystad, maar wordt het ook mogelijk om bepaalde beleidsmaatregelen en de ontwikkeling van (regionale) luchthavens te simuleren. Het een en het ander is terug te voeren tot de observatie dat op dit moment het bestaande vliegnetwerk de invoer vormt voor het model. Er zou kunnen nagedacht worden over alternatieve benaderingen, waarbij het bestaande netwerk wordt aangevuld met een aantal bestemmingen die toekomstpotentieel hebben in de breedst mogelijke betekenis van dat woord: er kan nagedacht worden over ontbrekende bestemmingen die specifiek relevant kunnen zijn voor Nederland of een benchmarking op basis van grote hubluchthavens in de (relatieve) nabijheid, zoals Frankfurt, Charles de Gaulle, of Heathrow.

Ten tweede zijn er in de passagiersmodule (Actualisatie AEOLUS 2018, pp. 34-35) zeker nog mogelijkheden voor een betere doorontwikkeling van de landzijdige LoS. De berekening van de reiskosten en -tijden lijkt immers (1) in grote mate vereenvoudigd (bv. voor de gewone trein en hogesnelheidstrein zijn de kosten en tijden uit de afstanden en reistijden voor de auto afgeleid, en wordt eenzelfde multiplier gebruikt), en (2) op grote schaal geaggregeerd (bv. er wordt dus impliciet verondersteld dat de treintickets in alle zones hetzelfde zijn). Kortom, in de toekomst zou een fijnmazigere bepaling van de landzijdige LoS mogelijk moeten worden, en indien dit de ontwikkelaars te ver leidt zou er toch minstens een (zelf)kritische bespreking moeten gemaakt worden van de foutenmarge die de vereenvoudigde berekeningen met zich meebrengen.

Ten derde, een differentiatie van bepaalde nationale markten volgens relevante fysiografische kenmerken zou de nauwkeurigheid en 'ground truth' van het model ten goede komen. Meer algemeen dient de relevantie van de gebruikte geografische operationaliseringingen beter geduid te worden: alle keuzes zijn lastig en imperfect, maar sommige keuzes zijn beter dan andere en (de documentatie van) het model is gebaat bij een zelfkritische reflectie.

Naast deze drie punten, die direct zijn afgeleid uit de meer algemene appreciatie van het model, zie ik nog een drietal andere mogelijkheden tot verbetering.

Ten eerste is het zo dat de milieueffectenmodule enigszins verrassend voorbijgaat aan het levendige debat rond de reële uitstoot/effecten van luchtvaart. Bijvoorbeeld: bestaat de mogelijkheid om ook de niet-CO₂ impact tijdens de CCD fase te berekenen en mee te nemen in de prognoses? Hieraan gerelateerd mis ik wat bijkomende argumentatie rond het niet meenemen van een Radiative Forcing Index (RFI) of equivalente metriek. Op zich is dit (nog) niet opnemen verdedigbaar gezien het lopende debat hieromtrent (met duidelijke voor- en tegenstanders), maar een meer uitgebreide kadering/motivatie lijkt toch welkom, al was het maar om eindgebruikers via de documentatie te wijzen op dit debat en haar (eventuele) implicaties. Zie ook de rapporten van het Stockholm Environment Institute (SEI, [Kollmuss & Myers Crimmins, 2009](#), p. 35), het Breda Centre

for Sustainability, Tourism and Transport (CSTT, [Eijgelaar et al., 2013](#), p. 18-19), alsook bijvoorbeeld [Jungbluth & Meili \(2019\)](#) en [Kaivanto & Zhang \(2017\)](#).

Ten tweede, en gerelateerd met het vorige. In de Actualisatie van AEOLUS 2018 staat op p. 76: “Het is voorzien om bij de verdere doorontwikkeling van het AEOLUS model de berekening van de CO₂ nog gedetailleerder te analyseren en verder te verbeteren.” Het lijkt aangewezen om deze erg algemene toekomstvisie nu reeds wat verder te specificeren en documenteren, want daar bestaat zeker genoeg kennis rond. En dus: welke invloedfactoren zullen in de toekomst nog geïmplementeerd worden? Een aanvullende of alternatieve benadering kan erin bestaan om bestaande vloot die de luchthavens aandoet (die gegevens lijken beschikbaar) te combineren met de wetenschappelijke literatuur ter zake (bv. [Yu et al., 2020](#)).

Ten derde is er wat onduidelijkheid in het deel over de Vrachtmodule over de gehanteerde handelsselasticiteit. In sectie 6.1.3 van Actualisatie van AEOLUS 2018 rijst bijvoorbeeld de vraag of (in de toekomst) ook de remmende factoren kunnen gemodelleerd worden in AEOLUS. Uit de literatuurstudie en expertinterviews blijkt immers dat de handelsselasticiteit in de orde van 1 of net boven 1 zou moeten liggen, terwijl AEOLUS met een handelsselasticiteit van 0.5 meer in lijn ligt met de luchtvrachtprognoses van Boeing en Airbus. Is het beschouwen van een handelsselasticiteit van 0.5 dan niet wat ‘kunstmatig’ gekozen/behouden, namelijk juist omdat het beter overeenstemt met de resultaten van andere prognoses? In hoeverre is deze handelsselasticiteit dan correct ingeschat, en waarom wordt er niet gewerkt met de expert/literatuur-handelsselasticiteit om vervolgens een correctiefactor te schatten? Mogelijk zijn er goede redenen voor de hier gebruikt benadering, maar wat mij betreft zou (minstens) wat extra argumentatie en kadering hier niet misstaan.

Zijn er andere toepassingen van AEOLUS die nu al mogelijk zijn of dat worden na (haalbare) doorontwikkeling?

