

Datum : 5 juni 2009
Aan : Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Validatie Aeolus-gams

Deze notitie presenteert de validatie van de meest recente versie van het Aeolus-model, namelijk Aeolus-gams. Het Aeolus model is ontwikkeld ter kwantificering van mogelijke toekomstige ontwikkelingen van de luchtvaart in Nederland. Het maakt onder andere prognoses van de passagiersvraag, de luchtvracht, het aantal vliegtuigbewegingen, milieu-emissies, externe veiligheid en geluidsbelasting uitgaande van verschillende scenario's. De validatie heeft zich beperkt tot de werking van het model in varianten. De niveaus van de modeluitkomsten zijn niet gevalideerd. Geconstateerd kan worden dat deze aansluiten bij de vier vergezichten op Schiphol zoals die in het kader van het project Mainport Schiphol zijn opgesteld (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006). De richting van effecten die het model voorspelt in de verschillende varianten zijn over het algemeen plausibel.

Modeltechnisch is er sinds de vorige validatie van het model (Blokdijs en Van Elk, 2006) belangrijke vooruitgang geboekt in met name de modellering van de vlootsamenstelling, hetgeen leidt tot transparantere en beter te verklaren resultaten. Ook is het model in toegankelijker software geprogrammeerd. Vraagtekens worden echter geplaatst bij de samenhang tussen de vraag- en aanbodmodule in het model. Het model lijkt geen evenwichtmechanisme te bevatten dat de vluchtfrequenties in de aanbod- en vraagmodule aan elkaar gelijk stelt. Debet hieraan lijkt met name het ontbreken van een bedrijfseconomische module voor de luchtvaartmaatschappijen. Een punt dat bij de vorige validatie ook al aan de orde is gesteld. Verder leidt de modellering van de geluids- en capaciteitsrestricties in enkele gevallen tot contra-intuïtieve resultaten: een opeenstapeling van verschillende restricties leidt tot een hoger passagiersvolume dan de meest bindende restrictie alleen. Ten slotte doet deze notitie verschillende aanbevelingen om het gebruiksgemak van het model te vergroten.

1 Inleiding¹

In 2005 is door SEO Economisch Onderzoek en RAND Europe een model ontwikkeld ter kwantificering van de ontwikkelingen van de luchtvaart in Nederland: het Airport Catchment Area Competition Model (ACCM). In de loop der jaren is dit model verscheidene malen toegepast in beleidsanalyses, zie bijvoorbeeld SEO en RAND (2005b en 2006). Ook is het model in de loop der jaren steeds verder ontwikkeld en aangepast. Het model heeft inmiddels een nieuwe naam gekregen: Aeolus. In de laatste modelaanpassing is het model omgezet naar de software gams. Deze stap is met name ingegeven door de wens het model te voorzien van een toegankelijker en transparantere optimalisatieroutine (zie Kouwenhoven, 2009) en de mogelijkheid te creëren om het model door derden te laten gebruiken en – indien nodig – aan te passen.

Deze notitie doet verslag van de validatie van de meest recente versie van het model (Aeolus-gams).² Aan de hand van enkele exercities waarin verschillende inputvariabelen en parameters in het model worden aangepast, is gekeken naar de modelwerking en de plausibiliteit van de modeluitkomsten. De uitgevoerde exercities sluiten nauw aan bij de exercities die in het kader van de validatie van een eerdere versie van het luchtvaartmodel (ACCM II) zijn gedaan (zie Blokdijk en Van Elk, 2006). Er wordt zowel gekeken naar de modelwerking in de situatie zonder geluid- en capaciteitsrestricties als naar de situatie waarin er wel grenzen zijn aan de fysieke capaciteit en de geluidsemissie. De validatie richt zich primair op de werking van het Aeolus model. De modeluitkomsten sluiten aan bij de vier vergezichten op Schiphol zoals die in het kader van het project Mainport Schiphol zijn opgesteld. Deze zullen hier verder niet ter discussie worden gesteld. Resultaten op het gebied van veiligheid en welvaartseffecten zijn niet beoordeeld.

De notitie heeft de volgende opbouw: paragraaf 2 geeft een globale bespreking van de werking van het luchtvaartmodel. Paragraaf 3 bespreekt kort de ontwikkeling van het luchtvaartmodel en vergelijkt de uitkomsten van verschillende versies van het model in de situatie zonder restricties. Paragraaf 4 presenteert de uitkomsten van de modelexercities waarin enkele exogene inputvariabelen (BBP-, handels- en bevolkingsgroei, inkomenselasticiteiten en autoparameters) zijn aangepast. In paragraaf 5 wordt de modelwerking in de situatie met restricties en beleid onderzocht. Paragraaf 6 bespreekt kort de resultaten op het gebied van milieuemissies en veiligheid. Paragraaf 7 doet enkele aanbevelingen om de inzichtelijkheid en

¹ De auteurs zijn dank verschuldigd aan Marco Kouwenhoven (Significance) en Arie ten Cate (CPB) voor nuttig commentaar en assistentie bij het uitvoeren van deze validatie. Ook danken wij Joost Kolkman, Hugo Gordijn (beiden KiM) en Rob Morsink (Ministerie van Verkeer & Waterstaat) voor veel nuttig commentaar op een eerder versie van dit stuk..

² Het model dat is gevalideerd is de versie die op 15 januari 2009 door Dhr. Kouwenhoven (Significance) aan het CPB ter beschikking is gesteld. Een nieuwe versie van de oplosroutine is op 13 februari 2009 ter beschikking gesteld en een nieuwe versie van de modellering van de internationale handel op 25 mei.

het gebruiksgemak van het model te verbeteren. Paragraaf 8 geeft een korte samenvatting van de belangrijkste bevindingen en conclusies.

2 Modelwerking

In deze paragraaf wordt kort de werking van het model besproken. Een schematische weergave van de modelwerking staat in figuur 2.1. Voor een uitvoerigere bespreking wordt verwezen naar Significance, SEO economisch onderzoek en TO70 (2008) en Kouwenhoven (2009).