Een evidente 'andere' toepassing zou erin bestaan om na te gaan of het model kan gebruikt worden om de effecten van high-impact events te vatten. De COVID-19 pandemie is een evident voorbeeld, maar er was bijvoorbeeld ook de impact van de Eyjafjallajökull-uitbarsting in 2010. Daarnaast is het niet duidelijk of er een periodieke/systematische update is of kan voorzien worden van het basisjaar.

Overige opmerkingen en suggesties

- (1) AEOLUS-documentatie 1.0 – p. 16: “In nieuwe prognoses wordt aangenomen dat in 2020 de luchthaven Lelystad geopend wordt”. Aangezien dit (nog) geen realiteit is geworden, en mogelijk ook geen groen licht zal krijgen gezien de controverse rond de vereiste milieuvergunningen: kan dit (handmatig) uitgeschakeld worden? Wat is de impact van deze aanname op de (huidige) prognoses voor Schiphol en de regionale luchthavens (bv. “Volgens de geactualiseerde luchtvaartprognoses is de luchthaven van Eindhoven in 2050 nog steeds de grootste regionale luchthaven, gevolgd door Lelystad en Rotterdam”).
- (2) Actualisatie van AEOLUS 2018 – p. 32. In de GTU bestanden wordt er een driedelige uitsplitsing gemaakt naar allianties: “Op basis van de ingevulde luchtvaartmaatschappij is aan elke vlucht één van de drie onderscheiden allianties gekoppeld. Dit zijn SkyTeam, overige full service carriers (FSC) en low cost carriers (LCC)”. De term *alliantie* is in deze context wat vreemd omdat dit in de luchtvaartsector doorgaans een andere betekenis heeft ([Forbes, 2021](#)). Wanneer over allianties wordt gesproken, doelt men dan ook vaak expliciet en/of impliciet enkel op de drie grote allianties: SkyTeam, Star Alliance en OneWorld. Deze term ook gebruiken om te verwijzen naar andere aggregaties zoals 'andere' FSCs en LCCs kan tot nodeloze misverstanden leiden. Daarnaast gaat deze opsplitsing ook voorbij aan de opkomst van hybrid carriers ([Stoenescu & Gheorghe, 2017](#)) en hun complexe relatie tot die allianties. In tabel 7 op p. 34 ('Luchtzijdige LoS') van Actualisatie van AEOLUS 2018 worden Star en OneWorld overigens wél meegenomen. Kortom, het lijkt aangewezen om de term alliantie te verduidelijken en coherent te gebruiken, terwijl de FSC/LCC-opdeling de reële situatie mogelijk niet helemaal vat.
- (3) Doorheen de documentatie wordt de term “de catchment area van AEOLUS” gebruikt. Gezien *catchment area* een sleutelbegrip is in deze literatuur met een vrij duidelijke betekenis (zie [Teixeira en Derudder, 2021](#)), kan dit net als het oneigenlijke gebruik van de term *alliantie* verwarrend overkomen. Misschien kan een conceptueel helder alternatief gezocht worden.

- 4 Bijdrage Dr. Eric Pels, Associate Professor School of Business and Economics, Vrije Universiteit Amsterdam

AEOLUS: rapport voor Rijkswaterstaat

Eric Pels
Vrije Universiteit, afdeling ruimtelijke economie
De Boelelaan 1105
1081HV Amsterdam

Inleiding

Aeolus is een prognosemodel dat voor bepaalde toekomstscenarios de omvang van de luchtvaart in Nederland berekent. Het is een uitgebreid model met verschillende modules, die in de loop der tijd aan het model zijn toegevoegd. Over iedere module zijn natuurlijk vragen te stellen. Bijvoorbeeld: waarom een genest logit model in plaats van een ander model, want in de literatuur zijn genoeg andere modellen te vinden. Dergelijke discussies zijn misschien wetenschappelijk interessant, maar niet altijd praktisch: het model moet te schatten en te gebruiken zijn. Het model is er, en moet nu toegepast kunnen worden. Op die manier heb ik het model bekeken en deze review beschreven: zijn de aannames redelijk, en welke verbeteringen zouden mogelijk zijn om te toepasbaarheid nog meer te verbeteren. Uiteindelijk roept de documentatie enkele vragen op, maar het model is goed onderbouwd en goed toepasbaar. Er worden enige punten gegeven om het model in de toekomst op details aan te passen of uit te breiden.

In het vervolg bespreek ik per hoofdstuk de belangrijkste punten. Daarbij worden de belangrijkste commentaarpunten besproken. Los van eventuele verbeterpunten zijn er ook mogelijke toevoegingen of punten waarover op zijn minst nagedacht moet worden.

Aannames en restricties.

Dit blijven natuurlijk altijd punten om over te discussiëren (“In 2050 wordt voor de regionale luchthavens geen jaarlimiet verondersteld, omdat het onzeker is hoe de luchtvaart zich ontwikkelt. Maar bestaan daar geen scenario’s voor?”) Maar deze aannames en restricties lijken me zeer goed werkbaar.

Modelopzet.

AEOLUS berekent prognoses voor passagiers, luchtvracht en vliegtuigbewegingen voor alle Nederlandse luchthavens t/m 2050. Kern wordt gevormd door de 4 modules in figuur 1. Wat niet zo snel duidelijk is hoe op basis van scenario’s en macro-economische data de potentiële vraag wordt ingeschat. De Passagiersmodule berekent het aantal passagiers dat gebruik maakt van de Nederlandse luchthavens op basis van berekeningen van het aantal passagiersaantallen in de prognosejaren. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van discrete keuze modellen. Daarvoor is invoer nodig, waaronder het potentiële aantal passagiers. Waarschijnlijk volgt dit uit de macro-economische scenariodata (p.17). Uiteindelijk betekent dit dat vanuit de scenariodata een totaal aantal passagiers bepaald wordt, dat vervolgens in de passagiersmodule over de alternatieven wordt verdeeld. Dan is de vraag of de scenario’s voldoende rekening houden met regionaal-economische ontwikkelingen, of anders gezegd,

de opkomst van nieuwe potentieel interessante bestemmingen. Daarnaast wordt de keuze van passagiers om niet te vliegen nu buiten het keuzemodel gehouden. Op zich mogelijk, maar als reizen in het algemeen relatief duur is of wordt, zal dit niet direct doorwerken in de keuze niet te reizen. Dat zien we pas in het volgende prognosejaar.