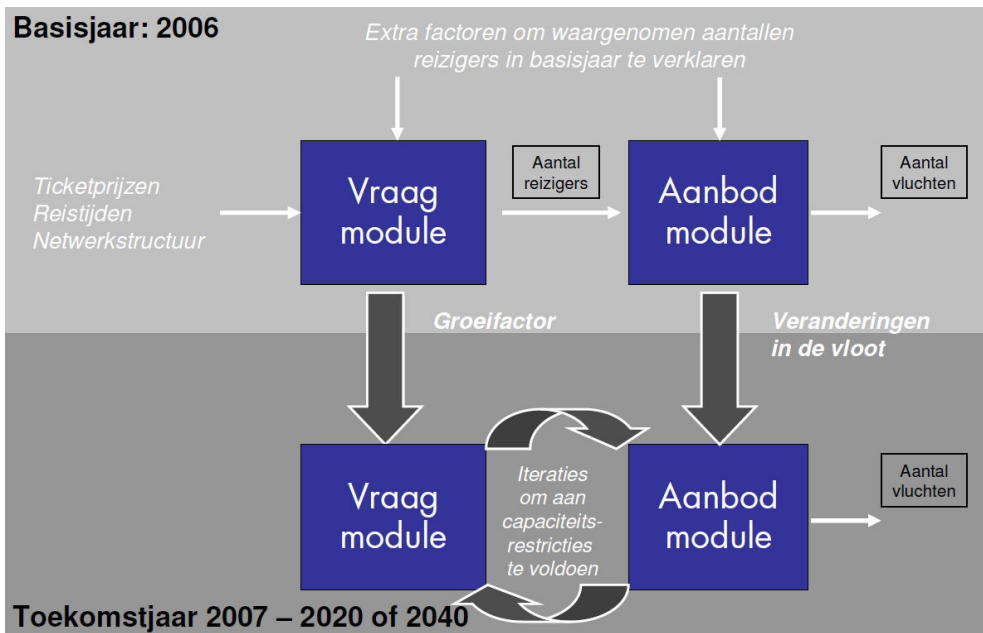
De belangrijkste componenten van het model zijn de vraag- (of passagiers-)module en de aanbod- (of luchtvaartmaatschappij-)module. De vraagmodule bepaalt het totale aantal reizigers per herkomst-bestemmingsrelatie aan de hand van demografische ontwikkelingen, economische ontwikkelingen en prijsontwikkelingen gebaseerd op WLO-groecijfers.³ Vervolgens wordt per herkomst- en bestemmingsrelatie de keuze van de passagier voor de hoofdvervoerswijze (auto, trein of vliegtuig), vertrekluchthaven (Schiphol, regionale luchthaven of buitenlandse luchthaven) en type vlucht (direct of transfer) bepaald. Deze keuze van de reiziger vindt onder andere plaats op basis van gegeneraliseerde reiskosten. Ook andere factoren, zoals een voorkeur voor een luchthaven in eigen land en de frequentie waarmee op een bepaalde herkomst-bestemmingsrelatie wordt gevlogen (de “Level of Service” (LOS)-frequentie) spelen een rol in de keuze van de reiziger voor een bepaalde vertrekluchthaven of type vlucht. De vraag naar vrachtvervoer is per scenario vastgelegd.

De aanbodmodule berekent per dagdeel en type luchtvaartmaatschappij hoeveel en welk type passagiersvliegtuig er wordt ingezet op alle herkomst-bestemmingsrelaties. Hierbij speelt de GTU-verdeling een centrale rol: Grootte, Technologie en Uur van de dag. Aan de hand van de grootteverdeling van de vloot kan een vliegfrequentie worden berekend; het totale aantal passagiers uit de vraagmodule gedeeld door het gemiddeld aantal bezette stoelen per vliegtuig is gelijk aan het totale aantal vliegtuigbewegingen. Verwacht mag worden dat de frequentie die uit deze berekening voortvloeit (de GTU-frequentie) gelijk is aan de frequentie in de passagiersmodule (LOS-frequentie). Dit is echter helaas niet per se het geval. Paragraaf 3.1 gaat hier verder op in. De toekomstige ontwikkeling van de vliegtuigvloot (uitbreiding en vervanging) wordt ook in deze module bepaald. Voor de vrachtluchten wordt eerst bepaald hoeveel belly-vratchcapaciteit bij passagiersvluchten beschikbaar is. Voor de resterende vracht worden “full-freighters” ingezet.

Het kan zijn dat er restricties gelden op het totaal mogelijke aantal vluchten. Ofwel is de fysieke capaciteit van het banenstelsel van Schiphol ontoereikend om de vraag te accommoderen, ofwel overschrijdt het totale geluid dat met de vliegtuigbewegingen wordt geproduceerd de wettelijke limiet. Het voorspelde aantal vliegtuigbewegingen in het model moet dan in overeenstemming worden gebracht met deze limieten. In de vraagmodule wordt de prijs van tickets verhoogd (schaduwprijs van de restrictie) waardoor het aantal passagiers afneemt. Ook de hoeveelheid vracht neemt af. In de aanbodmodule wordt de GTU-verdeling van de vloot aangepast.

³ Aeolus gaat uit van de groecijfers zoals geformuleerd in de WLO-scenario's (CPB, 2005), zie ook paragraaf 4.

Figuur 2.1 Schematische werking van het model



Bron: Significance en SEO economisch onderzoek (2008), figuur 2.1.

3 Vergelijking modelversies

De eerste versie van het luchtvaartmodel (ACCM I) is in 2005 geïntroduceerd. In de loop der jaren is dit model verscheidene malen aangepast en geactualiseerd. Paragraaf 3.1 geeft een korte impressie van de belangrijkste stappen in de ontwikkeling van het model. Paragraaf 3.2 vergelijkt de modeluitkomsten van het huidige model – Aeolus-gams – met de uitkomsten van eerdere versies van het model.

3.1 Verschillen tussen de modelversies

Tabel 3.1 geeft een kort overzicht van de modelontwikkeling sinds de introductie van de eerste versie van het luchtvaartmodel in 2005. De tabel bevat een overzicht van de verschillende modelversies en de belangrijkste aanpassingen. Voor nadere details over de verschillende versies en aanpassingen wordt verwezen naar de bijbehorende rapporten, ook weergegeven in tabel 3.1.

| Tabel 3.1 Modelontwikkeling | | | |
|------------------------------------|------|--|--------------------------------------|
| Modelversie | Jaar | Belangrijkste aanpassing | Rapport |
| ACCM I | 2005 | Eerste modelversie | SEO en RAND Europe (2005a) |
| ACCM II | 2005 | Introductie fysieke capaciteitsrestrictie (baan capaciteit) en restricties voor geluidsemisatie. | SEO en RAND Europe (2005b) |
| ACCM III | 2006 | Mogelijkheid extrapolaties tot 2040, aanpassing mechanisme slotallocatie en verbetering basisgegevens, o.a. vlootsamenstelling, verdeling starts en landingen en level-of-service gegevens. | SEO en RAND Europe (2006) |
| Aeolus-delphi | 2007 | Verandering basisjaar, verandering van het vrachtdeel van de vraagmodule, verbetering aanbodmodule (met name vlootsamenstelling) en uitbreiding van milieuberekeningen. | Significance, SEO m.m.v. TO70 (2008) |
| Aeolus-gams | 2009 | Omzetting van delphi-software naar gams-software (inclusief nieuw oplosalgoritme), aanpassing modellering luchthavens London, beperking aantal reisalternatieven, aanpassing luchtvaartmaatschappijmodule. | Kouwenhoven (2009) |

Van de nieuwste versie van het model, genaamd ‘Aeolus’, bestaan twee uitgaven: Aeolus-delphi en Aeolus-gams. Zoals de benaming al aangeeft, is het grootste verschil tussen de twee modellen de software waarmee de modellen worden gedraaid. De omzetting van het model van de delphi software naar de gams software is ingegeven door de wens het model te voorzien van een transparantere optimalisatieroutine (zie Kouwenhoven, 2009, p.1). Daarnaast is met de omzetting beoogd het gebruik en – zo nodig – de aanpassing van het model door derden mogelijk te maken. Deze omzetting heeft ook geleid tot enkele inhoudelijke aanpassingen van

het model. De belangrijkste inhoudelijke aanpassing is de manier waarop de aanbodmodule reageert op een restrictie. Zoals in paragraaf 2 is beschreven vindt er een aanpassing plaats in de GTU-verdeling om te voldoen aan de geluids- of capaciteitsrestricties of naar aanleiding van beleidsmaatregelen. In het Aeolus-delphi model vond de verschuiving sequentieel plaats langs alle drie dimensies. In Aeolus-gams vindt de verschuiving alleen nog maar plaats langs de (U)ren-dimensie.⁴ Een restrictie heeft ook gevolgen voor de vliegfrequentie in het model. Zoals in paragraaf 2 is beschreven speelt de vliegfrequentie zowel een rol in de vraagmodule (LOS-frequentie) als in de aanbodmodule (GTU-frequentie). Het is niet mogelijk gebleken om een verandering in de GTU-frequentie direct (i.e. zonder tijdsvertraging) te laten doorwerken in de vraagmodule.⁵ Modeltechnisch zou dit namelijk leiden tot een oplossing met nul passagiers en vliegtuigbewegingen: een lagere frequentie leidt tot minder vraag hetgeen weer leidt tot een lagere frequentie van het aanbod etc. Inhoudelijk is dit onbevredigend. In realiteit bepalen passagiers hun vraag naar vliegtickets op basis van de daadwerkelijk aangeboden frequenties. In het model dienen daarom ook aanbod van en vraag naar vliegfrequenties steeds via een evenwichtsmechanisme (de prijs) aan elkaar gelijk te worden gesteld. De geschetste “race to the bottom” doet zich in werkelijkheid niet voor en er is dus een ander mechanisme dat deze race voorkomt. Dit mechanisme is bijvoorbeeld winstmaximalisatie door luchtvaartmaatschappijen. Winstmaximalisatie leidt er bijvoorbeeld toe dat bij een afnemende vraag prijzen dalen, bestemmingen komen te vervallen of luchtvaartmaatschappijen zich terug trekken uit een bepaalde geografische markt. Winstmaximalisatie is in het model niet gemodelleerd; er ontbreekt een bedrijfseconomische module voor luchtvaartmaatschappijen. Ook is er geen mechanisme dat ervoor zorgt dat nieuwe bestemmingen worden gecreëerd of oude bestemmingen komen te vervallen als gevolg van een verandering in de vraag.⁶ Beide gebreken zijn in de vorige validatie al geconstateerd (Blokdijsk en Van Elk, 2006), zie ook het onderstaande tekstvak. Het is jammer dat het niet mogelijk is gebleken om op dit punt een inhoudelijk bevredigender modeloplossing te vinden. Het blijft een belangrijk punt van aandacht.

Ook in de passagiersmodule is een tweetal wijzigingen doorgevoerd ten opzichte van de delphi-versie: (i) het aantal reisalternatieven waarmee in het model rekening wordt gehouden is beperkt: reisalternatieven met een marktaandeel in een bepaald segment van minder dan 0,1%

⁴ Reden hiervoor is dat gams zoekt naar een simultane oplossing waardoor een sequentiële aanpassing langs alle drie dimensies niet meer mogelijk is. Analyse van de delphi-uitkomsten toonde echter aan dat de verschuiving voornamelijk plaatsvond in de U-dimensie, zie Kouwenhoven (2009).

⁵ In plaats van de directe doorwerking van een wijziging van de GTU-frequentie in de vraagmodule is ervoor gekozen om een wijziging van de GTU-frequentie als gevolg van een restrictie te laten plaatsvinden met een vertraging van één jaar. Een wijziging als gevolg van een beleidsmaatregel werkt wel in hetzelfde jaar door in de passagiersmodule. Dit wordt bereikt door het model sequentieel twee maal op te lossen (zie Kouwenhoven, 2009).

⁶ Bestemmingen kunnen wel handmatig worden verwijderd of toegevoegd. De frequentie waarmee op bepaalde bestemmingen wordt gevlogen is wel endogeen. Overigens worden bestemmingen per zone gemodelleerd. Zo bevat het model wel de bestemming ‘Noord-Amerika’, maar geen bestemming ‘Atlanta Airport’. Zodanig is de frequentie per zone wel een indicatie voor het aantal echte bestemmingen (per vliegveld) dat wordt aangevlogen.

worden genegeerd; en (ii) de modellering van de luchthavens van London is gewijzigd. London wordt in het huidige model meegenomen als een luchthaven die zich buiten de catchment area van Schiphol bevindt, zie Kouwenhoven (2009). Als vertrekluchthaven is London immers geen directe concurrent van Schiphol. Op de markt voor transfervluchten is London wel een belangrijke concurrent van Schiphol. Dit is in het model tot uitdrukking gebracht door het inbouwen van een correctiefactor voor transfervluchten via London in de passagiersmodule.

Verschillen t.o.v. vorige validatie (ACCM-II)

Het luchtvaartmodel is eerder door het CPB gevalideerd, zie Blokdijk en van Elk (2006). Het betrof toen het ACCM-II model. De belangrijkste aandachtspunten voor de verder modelontwikkelingen uit de eerste validatie zijn:

- Het ontbreken van een bedrijfseconomische module voor luchtvaartmaatschappijen.
- Het ontbreken van een mechanisme waarlangs nieuwe verbindingen worden aangemaakt.
- Verbetering van de heuristiek die in het ACCM-II de vlootverdeling over de verschillende technologieklassen bepaalt.
- Het model is niet simultaan gemodelleerd en daardoor erg afhankelijk van de gebruiker.

Een aantal van deze aandachtspunten geldt ook voor de huidige modelversie. Zo ontbreken nog steeds een bedrijfseconomische module en een mechanisme waarlangs verbindingen worden aangemaakt en vervallen. Ook is het model niet simultaan gemodelleerd, in de zin dat de vliegfrequentie in de aanbodmodule niet per definitie gelijk is aan de vliegfrequentie in de vraagmodule, zie paragraaf 3.1.