Een mogelijk verbeterpunt ligt daarom in de voorspelling van het aantal (mogelijke) reizigers). Zeker voor de niet-zakenreizigers zijn er misschien wel bredere keuzes dan voorheen. Een nieuwe hoed in Milaan of een nieuw horloge in Amsterdam? Met het team tapas gaan eten in Barcelona, of liever op survivaltocht in de Ardennen? Juist door de opkomst van de low-cost carriers is het aantal keuzemogelijkheden om te consumeren toegenomen, en daarmee is het aantal reismogelijkheden ook toegenomen. Om het aantal passagiers te voorspellen is het juist belangrijk om ook naar de bestemmingskeuze te kijken, al is dit geen gemakkelijke opgave.

De verdeling in regio's is enerzijds te begrijpen (Nederlands model, dus veel aandacht voor regio's in en om Nederland). Maar de verdeling van de rest van de wereld is wat beperkt. Noord-Amerika bevat bestemmingen die interessant zijn voor toeristen maar waar zakenreizigers niet naar toe gaan (willen). Dat zal hoe dan ook effect hebben op de model resultaten, omdat nu wordt uitgegaan van een passagiersstroom naar Noord-Amerika, en niet naar New York, San Jose of een luchthaven in de buurt van de Cascades. Het is nu niet duidelijk in hoeverre deze verdeling de resultaten beïnvloedt.

Inputs: elasticiteiten. Omdat discrete leuzemodellen gebruikt worden is een voor de hand liggende vraag: zijn de elasticiteiten in tabel 2 elasticiteiten van het marktaandeel of van de vraag? Verder hierover de volgende opmerkingen:

- De frequentie elasticiteit is hetzelfde voor alle passagiers. Is dit redelijk? Zakenreizigers zullen gevoeliger zijn voor schedule delay dan niet-zakenreizigers. Moet dit tot uitdrukking komen in de elasticiteiten? Een hoge frequentie is waardevoller voor een zakenreiziger, omdat deze zo beter een vlucht kan vinden die bij de gewenste aankomst- en vertrektijden passen. Bijvoorbeeld, een hoge frequentie tussen Amsterdam en Londen geeft een zakenreiziger meer mogelijkheden om in Londen te vergaderen en dezelfde dag terug te zijn op kantoor in Nederland. Voor in ieder geval een deel van de toeristen speelt dit minder.
- De prijselasticiteit blijft constant over de tijd. Is dit realistisch? Keith Mason vond al aan het begin van de eeuw dat zakenreizigers prijsgevoeliger zijn (geworden), misschien ook door de opkomst van low cost carriers, die ook tussen zakenbestemmingen vliegen tegen een relatief lage prijs. Dus los van de inkomensontwikkeling kunnen gedragsveranderingen plaatsgevonden hebben, al dan niet veroorzaakt door veranderingen in het aanbod. Over de low-cost maatschappijen wordt vaak gezegd dat ze tot extra vraag hebben geleid omdat bestemmingen die voorheen niet bereikbaar, vanwege een te hoge prijs "voor de massa", of omdat er simpelweg geen vlucht beschikbaar was, waren nu wel bereikbaar zijn. Maar ook low-cost maatschappijen vliegen ook op bestaande bestemmingen, en daar kunnen reizigers naar de nieuwe low-cost carriers substitueren. De Corona crisis zal misschien ook invloed hebben. Dit lijkt me iets voor een gevoeligheidsanalyse?

Passagiersmodule.

De passagiersmodule berekent het aantal passagiers tussen de modelzones voor het basisjaar en de prognosejaren.

Voor het modelleren van de verschillende keuzes die reizigers maken wordt een discreet keuzemodel gebruikt. Uit Figuur 5 blijkt dat er geen “no travel optie” is. Dit betekent dat een prijsstijging geen invloed heeft op de totale vraag, maar wel op de verdeling tussen de verschillende alternatieven. Dit is een detail, en deze opzet wordt vaker gebruikt, maar het wel belangrijk om dit op te merken. Prijsbeleid (bijvoorbeeld een CO2 heffing) heeft zo binnen deze module een verandering in marktaandeel tot gevolg, maar geen afname in de totale vraag. Dat is ok als in een andere module wel rekening wordt gehouden met het effect van een dergelijke heffing, al is dan nog de vraag of dat de “juiste plek” in het totale model is. Een andere optie zou zijn: er is een totale potentiële vraag, en in de passagiersmodule wordt gekeken wat de aandelen van de alternatieven (niet reizen, reizen met vliegtuig etc.) zullen zijn.

Nog een kleinere opmerking: is het nodig een bus optie op te nemen? De bus wordt gebruikt door veel toeristen, en steeds meer studenten gebruiken, denk ik, ook de Flixbus op langere afstanden. Het is een relatief langzaam alternatief, maar ook flexibel, en met nieuwe technieken misschien ook minder vervuilend per stoelkilometer. Ik weet niet hoe belangrijk de bus is en zal worden, en het lijkt met nu niet zinnig om het model hiervoor om te bouwen. Maar omdat er relatief ver vooruit gekeken wordt is het misschien nuttig om een keer na te denken over de mogelijke impact en te kijken of dit echt een toevoeging zou zijn.