Sinds de vorige validatie is er op een aantal terreinen ook vooruitgang geboekt. Zo is het model nu in een transparante en toegankelijke software (gams) geprogrammeerd. Verder heeft het model met name wat betreft het derde punt van aandacht – de vlootverdeling over verschillende technologieklassen – significant aan kwaliteit gewonnen. In de overgang van het ACCM-III naar Aeolus-delphi is de heuristiek die de vlootverdeling in het ACCM-II en het ACCM-III bepaalde, vervangen door een duidelijke en transparante vlootmodule gebaseerd op empirische waarneming van de verschuiving van de technologieklasse van de Schipholvloot, zie Kouwenhoven (2008b). In de nieuwe module is de vervanging van de vloot onder andere afhankelijk gemaakt van de leeftijd van de vloot in het basisjaar.^a De aanpassing van de vlootsamenstelling naar aanleiding van (beleids-)schokken is nu beter te relateren aan het modelmechanisme en de modelparameters.

In de onderstaande tabel staan de prognoses van de gemiddelde technologieklasse van de Schipholvloot in 2020 volgens ACCM-III en Aeolus-gams.^b De prognose van de gemiddelde technologieklasse is in Aeolus-gams hoger dan in de oorspronkelijke WLO-cijfers en in het ACCM-III, met uitzondering van het scenario Strong Europe. Voor een deel hangt dit samen met de wijziging van het basisjaar. Daarnaast voorspelt Aeolus echter een duidelijk snellere verbetering van technologieklassen tot aan 2020 dan ACCM-III, in een korter tijdsbestek. Het leidt in ieder geval tot een duidelijk verschil ten opzichte van de vorige validatie. De gemiddelde technologieklasse van de vloot heeft met name consequenties voor het niveau van de geluidsemissies en de gemiddelde bezettingsgraden zoals deze door het model worden voorspeld. Ook deze uitkomsten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

^a Zie Kouwenhoven (2008a en b).

^b De vergelijking tussen Aeolus-gams en het ACCM-II kon helaas niet worden gemaakt omdat wij niet over de benodigde gegevens beschikken. Omdat echter de introductie van de vlootmodule heeft plaatsgevonden tijdens de overgang van het ACCM-III naar Aeolus geeft dit een goed beeld van de gevolgen van de nieuwe vlootmodule.

Tabel 3.2 Gemiddelde technologieklasse, aantal vliegtuigbewegingen, TVG-emissies en gemiddelde bezettingsgraad op Schiphol voor verschillende WLO-scenario's volgens ACCM-III en Aeolus-gams (zichtjaar 2020)

| | | Gemiddelde technologie-klasse | Totaal aantal vliegtuigbewegingen (x 1000) | Totaal volume geluid (TVG) Schiphol | Gemiddelde bezettingsgraad ^b |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| ACCM-III (ongerestricteerd) | | | | | |
| Basisjaar 2003 | | 3,12 | 393 | 62,75 | 106 |
| Raming 2020 ^a | Global Economy | 3,88 | 887 | 64,53 | 124 |
| | Strong Europe | 4,24 | 565 | 62,07 | 124 |
| | Transatlantic Market | 3,77 | 739 | 64,15 | 120 |
| | Regional Communities | 3,54 | 477 | 62,47 | 114 |
| Aeolus-gams (ongerestricteerd) | | | | | |
| Basisjaar 2006 | | 3,22 | 423 | 63,05 | 114 |
| Raming 2020 ^a | Global Economy | 4,01 | 862 | 64,52 | 136 |
| | Strong Europe | 4,21 | 529 | 62,44 | 130 |
| | Transatlantic Market | 3,85 | 717 | 63,81 | 131 |
| | Regional Communities | 3,69 | 403 | 62,29 | 125 |

^a Bron: SEO en RAND Europe, 2006, (ACCM-III) en eigen berekeningen (Aeolus-gams).

^b Aantal passagiers gedeeld door het aantal vliegtuigbewegingen in het kader van passagiersvluchten

3.2 Verschillen in modeluitkomsten

In tabel 3.2 worden de uitkomsten van de meest recente versies van het model (ACCM III en Aeolus) in termen van aantallen passagiers en vliegtuigbewegingen in de ongerestricteerde situatie weergegeven. Ook de resultaten van het ACCM II zijn weergegeven omdat dit model is gebruikt bij de vorige validatie en daarom in dit stuk veelal als referentie dient.

Tabel 3.3 Passagiersaantallen en vliegtuigbewegingen in de verschillende versies van het luchtvaartmodel onder de verschillende WLO-scenario's, zonder restricties of tickettax (zichtjaar 2020)

| | Global Economy | Strong Europe | Transatlantic Market | Regional Communities |
|--------------------------------|----------------|---------------|----------------------|----------------------|
| Passagiers totaal (mln) | | | | |
| ACCM II | 96 | 69 | 84 | 64 |
| ACCM III | 105 | 66 | 84 | 52 |
| Aeolus-delphi ^a | 110 | 65 | 90 | 48 |
| Aeolus-gams ^a | 112 | 64 | 91 | 47 |
| Vliegtuigbewegingen (x 1000) | | | | |
| ACCM II | 807 | 579 | 722 | 646 |
| ACCM III | 887 | 565 | 739 | 477 |
| Aeolus-delphi ^a | 850 | 532 | 712 | 407 |
| Aeolus-gams ^a | 862 | 529 | 717 | 403 |
| Geluidsemmissie (TVG in db(A)) | | | | |
| ACCM II | 65,1 | 64,3 | 64,8 | 63,7 |
| ACCM III | 64,5 | 62,1 | 64,2 | 62,5 |
| Aeolus-delphi ^a | 64,6 | 62,5 | 63,8 | 62,3 |
| Aeolus-gams ^a | 64,5 | 62,4 | 63,8 | 62,3 |

^a Merk op dat Aeolus uitgaat van een ander basisjaar (2006) dan het ACCM (2003), zie ook tabel 3.1.

Bron: Blokdijk en Van Elk, 2006 (ACCM II), Significance en SEO m.m.v. TO70, 2008 (ACCM III en Aeolus-delphi) en eigen berekeningen (Aeolus-gams).

In vergelijking met de vorige versie van het luchtvaartmodel dat is gevalideerd (ACCM II), leidt het Aeolus model tot een duidelijk grotere spreiding van uitkomsten tussen de vier WLO-scenario's op het gebied van passagiersaantallen en aantallen vliegtuigbewegingen: in het hoogste groei-scenario Global Economy (GE) voorspelt Aeolus een hoger aantal passagiers en vliegtuigbewegingen dan zijn voorganger terwijl de voorspellingen in het laagste groei-scenario Regional Communities (RC) lager uitvallen. Qua geluidsemmissies liggen de resultaten van Aeolus-gams voor alle scenario's lager dan het ACCM-II. Dit heeft te maken met de nieuwe vlootmodule zoals deze in de overgang van het ACCM-III naar Aeolus-delphi is geïntroduceerd. De resultaten van de gams-versie van Aeolus komen goed overeen met de resultaten uit de delphi-versie van Aeolus. Zoals gesignaleerd in Kouwenhoven (2009) worden de verschillen tussen Aeolus-gams en Aeolus-delphi na 2020 in sommige scenario's wat groter. In de versie met tickettax leidt dit met name in het GE-scenario tot wat hogere passagiersaantallen (zie Kouwenhoven, 2009). In de ongerestricteerde versie valt het aantal vliegtuigbewegingen in het RC-scenario wat lager uit, zie onderstaande tabel. Over het algemeen blijven de verschillen echter bescheiden (kleiner dan 5%).

Tabel 3.4 Passagiersaantallen en vliegtuigbewegingen in de verschillende versies van het luchtvaartmodel onder de verschillende WLO-scenario's, zonder restricties of tickettax (zichtjaar 2040)

| | Global Economy | Strong Europe | Transatlantic Market | Regional Communities |
|-------------------------------|----------------|---------------|----------------------|----------------------|
| Passagiers totaal (mln) | | | | |
| ACCM III | 215 | 116 | 152 | 68 |
| Aeolus-delphi ^a | 233 | 113 | 158 | 63 |
| Aeolus-gams ^a | 240 | 110 | 159 | 60 |
| Vliegtuigbewegingen (x 1000) | | | | |
| ACCM III | 1745 | 942 | 1276 | 596 |
| Aeolus-delphi ^a | 1642 | 841 | 1114 | 480 |
| Aeolus-gams ^a | 1687 | 827 | 1112 | 457 |
| Geluidsemissie (TVG in db(A)) | | | | |
| ACCM III | 62,9 | 60,2 | 62,1 | 59,7 |
| Aeolus-delphi ^a | 64,8 | 61,3 | 62,7 | 60,3 |
| Aeolus-gams ^a | 64,4 | 61,1 | 62,4 | 59,9 |

^a Merk op dat Aeolus uitgaat van een ander basisjaar (2006) dan het ACCM (2003), zie ook tabel 3.1.

Bron: Blokdijk en Van Elk, 2006 (ACCM II), Significance en SEO m.m.v. to70, 2008 (ACCM III en Aeolus-delphi) en eigen berekeningen (Aeolus-gams).

De verschillen tussen de uitkomsten van de verschillende modelversies kunnen over het algemeen worden toegeschreven aan verschillen in modelspecificaties, zie bijvoorbeeld SEO en Significance (2008). Tussen het ACCM III model en het Aeolus model is bovendien het basisjaar (en daarmee een groot aantal inputgegevens) gewijzigd. Zie tabel 3.1 voor een beknopt overzicht van de wijzigingen. Geconstateerd kan worden dat de niveau-uitkomsten van Aeolus-gams aansluiten bij de vier vergezichten op Schiphol zoals die in het kader van het project Mainport Schiphol zijn opgesteld (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006). Deze zullen hier verder niet ter discussie worden gesteld.

Ter referentie zijn in tabel 3.4 de basisuitkomsten van het luchtvaartmodel uit de vorige validatie (ACCM-II) afgezet tegen de modeluitkomsten in de huidige validatie (Aeolus-gams). Het gaat om de resultaten uit het GE-scenario zonder restricties of tickettax en de resultaten van de basisrun met tickettax. Duidelijk is dat er verschillen zijn in de uitkomsten van beide modellen. Zo is het aandeel herkomst/bestemming in Aeolus-gams beduidend lager: in de vorige validatie was dit segment goed voor circa 70% van al het verkeer, dit is nu minder dan 50%. Daaraan gerelateerd is het aandeel Skyteam iets gestegen ten opzichte van de vorige validatie (circa 65% vs. 61%). Beide verschuivingen zijn aannemelijk. Minder plausibel is dat het marktaandeel 'vliegen' ten opzichte van de landmodaliteiten voor bestemmingen binnen Europa opmerkelijk veel hoger ligt dan in de vorige validatie (93% vs. 68%). Het model moet op dit gebied opnieuw worden gekalibreerd. Ook het marktaandeel van Schiphol ten opzichte van andere Europese hubs wijkt sterk af. Dit is echter het gevolg van het feit dat het marktaandeel in de huidige validatie wordt afgezet tegen slechts het marktaandeel van de

luchthavens Frankfurt en Charles de Gaulle, terwijl het in de vorige validatie tevens werd afgezet tegen het marktaandeel van de luchthavens van London. De Londonse luchthavens hebben in het Aeolus-gams een andere status gekregen (zie paragraaf 3.1).

Tabel 3.5 Basisuitkomsten ACCM-II versus Aeolus-gams (GE-scenario, zichtjaar 2020)

| | ACCM-II ongereëtrictteerd ^c | Aeolus-gams ongereëtrictteerd ^d | Aeolus-gams Basis (incl. tickettax) ^d |
|---|---|---|---|
| Marktaandeel vliegen tussen NL en Europa | 67,8% | 92,7% | 92,6% |
| Marktaandeel Schiphol t.o.v. continentale hubs ^a | 16,4% | 30,2% | 28,9% |
| Vliegtuigbewegingen Schiphol (x 1000) | 806,6 | 861,9 | 822,2 |
| Aandeel vrachtluchten | 5,1% | 4,1% | 4,5% |
| Aandeel passagiersvluchten | 94,9% | 95,9% | 95,5% |
| Vracht (kiloton) | 3.458,2 | 3.314,3 | 3314,3 |
| Passagiers Schiphol (mln) | 96,2 | 112,1 | 106,2 |
| Aandeel zakelijk | 39,8% | 38,9% | 39,5% |
| Aandeel privé | 60,2% | 61,1% | 60,5% |
| Aandeel herkomst/bestemming | 70,3% | 48,9% | 47,6% |
| Aandeel transfer | 29,7% | 51,1% | 52,4% |
| Aandeel Skyteam | 61,4% | 65,4% | 67,0% |
| Aandeel Rest excl. Low Cost Carriers ^b | 18,1% | 20,1% | 19,2% |
| Aandeel Low Cost Carriers ^b | 20,5% | 14,5% | 13,8% |
| Aandeel continentaal | 70,3% | 69,9% | 71,4% |
| Aandeel intercontinentaal | 29,7% | 30,1% | 28,6% |
| Geluidsemisissie (Totaal volume geluid in db(A)) | 65,1 | 64,5 | 64,4 |
| Aantal vliegtuigbewegingen Schiphol nacht | ? | 54,4 | 51,8 |

^a Het aantal passagiers op Schiphol ten opzichte van het totaal aantal passagiers op Schiphol, Frankfurt, Parijs en Londen (ACCM-II) en het totaal Schiphol, Frankfurt en Parijs (Aeolus-gams).

^b LCC incl. Charters.

^c Basisjaar 2003.