De parameters zijn geschat op basis van de Schiphol enquête. Figuur 5 suggereert een model met correlatie tussen de verschillende reisopties. Kan dat geschat worden met data voor een enkele optie of een enkel nest? Voor het toegangskeuze model wordt gewerkt met multinomial logit modellen, al staat deze keuze ook in de beslisboom in Figuur 5, alsof de random utilities van de toegangsalternatieven binnen een airport-airline nest gecorreleerd zijn.

Uiteindelijk wordt een beperkter model geschat dan in figuur 5 wordt weergegeven. Dat is zeer goed te begrijpen, want data voor een dergelijk uitgebreid (genest) model zijn moeilijk te vinden, en daarnaast zal het schatten van een dergelijk genest model ook niet makkelijk zijn. Hoe bepaal je de nest-structuur?

Alleen is wel een vraag of het verwachte maximale nut van een lager niveau nu correct gemeten wordt. Het geneste model is consistent met nutsmaximalisatie, en de logsum geeft inderdaad het verwachte nut. Maar dat laatste verwacht ik niet, want over het routekeuze model wordt gezegd: “net als bij het toegangskeuzemodel worden vier modellen gechat”. Dit is wel een punt om over na te denken: in hoeverre wordt het “correcte” verwachte nut van een lagere trap in figuur 5 meegenomen? De substitutie tussen alternatieven lager in de keuzeboom is er wel, maar past deze nog bij de hogere treden in figuur 5, als deze met andere data of in een ander model geschat worden? Het sequentieel schatten van parameters is op zich mogelijk, en was “standaard” toen de computers nog niet zo krachtig. Maar als je voor verschillende niveaus ook verschillende datasets moet combineren dan wordt het een ander model. Je kan het verwachte nut van de toegangsmodaliteiten van de ene luchthaven niet direct op een andere luchthaven projecteren, en het “verwachte nut” van een lager niveau wordt zo een verklarende variabele waarin de correlatiestructuur

binnen een nest een andere lading krijgt. De aanname in het geneste model is dat de residuen in een nest met elkaar gecorreleerd zijn. Als je verschillende bronnen moet combineren om de data voor verschillende niveaus te completeren is het nog maar de vraag wat de logsum precies meet. Als voorbeeld: bij een model voor de San Francisco Bay area waren gegevens voor 4 luchthavens beschikbaar: toegangstijd per modaliteit, frequentie per luchtvaartmaatschappij per luchthaven etc. Voor alle respondenten in de survey was er zo voor alle reismogelijkheden een compleet plaatje beschikbaar. Voor iedere luchthaven (nest) is zo het verachte nut van de luchtvaartmaatschappijen of toegangsmodaliteiten binnen het nest van die specifieke luchthaven beschikbaar, met alle mogelijke correlaties binnen het luchthavennest. Als voor één van de 4 luchthavens geen data op enig niveau beschikbaar zouden zijn was het model als compleet genest model niet te schatten. De oplossing is dan het model met een beperktere keuzeset te schatten, en vervolgens te projecteren op de totale keuzeset. Op zich ook weer goed werkbaar, maar de interpretatie van de logsum en het idee van correlatie tussen alternatieven wordt beperkter.

Daarbij is de “nesting” in het routekeuzemodel is niet duidelijk. Uit de discussie met Significance blijkt dat een multinomiaal logit model gebruikt wordt, zonder luchthaven of alliantie nests. Op zich weer te begrijpen, gegeven databeperkingen (er zijn goede data voor Schiphol, maar niet voor andere luchthavens om het model compleet te maken). Maar de interpretatie van de logsum en het idee van correlatie tussen alternatieven wordt beperkter. Het is goed om dat voor ogen te houden, en het ook duidelijker te maken in de documentatie. Figuur 5 roept misschien een ander beeld op.

Tenslotte over de neststructuur: De hoofdvervoerwijzekeuze is het “bovenste niveau van de geneste keuzeboom”. Waarom is dit het bovenste niveau en niet de routekeuze? De keuze voor een route bepaalt al (deels) de keuze voor een modaliteit. Met andere woorden: zijn routekeuze en hoofdvervoerwijzekeuze niet sterker gerelateerd dan in het huidige model?

“De overige parameters zijn opgenomen in Tabel 9. Voor dit model zijn de gedragsparameters gebaseerd op expert judgement omdat er geen gedetailleerde data over de verdeling tussen de vervoerwijzen voor modelschattingen bestaat. De alternatief specifieke constanten voor auto en trein worden zodanig geschaald dat de verdeling over de drie vervoerwijzen voor reizen tussen het achterland en Zuid-Europa overeenkomt met de waargenomen verdeling.” Zie eerder commentaar over parameterschattingen. Waarom zijn niet alle parameters gebaseerd op expert judgement, of waarom zijn er geen data verzameld om alle parameters in één consistent model te schatten? Nu worden ASCs zo gekalibreerd dat de verdeling overeenkomt met de waargenomen verdeling. Maar dan weten we niet meer in hoeverre de overige data nog een rol spelen. Sterk gezegd: als we alle ASCs “opblazen” kunnen we de waargenomen verdeling goed repliceren en spelen de overige variabelen geen rol meer. Uit het voorbeeld dat Marco Kouwenhoven gestuurd heeft (20-10) blijkt niet dat de ASCs dominant zijn in de nutsfuncties. Maar dit blijft wel een aandachtspunt, omdat het in theorie mogelijk is dat we door met de constanten te spelen de waargenomen verdeling kunnen repliceren, ongeacht de invloed van de overige variabelen. Juist omdat het model gebruikt wordt om ook naar de effecten van beleid te kijken is het goed om in de gaten te blijven houden dat de ASCs de keuze niet gaan domineren. Immers, als de ASCs zo groot zijn geworden (door berekening en niet door schatting) dat ze voor een groot deel het systematische nut van een alternatief bepalen, zal bijvoorbeeld een relatief groot prijsverschil tussen alternatieven, waarschijnlijk ten onrechte, van weinig invloed

kunnen zijn. En dit heeft dan weer consequenties voor de bepaling van de effecten van beleid.

Al met al: het model was oorspronkelijk bedoeld als model op hoofdlijnen (“integrated airport competition model”). Proberen we nu niet teveel met één model te doen?

Totaal aantal reizigers

“Het totale aantal luchtvaartpassagiers kan voor toekomstjaren niet op dezelfde manier berekend worden als in het basisjaar omdat het reizigersaantal dat van Schiphol gebruik zal maken nog onbekend is.” Duidelijk, en bekend probleem. Daarnaast, als de verbindingen beter worden neemt, in theorie, het potentiële aantal passagiers toe. Maar dit is wel iets om in de toekomst verder over na te denken. Schiphol houdt zich bezig met bestemmingen die nog niet in het pakket zitten, maar mogelijk wel interessant zijn of kunnen worden door naar de potentiële vraag van deze bestemmingen te kijken. Over het algemeen zijn graviteitsmodellen populair in de literatuur om dit te bekijken. Maar voorspellen op basis van een graviteitsmodel is niet makkelijk. Voor de duidelijkheid: dit is geen kritiek op het huidige model, maar dit zou wel een mogelijke uitbreiding kunnen zijn. Daarbij is de volgende vraag ook relevant: is het model gemaakt om te voorspellen of te verklaren? Bij voorkeur natuurlijk beide: we hebben voorspellingen nodig om beleid te maken, maar we willen ook weten hoe passagiers reageren op beleidsmaatregelen. Het geneste model is consistent met nutsmaximalisatie, en kan gebruikt worden om te voorspellen en te verklaren. Maar zoals eerder aangegeven, is het de vraag of hier een compleet genest model geschat wordt, en of daarmee de mogelijkheid tot verklaren in stand blijft. Op zich geen probleem, als voorspellen (en het in eerste instantie repliceren van waargenomen marktaandelen) het hoofddoel is.

Schattingen op basis van Schiphol survey zijn voor Nederlandse passagiers, of in ieder geval passagiers die hier opstappen. Het netwerk van KLM is afhankelijk van passagiers die elders opstappen en hier overstappen. Zijn de parameters en ASCs representatief voor deze passagiers? Ja, want we repliceren de huidige marktaandelen. Maar zijn deze parameters dan representatief voor het gedrag of is het een mogelijke combinatie van parameters die de huidige marktaandelen weergeven.

Slotopmerking over de passagiersmodule

De aanbodkant bepaalt wat aan de vraagkant mogelijk is. Zonder transfer (aanbod- en vraagkant) is een groot deel van het netwerk niet rendabel, waardoor de input aan de vraagkant weer anders wordt. KLM biedt de mogelijkheid tot transfer, en hier is vraag naar (of er is vraag voor gecreëerd). Voor KLM is dit noodzaak, omdat anders de load factor te laag zal zijn. Maar maakt dit het niet noodzakelijk om meer aandacht te geven aan het marktaandeel in de transfermarkten? Een te klein marktaandeel in de transfermarkten betekent dat de marktaandelen in de o-d markten hoger zullen moeten zijn, of het aanbod in de o-d markten neemt af. Hoe is dit nu meegenomen in de vliegmodule (de vliegtuigmodule bepaalt frequentie in vraagmodule).

Vrachtmodule.

“De vrachtmodule berekent de totale hoeveelheid vracht die door de lucht vervoerd wordt tussen West-Europa en de overige wereldregio's. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar (1) vracht die in de belly's van passagierstoestellen wordt vervoerd en (2) vracht waarvoor speciale vrachtvliegtuigen (Full Freighters) worden ingezet.” Maar veel luchtvracht wordt binnen Europa ook over de weg vervoerd (vanwege capaciteit en kosten). Kan dit in het model meegenomen worden?

“Andere belangrijke Europese vrachtluchthavens zoals Luik en Leipzig zijn niet opgenomen in het model. In de luchtvrachtmodule wordt, in tegenstelling tot de passagiersmodule, de ontwikkeling niet gemodelleerd met behulp van discrete keuzemodellen. Binnen de gebruikte methodiek is het niet van belang om expliciet rekening te houden met de concurrentie van andere luchthavens.” Aan de ene kant duidelijk en begrijpelijk. Maar aan de andere kant roept dit toch een aantal vragen op:

- Luchtvrachtbedrijven (full freighters, dus geen belly freight) lijken meer footloose te zijn dan passagiersmaatschappijen. Juist daarom lijkt het belangrijk om rekening te houden met concurrentie. Op geaggregeerd (Europees) niveau maakt dat niet uit, maar voor een model dat naar Schiphol kijkt is het wel weer interessant.
- Als belly freight echt belangrijk is voor passagiersmaatschappijen, dan zou een duidelijker link tussen de passagiersmodule en vrachtmodule een mogelijke uitbreiding zijn. Immers, belly freight zorgt voor extra inkomsten op een route, waardoor die route ook in de passagiersmarkt aangeboden kan blijven worden. De anekdote is dat de KLM 747 combi werd voor de helft gevuld met vracht omdat er niet voldoende passagiers gevonden konden worden. Zonder vracht geen aanbod in de passagiersmodule.
- Voor omliggende regio's kan voldoende vrachtcapaciteit op Schiphol belangrijk zijn. Het is samen met de havens een belangrijke vestigingsplaatsfactor, al zijn er logistieke bedrijven in de haven van Amsterdam die weinig gebruik maken van de luchthaven. Daarom weer de vraag: moet er niet naar concurrentie gekeken worden? Of is een impliciete aanname dat passagiersvervoer voorrang heeft op vrachtvervoer (door full freighters)? Maar dit is meer een beleidsvraag voor de lange termijn.