^d Basisjaar 2006.

Bron: Blokdijk en van Elk, 2006 (ACCM-II) en eigen berekeningen (Aeolus-gams).

4 Exogene veranderingen

In deze paragraaf worden enkele modelruns geanalyseerd waarin veranderingen worden aangebracht in de demografische en economische inputvariabelen. Deze veranderingen zijn ook in het kader van de vorige validatie (Blokdijsk en Van Elk, 2006) geanalyseerd. Het gaat om veranderingen in de WLO-cijfers voor de groei van het BBP per hoofd, de bevolkingsgroei en de wereldhandelsgroei die als exogenen in het model zijn opgenomen. Ter referentie zijn deze groeicijfers opgenomen in de onderstaande tabel. Voor meer informatie over de achtergrond van deze cijfers wordt verwezen naar CPB (2006).

Tabel 4.1 **Uitgangspunten WLO-scenario's voor periode 2001-2020 in West-Europa**

| | BBP per hoofd (mutatie per jaar in %) | Wereldhandel (mutatie per jaar in %) | Bevolking (mutatie per jaar in %) |
|----------------------|--|---|--------------------------------------|
| Global Economy | 2,3 | 5,2 | 0,4 |
| Strong Europe | 1,4 | 4,2 | 0,4 |
| Transatlantic Market | 2,1 | 4,1 | 0,2 |
| Regional Communities | 1,1 | 2,4 | 0 |

Wij analyseren het effect van een verhoging of verlaging van deze groeicijfers voor de regio West-Europa met 1 procentpunt per jaar in het 'Global Economy' (GE)-scenario. Daarnaast controleren wij – in navolging van de voorgaande validatie – of de inkomenselasticiteiten goed in het model zijn verwerkt en analyseren wij het effect van een verandering van de autoparameters (de parkeerkosten op Schiphol en de kosten van autogebruik). In alle exercities geldt de versie van Aeolus-gams met tickettax als basisvariant. In deze paragraaf beschouwen wij de situatie waarin geen capaciteits- of geluidsrestricties gelden.

4.1 BBP groei

Een verhoging van de groeivoet van het BBP per hoofd met 1 procentpunt per jaar leidt veelal tot dezelfde effecten als in de vorige validatie. Zo stijgt het aantal passagiers en het aantal vliegtuigbewegingen met de groei van het BBP per hoofd. Ook stijgt het aandeel privé-passagiers, omdat de inkomensgroei in het model alleen effect heeft op het aantal passagiers in dit segment. Tenslotte stijgt het aandeel herkomst/bestemmingspassagiers, omdat reizigers bij een hoger inkomen eerder geneigd zijn een duurdere directe vlucht te verkiezen boven een goedkopere vlucht met overstap.

Tabel 4.2 Effecten groei BBP per hoofd in West-Europa in het GE-scenario (zichtjaar 2020)

| | BBP per hoofd groei -1% per jaar | Basis (incl. tickettax) | BBP per hoofd groei +1% per jaar |
|---|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Marktaandeel 'vliegen' tussen NL en Europa | 92,6% | 92,6% | 92,5% |
| Marktaandeel Schiphol in 3 continentale hubs ^a | 28,7% | 28,9% | 29,1% |
| Vliegtuigbewegingen Schiphol (x 1000) | 777,0 | 822,2 | 873,0 |
| Aandeel vrachtluchten | 4,9% | 4,5% | 4,0% |
| Aandeel passagiersvluchten | 95,1% | 95,5% | 96,0% |
| Vracht (kiloton) | 3314,3 | 3314,3 | 3314,3 |
| Passagiers Schiphol (mln) | 100,3 | 106,2 | 112,7 |
| Aandeel zakelijk | 41,9% | 39,5% | 37,2% |
| Aandeel privé | 58,1% | 60,5% | 62,8% |
| Aandeel herkomst/bestemming | 46,8% | 47,6% | 48,4% |
| Aandeel transfer | 53,2% | 52,4% | 51,6% |
| Aandeel Skyteam | 67,5% | 67,0% | 66,4% |
| Aandeel Rest excl. Low Cost Carriers ^b | 19,1% | 19,2% | 19,4% |
| Aandeel Low Cost Carriers ^b | 13,4% | 13,8% | 14,2% |
| Aandeel continentaal in herkomst/bestemming | 71,1% | 71,4% | 71,8% |
| Aandeel intercontinentaal in herkomst/bestemming | 28,9% | 28,6% | 28,2% |
| Geluidsemmissie (Totaal volume geluid in db(A)) | 64,3 | 64,4 | 64,5 |
| Aantal vliegtuigbewegingen Schiphol nacht | 49,5 | 51,8 | 54,3 |

^a Totaal aantal passagiers Schiphol ten opzichte van het totaal aantal passagiers op Schiphol, Frankfurt en Parijs.

^b LCC incl. charters.

Er zijn echter ook verschillen aan te wijzen ten opzichte van de validatie van het ACCM II. Zo zijn sommige effecten in kwantitatieve zin iets kleiner dan in de vorige validatie. Als gevolg van een stijging van de groei van het BBP per hoofd namen het aantal vliegtuigbewegingen en het aantal passagiers op Schiphol tijdens de vorige validatie (Blokdijk en Van Elk, 2006) toe met respectievelijk ongeveer 13% en 9%. De huidige runs tonen een toename van ongeveer 6% zowel voor het aantal vliegtuigbewegingen als het aantal passagiers.⁷ Verder is de relatie tussen de ontwikkeling van het vrachtvolume en de BBP-groei naar aanleiding van de aanbevelingen in de vorige validatie uit het model verwijderd.⁸ In tabel 4.2 blijft het aantal vrachtluchten dan ook onveranderd bij een hogere BBP groei, met een dalend aandeel vrachtluchten tot gevolg. Verder steeg het aandeel intercontinentale vluchten in de vorige validatie met de inkomensgroei. Nu daalt het. Het is niet duidelijk waarom dit effect in het nieuwe model van

⁷ De resultaten van de ongerestricteerde versie van het model zonder tickettax – welke beter is de vergelijken met de basisrun uit de vorige validatie – zijn vergelijkbaar. Het aantal passagiers stijgt van 112 mln. naar 119 mln. als gevolg van een stijging van de groeivoet van het BBP per capita met 1%. Dit is gelijk aan 6,3%. Het aantal vliegtuigbewegingen stijgt ook met 6,3% van 862 dzd. naar 917 dzd.