Vrachtstromen per luchthaven

Hiervoor wordt gekeken naar de Luchtvrachtstroom tussen West-Europa en werelddeel WR. Omdat naar west Europa gekeken wordt weer begrijpelijk. Maar later wordt gezegd: “Wanneer de totale vraag naar vluchten (zowel passage- als vrachtvluchten) groter is dan de capaciteit op een luchthaven, dan worden schaarstekosten berekend.” En juist hier kan je weer denken aan een concurrentiemodel. “Voor luchthaven Maastricht vormt vrachtvervoer een substantieel deel van het totale aantal vliegtuigbewegingen.” Los van het feit of dit beleidsmatig gewenst is (herrie!), zegt het iets over het passagiersvervoer op Maastricht. Misschien is vracht wel noodzakelijk, terwijl je op Schiphol in een andere situatie zit. Juist hierdoor zou een uitbreiding naar een concurrentiemodel een toevoeging kunnen zijn.

Hoe zijn de schaarstekosten en de prijselasticiteit van de schaarstekosten bepaald?

Vliegtuigbewegingenmodule

Het is makkelijk commentaar, maar voetnoot 30 (“De recente ontwikkeling waarin heel grote toestellen zoals de B 747 of de A 380 worden vervangen door kleinere toestellen, is nog niet opgenomen in de trends.”) is zeer relevant. Maatschappijen vervangen grote vliegtuigen, en dit kan gevolgen hebben voor de frequentie en daarmee de marktaandeelen. Door de Coronacrisis is dit versneld gegaan, maar deze vliegtuigen zouden al vervangen gaan worden. Op langere termijn zou deze verschuiving naar kleinere vliegtuigen ook een verschuiving naar meer point-to-point verbindingen kunnen betekenen. KLM blijft afhankelijk van overstappers. Misschien, op termijn, ietsjes minder dan in het verleden door de inzet van nieuwe vliegtuigen, al denk ik dat de inzet van dergelijke vliegtuigen door nieuwe concurrenten een sterker effect zullen hebben. We weten niet hoe de markt er over 10 of 20 jaar uitziet. Als er dan nieuwe maatschappijen zijn die point-to-point vliegen op bestemmingen waar eerst een transfer op Schiphol of elders voor noodzakelijk was, dan zal dat consequenties hebben voor het aanbod op deze hub luchthavens.

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

Dit is niet helemaal duidelijk. Ten eerste, de frequentie elasticiteit is kleiner dan één, en in een soortgelijke setting was dit de tweede orde voorwaarde voor winstmaximalisatie. Bij een frequentie elasticiteit > 1 blijft de maatschappij de frequentie verhogen, omdat iedere verhoging proportioneel meer passagiers aantrekt. Als de elasticiteit < 1 , dan zal een verlaging van de frequentie een minder dan proportionele daling in het aantal passagiers opleveren. Waarom zou er een neerwaartse spiraal zijn en het model niet convergeren? Ik zeg niet dat dit niet kan gebeuren, ik zie alleen nog niet waarom het een mogelijkheid is. Daarnaast, in het geval van schaarste zal de luchtvaartmaatschappij niet de maximale winst behalen, maar aan de ander kant, als er iets van een S-curve effect is zal de maatschappij de frequentie zo hoog mogelijk houden om het marktaandeel van de concurrent te minimaliseren. Als maatschappij in kwestie een relatief hoge frequentie heeft, dan is het marktaandeel ook relatief hoog. Een verlaging van de frequentie wordt daarmee “behapbaarder”. Maar hoe dit modelmatig uitpakt kan ik nu niet overzien. Het commentaar dat de frequentieverlaging niet in iedere iteratieslag wordt meegenomen verdient wel meer uitleg.

Tenslotte over de vliegtuigbewegingen.

Ook dit deel zit weer goed in elkaar. Bij lezing was wel een eerste gedacht: waarom dit detail niveau? Voor bijvoorbeeld een passagiersmodule maakt het niet zoveel uit of een vliegtuig wordt vervangen, tenzij er een duidelijk effect is op de frequentie en/of prijs. Zolang die

redelijk onaangetast blijven zullen marktaandeelen relatief constant blijven, tenzij er een maatschappij is met oudere vliegtuigen en daardoor niet meer kan concurreren. Voor het milieugedeelte is vlootvervangning echter zeer relevant.

Milieueffectenmodule

“Door de CO₂-uitstoot van alle vliegtuigbewegingen op een route te delen door de passagiers op deze route, kan voor passagiers vanaf Nederlandse luchthavens ook de CO₂-uitstoot per passagier worden berekend.” Hierbij is het belangrijk heel duidelijk aan te geven hoe een route gedefinieerd is. Veel passagiers vliegen via Schiphol, en veroorzaken daarmee CO₂ uitstoot op de O, de D en op Schiphol. Worden deze passagiers ook daadwerkelijk meegeteld? Of als de vraag anders geformuleerd is: kan nog nagegaan worden wat de milieudruk van overstappende passagiers is?

“Het lineaire verband tussen uitstoot en vliegduur dat op basis van deze data is gevonden wordt niet ondersteund door andere bronnen. Deze zeggen dat de uitstoot op korte afstanden relatief groter is.” Dit is een belangrijk punt. In de literatuur is het één en ander geschreven over environmental scale economies. Grotere vliegtuigen op langere afstanden zouden een lagere uitstoot per stoelkilometer hebben, waardoor uiteindelijk een hub-spoke netwerk een lagere totale uitstoot zou hebben dan een point-2-point netwerk op dezelfde bestemmingen. Maar deze grafiek zegt eigenlijk dat dit effect niet bestaat, want uitstoot per passagier stijgt proportioneel met afstand. Een implicatie zou zijn dat het hub-spoke netwerk geen milieuvoordeel heeft als gevolg van environmental economies of scale, en misschien zelfs een nadeel omdat passagiers twee keer moeten starten en landen.