⁸ In Blokdijk en Van Elk (2006) wordt aanbevolen om het vrachtvolume afhankelijk te maken van de handelsgroei in plaats van de groei van het BBP. De resultaten van een exercitie waarbij de wereldhandelsgroei wordt gevarieerd worden besproken in paragraaf 4.2.

teken is veranderd. In het licht van de hoge inkomenselasticiteit op intercontinentale vluchten ligt het intuïtief voor de hand dat juist dit segment profiteert van een hogere BBP groei. Echter, het model bevat geen mechanisme waarbij de voorkeur voor een bestemming (bijvoorbeeld ‘intercontinentaal’) verandert naar aanleiding van een verandering in het inkomen. De bestemmingskeuze is namelijk niet in het model gemodelleerd. Dit is een punt van aandacht in de verder modelontwikkeling.

4.2 Handelsgroei

Het experiment waarbij de handelsgroei in West-Europa met 1 procentpunt per jaar toe- of afneemt leidt in het nieuwe model ook tot ongeveer dezelfde uitkomsten als in de vorige validatie. Zo stijgt het aantal passagiers als gevolg van handelsgroei minder hard dan als gevolg van groei in het BBP per hoofd. Dit ligt eraan dat de handelselecticiteit lager is dan de gemiddelde inkomenselasticiteit in het model. Handelsgroei werkt alleen direct door op het aantal zakelijke reizigers, waardoor het aandeel zakelijke reizigers stijgt ten opzichte van het aandeel niet-zakelijke reizigers.

Tabel 4.3 Effecten groei handel in West-Europa in het GE-scenario (zichtjaar 2020)

| | Handelsgroei –1% per jaar | Basis (incl. tickettax) | Handelsgroei +1% per jaar |
|---|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Marktaandeel 'vliegen' tussen NL en Europa | 92,6% | 92,6% | 92,6% |
| Marktaandeel Schiphol t.o.v. 3 continentale hubs ^a | 28,9% | 28,9% | 29,0% |
| Vliegtuigbewegingen Schiphol (x 1000) | 799,6 | 822,2 | 846,8 |
| Aandeel vrachtluchten | 4,7% | 4,5% | 4,2% |
| Aandeel passagiersvluchten | 95,3% | 95,5% | 95,8% |
| Vracht (kiloton) | 3314,3 | 3314,3 | 3314,3 |
| Passagiers Schiphol (mln) | 103,5 | 106,2 | 109,1 |
| Aandeel zakelijk | 37,9% | 39,5% | 41,1% |
| Aandeel privé | 62,1% | 60,5% | 58,9% |
| Aandeel herkomst/bestemming | 47,2% | 47,6% | 47,9% |
| Aandeel transfer | 52,8% | 52,4% | 52,1% |
| Aandeel Skyteam | 67,1% | 67,0% | 66,9% |
| Aandeel Rest excl. Low Cost Carriers ^b | 19,1% | 19,2% | 19,3% |
| Aandeel Low Cost Carriers ^b | 13,8% | 13,8% | 13,7% |
| Aandeel continentaal in herkomst/bestemming | 70,9% | 71,4% | 71,9% |
| Aandeel intercontinentaal in herkomst/bestemming | 29,1% | 28,6% | 28,1% |
| Geluidsemmissie (Totaal volume geluid in db(A)) | 64,3 | 64,4 | 64,4 |
| Aantal vliegtuigbewegingen Schiphol nacht | 51,0 | 51,8 | 52,7 |

^a Totaal aantal passagiers Schiphol ten opzichte van het totaal aantal passagiers op Schiphol, Frankfurt en Parijs.

^b LCC incl. charters.

In afwijking van de vorige validatie waarin het marktaandeel van Schiphol (weliswaar ten opzichte van Frankfurt, Parijs én London) licht daalde, blijft het marktaandeel Schiphol in het huidige model nagenoeg constant bij een stijging in de wereldhandelsgroei. Ook het marktaandeel vliegen ten opzichte van de landmodaliteiten voor reizen met bestemming Europa blijft nagenoeg constant. In de vorige validatie nam dit licht af met de groei van de wereldhandel.

Opvallend is dat in tabel 4.3 de hoeveelheid vracht niet reageert op een verandering in de groei van de wereldhandel, met wederom een dalend aandeel vrachtvluchten als resultaat. In de vorige validatie werd aanbevolen om de hoeveelheid vracht afhankelijk te maken van de handelsgroei.⁹ Het is immers aannemelijk dat de hoeveelheid vracht stijgt als gevolg van een hogere groei van de wereldhandel. In het oorspronkelijk aan het CPB beschikbaar gestelde model was deze relatie tussen wereldhandel en vracht niet gemodelleerd. Bij navraag bleek dit echter geen bewuste keuze in de modellering, maar een omissie in de omzetting van de delphi-software naar de gams-software. Inmiddels is ook een versie beschikbaar gesteld waarin de relatie tussen handel en vracht wel is gemodelleerd. Helaas ontbreekt de tijd om dit model volledig te toetsen. Uit eerste resultaten blijkt echter wel dat de relatie tussen de groei van de wereldhandel en de totale hoeveelheid vracht die via Schiphol wordt vervoerd alleen geldt voor handel buiten West-Europa: een stijging van de groei van de totale wereldhandel heeft effect op de hoeveelheid vracht die via Schiphol wordt vervoerd; een stijging van alleen de handel in West-Europa niet. Dit is aannemelijk. Volgens het PBL (2009) zijn er geen directe vrachtvluchten vanuit Schiphol op Europese bestemmingen. Volgens het CBS is slechts 3% van het totale vrachtvervoer via Schiphol, Rotterdam, Eindhoven, Maastricht en Groningen de bestemming EU-15.¹⁰

4.3 Bevolkingsgroei

Het experiment waarin de groei van de bevolking in West-Europa met 1 procentpunt wordt gevarieerd leidt qua richting wederom veelal tot dezelfde resultaten als in de vorige validatie. Het aantal reizigers – met name in het niet-zakelijke segment – stijgt als gevolg van extra bevolkingsgroei. Hierdoor stijgt het aandeel low-cost carriers en daalt het aandeel transfer. Niet-zakelijke reizigers zijn immers iets prijsgevoeliger dan zakelijke reizigers, waardoor zij eerder voor relatief goedkope vluchten (van low-cost carriers) kiezen. Low-cost carriers vliegen vrijwel uitsluitend op directe verbindingen, waardoor het aandeel herkomst/bestemming stijgt ten koste van het aandeel transfer.

⁹ In de vorige validatie (met het ACCM II) was de hoeveelheid vracht afhankelijk van de groei van het BBP per hoofd.

¹⁰ CBS Statline (26 mei 2009), Luchtvaart, maandcijfers regionale luchthavens voor november 2008.