“Voor AEOLUS is de SEO-systematiek veel bruikbaar omdat deze ook gebruikt kan worden voor prognoses.” OK, maar dan moet er goed nagedacht worden over bovenstaand probleem. Vanuit milieuoogpunt zou er winst behaald kunnen worden door van het hub-spoke systeem af te stappen, maar dat ligt beleidsmatig wat lastig. En daarnaast, de conclusie (lineair verband tussen uitstoot en vliegduur) roept vragen op. De AEOLUS oplossing: gebruik de afstandsafhankelijkheid van de ICAO-calculator, maar hoog de uitstoot op tot hetzelfde niveau (in 2017) dat de SEO-berekening levert. Maar dat betekent dat we meer vertrouwen hebben in de niveaus van het SEO-model? Waarom is deze aanpassing nodig?

Uiteindelijk denk ik dat er, ondanks de vragen, een goed werkbaar oplossing gekozen is. Maar dit is wel een aandachtspunt: waarom levert het SEO-model andere resultaten? Waarom is er een lineair verband tussen uitstoot en afstand? En waarom zijn de niveaus verschillend?

Als laatste vraag: op Schiphol maakt het voor de uitstoot nogal uit welke baan gebruikt wordt. Voor de Polderbaan laat je de motoren een tijdje inefficiënt draaien. Of wordt het uitgemiddeld, of wordt ervan uitgegaan dat er meer sustainable taxiing wordt toegepast in de toekomst?

Beleidsmaatregelen.

“Belastingen op vertrekkende passagiers of transferpassagiers worden in het model rechtstreeks opgeteld bij de ticketprijzen.” Dat kan, en is misschien voor de hand liggend. Maar een netwerkmaatschappij zou ervoor kunnen kiezen de passagiers met een lagere prijselasticiteit en een hogere betalingsbereidheid meer te laten betalen. Iedere maatschappij zal een zo vol mogelijk vliegtuig willen hebben. Omdat niet alle stoelen met passagiers uit het zakensegment gevuld kunnen worden, zijn passagiers uit andere segmenten nodig. Als de belasting doorberekend wordt, kunnen passagiers uit het lagere segment ervoor kiezen niet meer te vliegen. Daarmee kan de load factor te laag worden om de vlucht rendabel te houden. Als de belasting voor een groter deel doorberekend wordt aan minder prijselastische reizigers, dan is de afname in de vraag ook minder. Zolang lege stoelen meer geld kosten dan een eventuele afname in de opbrengsten van bijvoorbeeld zakenreizigers, dan zou het voor een luchtvaartmaatschappij goed kunnen zijn om belastingen niet direct bij de ticketprijzen op te tellen.

In de vliegtuigbewegingenmodule wordt nu, gegeven het aantal passagiers per directe vliegroute, het benodigde aantal vliegtuigbewegingen tussen de luchthavens in het achterland en de bestemmingen voor de verschillende allianties en grootteklassen berekend. Dat is een logische methode. Een mogelijke verdere ontwikkeling kan meer gericht zijn op een optimale frequentie en ticketprijs. Daarbij wordt, bijvoorbeeld, de winstfunctie geoptimaliseerd met betrekking tot de frequentie en ticketprijs. Dat laat de luchtvaartmaatschappij “vrij” om een taks al dan niet door te berekenen. In theorie is dit te doen, maar in een praktische setting met veel mogelijke bestemmingen, vliegtuigklassen etc. zal dit niet eenvoudig zijn. Maar een verkenning naar de mogelijkheden om (theoretische) discrete keuzemodellen te vertalen naar praktijkgerichte toepassingen is wenselijk, juist omdat inzicht in het gedrag van de luchtvaartmaatschappijen erg belangrijk is om tot goede voorspellingen te komen. Simpel gezegd, er wordt nu berekend hoe hoog een aantal vluchten zal zijn, bijvoorbeeld vanaf Lelystad, gegeven het aantal passagiers. Maar is dit ook het optimale aantal vluchten voor een luchtvaartmaatschappij? Zeker de low cost carriers zijn “footloose”, dus een taks of verhuizing kan tot een drastische verandering in de aangeboden frequentie leiden. Dit is niet eenvoudig te modelleren in een realistische setting, maar een gevoeligheidsanalyse op basis van een gereduceerd model kan al belangrijke inzichten geven. Bijvoorbeeld, als de voorspelde resultaten op bepaalde routes in een gereduceerd model te repliceren zijn, dan lijkt het aannemelijk dat dit ook bij een uitgebreider model het geval zou zijn.

Modeloutput.

Het model levert een hoop bruikbare informatie. Maar wat niet gerapporteerd wordt zijn de welvaartseffecten van de beleidsmaatregelen. Nu heb ik in het bovenstaande wat vragen gesteld bij het gebruik van de logsum, maar los daarvan biedt het model en de output de mogelijkheid om welvaartseffecten van beleidsmaatregelen met elkaar te vergelijken. Meestal lezen we over het aantal banen, wat ik minder interessant vind. Maar de logsum geeft het totale verwachtte nut weer. Een vergelijking van het verwachtte totale nut voor en na een beleidsmaatregel geeft aan wat de relatieve impact van de maatregel is. De logsum is daar, in theorie althans, bruikbaar voor. Maar dan moet wel rekening gehouden worden met de hierboven genoemde beperkingen van de data en het model: de logsum van een lager niveau geeft misschien een indicatie, maar meet niet meer het exacte verwachtte nut van de

gegeven alternatieven als voor de verschillende niveaus verschillende databronnen gebruikt worden. De logsum is misschien moeilijk te vergelijken met een toe of afname in CO₂-uitstoot, maar het kan wel een indicatie geven of er een groot of klein effect aan de vraagzijde te verwachten is. Voor beleid zegt dit nog niet alles, maar het kan wel een eerste inschatting geven.

Conclusie.

De belangrijkste conclusies en aanbevelingen zijn als volgt.

- De verdeling in regio's is enerzijds te begrijpen (Nederlands model, dus veel aandacht voor regio's in en om Nederland). Maar de verdeling van de rest van de wereld is wat beperkt. Hier zou verder naar gekeken kunnen worden.
- De gebruikte frequentie en prijselasticiteit blijven constant over de tijd. Is dit realistisch? Op zijn minst een uitgebreidere gevoeligheidsanalyse lijkt op zijn plaats.
- Uit Figuur 5 blijkt dat er geen "no travel optie" is. Dit betekent dat een prijsstijging geen invloed heeft op de totale vraag, maar wel op de verdeling tussen de verschillende alternatieven. Prijsbeleid (bijvoorbeeld een CO₂ heffing) heeft zo binnen deze module een verandering in marktaandelen tot gevolg, maar geen afname in de totale vraag. In de huidige opzet is een no travel optie lastig in te voeren.

Dit betekent niet dat een algehele prijsstijging geen effect heeft op de totale vraag, maar deze afweging vindt buiten de passagiersmodule plaats. Vanuit de modelstructuur geredeneerd lijkt dit logisch en werkbaar. Maar toch is dit een fundamenteel punt, omdat in de afgelopen jaren/decennia de low cost carriers sterk zijn opgekomen, en de full-service maatschappijen daarop hebben moeten reageren. Er worden meer goedkopere tickets aangeboden (British Airways is ooit de grootste low-fare maatschappij in het Verenigd Koninkrijk genoemd), en het voorspellen van vervoersstromen tussen oorsprong en bestemming is moeilijker geworden omdat er veel meer bestemmingen goedkoop bereikt kunnen worden. Omdat reizen toegankelijker is geworden kunnen meer mensen een afweging tussen, bijvoorbeeld, een korte toeristische trip of een uitgave aan consumentenelektronica. Een prijsstijging heeft daarom misschien grotere gevolgen dan nu blijkt uit een scenarioanalyse. Om dit door te voeren is wel een ingrijpende aanpassing aan het model nodig.

- Figuur 5 roept vragen op, omdat een modelstructuur gesuggereerd wordt die uiteindelijk niet geschat wordt. De manier waarop dit, of ieder ander model is opgezet en gekalibreerd wordt is sterk afhankelijk van de beschikbare data. De Schiphodata zijn zeer bruikbaar voor wat men met het model wil bereiken, maar er zijn bijvoorbeeld "geen gedetailleerde data over de verdeling tussen de vervoerwijzen voor modelschattingen." Dat maakt het schatten van een genest model lastig. Een voor de hand liggende, maar ook lastige oplossing is meer data verzamelen. Meer data over meer luchthavens geeft meer zekerheid. De surveys van de Civil Aviation Authority en de Bay Area Metropolitan Transportation Commission zijn bekend vanuit wetenschappelijke publicaties. Maar ze zijn veel vaker toegepast als beleidsinput, net zoals surveys op andere luchthavens in bijvoorbeeld de V.S. Deze zijn vaak niet toegankelijk voor onderzoekers, maar het laat wel zien dat deze

manier van werken goed toepasbaar is en vaak gebruikt wordt de beleidsvraagstukken waar Aeolus ook voor gebruikt wordt.

- Binnen Europa wordt veel luchtvracht over de weg vervoerd. Kan/moet dit in het model worden meegenomen? Daarnaast, nu wordt er niet gekeken naar concurrentie met andere belangrijke Europese vrachtluchthavens. Bij de passagiersmodule wordt er juist wel gekeken naar concurrentie, waarom hier niet? Vanuit beleidsoogpunt (economische effecten vs. milieu) lijkt me dit wenselijk.
- Het vervangen van grote door kleinere vliegtuigen kan van invloed zijn op het aanbod, en daarmee uiteindelijk op de passagierskeuze. Voor een toekomstige versie is dit belangrijk om mee te nemen. In de huidige structuur kan dit als scenario input. Bij een eventuele toepassing met een endogene frequentie wordt vliegtuiggrootte een complicerende factor. De eenvoudigste oplossing is om de vliegtuiggrootte dan ook exogeen te houden.
- Het lineaire verband tussen uitstoot en vliegduur roept vragen op. Als dit echt "juist" is, wat zegt dit dan over de milieueffecten van een hub-spoke netwerk? Juist vanuit beleidsoogpunt is dit een relevant punt.
- De beleidsmaatregelen zijn allemaal relevant. Het opheffen van de BTW-vrijstelling voor vliegtickets in "de rest van de wereld" lijkt misschien nog even niet zo relevant, maar is wel interessant om te bekijken omdat het inzicht geeft in de relatieve welvaartseffecten van alle mogelijke maatregelen.
- Bij de modeloutput zou ik meer informatie over de welvaartseffecten willen zien.

Het model is goed bruikbaar voor wat men er mee wil bereiken (prognoses voor het aantal luchtreizigers, de hoeveelheid luchtvracht en het aantal vliegtuigbewegingen voor Nederlandse luchthavens in bepaalde beleidsscenario's). Er zijn commentaarpunten (zie hierboven), maar dat geldt voor ieder model. In dit specifieke geval is er misschien wat meer gevoeligheidsanalyse nodig (andere elasticiteiten, vervanging vliegtuigen). Het is niet duidelijk of er een 100% genest logit model geschat is. Om dit zeker te kunnen doen, of een ander model (bijvoorbeeld: cross-nested logit of mixed logit) te schatten, zijn meer/andere data nodig, en dat wordt een hele klus zonder garantie op een beter werkend model. Er zijn wat punten om te overwegen (mogelijke aanpassingen of uitbreidingen aan het model op basis van recente ontwikkelingen), maar al met al is het model goed bruikbaar.