Tabel 4.4 Effecten bevolkingsgroei in West-Europa in het GE-scenario (zichtjaar 2020)

| | Bevolkingsgroei –1% per jaar | Basis (incl. tickettax) | Bevolkingsgroei +1% per jaar |
|---|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Marktaandeel 'vliegen' tussen NL en Europa | 92,6% | 92,6% | 92,5% |
| Marktaandeel Schiphol t.o.v. 3 continentale hubs ^a | 28,7% | 28,9% | 29,2% |
| Vliegtuigbewegingen Schiphol (x 1000) | 782,3 | 822,2 | 866,6 |
| Aandeel vrachtluchten | 4,8% | 4,5% | 4,1% |
| Aandeel passagiersvluchten | 95,2% | 95,5% | 95,9% |
| Vracht (kiloton) | 3314,3 | 3314,3 | 3314,3 |
| Passagiers Schiphol (mln) | 101,1 | 106,2 | 111,8 |
| Aandeel zakelijk | 41,5% | 39,5% | 37,5% |
| Aandeel privé | 58,5% | 60,5% | 62,5% |
| Aandeel herkomst/bestemming | 46,8% | 47,6% | 48,4% |
| Aandeel transfer | 53,3% | 52,4% | 51,6% |
| Aandeel Skyteam | 67,5% | 67,0% | 66,4% |
| Aandeel Rest excl. Low Cost Carriers ^b | 19,1% | 19,2% | 19,4% |
| Aandeel Low Cost Carriers ^b | 13,4% | 13,8% | 14,2% |
| Aandeel continentaal in herkomst/bestemming | 70,9% | 71,4% | 72,0% |
| Aandeel intercontinentaal in herkomst/bestemming | 29,1% | 28,6% | 28,0% |
| Geluidsemmissie (Totaal volume geluid in db(A)) | 64,3 | 64,4 | 64,5 |
| Aantal vliegtuigbewegingen Schiphol nacht | 49,8 | 51,8 | 54,0 |

^a Totaal aantal passagiers Schiphol ten opzichte van het totaal aantal passagiers op Schiphol, Frankfurt en Parijs.

^b LCC incl. charters.

4.4 Inkomenselasticiteiten

Ten opzichte van de voorgaande validatie van het ACCM II model is er een verdere differentiatie aangebracht in de inkomenselasticiteiten in het model. Zo worden de elasticiteiten gedifferentieerd naar de WLO-scenario's. De inkomenselasticiteiten in Aeolus voor 2006-2040 staan weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 4.5 Inkomenselasticiteiten in Aeolus

| Bestemming | Periode | Global Economy | Strong Europe | Transatlantic Market | Regional Communities |
|-------------------|---------|----------------|---------------|----------------------|----------------------|
| Europees | 2006-10 | 1,15 | 1,3 | 1,3 | 1,35 |
| | 2011-20 | 1,05 | 1,1 | 1,1 | 1,25 |
| | 2021-30 | 0,9 | 1 | 1 | 1,1 |
| | 2031-40 | 0,9 | 1 | 1 | 1,1 |
| Intercontinentaal | 2006-10 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 |
| | 2011-20 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,5 |
| | 2021-30 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,4 |
| | 2031-40 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,4 |

In alle scenario's dalen op termijn de inkomenselasticiteiten: vliegen wordt minder als luxegoed beschouwd. Intercontinentale vluchten worden meer als luxegoed beschouwd dan intra-Europese vluchten – er geldt hiervoor dan ook een hogere inkomenselasticiteit.¹¹ De inkomenselasticiteiten zijn lager in het hoge groei scenario 'Global Economy' dan in het lage groeiscenario 'Regional Communities.'

Tabel 4.6 Effecten inkomenselasticiteiten in het GE-scenario (zichtjaar 2020)

| | Basis (incl. tickettax) | Inkomenselasticiteit tussen basis en 1 | Inkomenselasticiteit gelijk aan 1 |
|---|----------------------------|---|--------------------------------------|
| Marktaandeel 'vliegen' tussen NL en Europa | 92,6% | 92,6% | 92,6% |
| Marktaandeel Schiphol t.o.v. 3 continentale hubs ^a | 28,9% | 29,0% | 29,1% |
| Vliegtuigbewegingen Schiphol (x 1000) | 822,2 | 806,8 | 792,1 |
| Aandeel vrachtluchten | 4,5% | 4,7% | 4,8% |
| Aandeel passagiersvluchten | 95,5% | 95,3% | 95,2% |
| Vracht (kiloton) | 3314,3 | 3314,3 | 3314,3 |
| Passagiers Schiphol (mln) | 106,2 | 103,6 | 101,1 |
| Aandeel zakelijk | 39,5% | 40,5% | 41,5% |
| Aandeel privé | 60,5% | 59,5% | 58,5% |
| Aandeel herkomst/bestemming | 47,6% | 47,9% | 48,3% |
| Aandeel transfer | 52,4% | 52,1% | 51,7% |
| Aandeel Skyteam | 67,0% | 66,8% | 66,7% |
| Aandeel Rest excl. Low Cost Carriers ^b | 19,2% | 19,3% | 19,4% |
| Aandeel Low Cost Carriers ^b | 13,8% | 13,8% | 13,9% |
| Aandeel continentaal in herkomst/bestemming | 71,4% | 72,1% | 72,8% |
| Aandeel intercontinentaal in herkomst/bestemming | 28,6% | 27,9% | 27,2% |
| Geluidsemmissie (Totaal volume geluid in db(A)) | 64,4 | 64,3 | 64,3 |
| Aantal vliegtuigbewegingen Schiphol nacht | 51,8 | 50,9 | 50,0 |

^a Totaal aantal passagiers Schiphol ten opzichte van het totaal aantal passagiers op Schiphol, Frankfurt en Parijs.

^b LCC incl. charters.

¹¹ Dit komt met name omdat een groter deel van de passagiers op intercontinentale vluchten afkomstig zijn uit ontwikkelingslanden. Voor deze passagiers gelden vliegpreizen meer als luxegoed.

Er zijn twee experimenten uitgevoerd met inkomenselasticiteiten die afwijken van deze basisspecificatie. In één experiment zijn alle inkomenselasticiteiten gelijk gesteld aan 1 – de situatie waarin vliegen niet langer als luxegoed wordt gezien. In het andere experiment zijn de inkomenselasticiteiten gelijk gesteld aan de waarde die exact halverwege ligt tussen 1 en de basisspecificatie. De resultaten staan hieronder in de tabel. Zij zijn wederom in overeenstemming met de resultaten in de vorige validatie: een daling van de inkomenselasticiteit leidt tot een afname van het aantal privé passagiers. Het aandeel intercontinentaal daalt omdat de inkomenselasticiteiten met betrekking tot deze bestemming relatief het meeste zijn aangepast.

Naast een input in het model, is de inkomenselasticiteit ook een uitkomst van het model. De stijging van het BBP per hoofd leidt immers tot een stijging van het aantal passagiers, zie paragraaf 4.1. De grootte van het effect van een inkomensstijging op het aantal passagiers wordt in belangrijke mate bepaald door de exogene inkomenselasticiteiten die als input in het model zitten. Als de inkomenselasticiteiten goed in het model zijn verwerkt, zal de inkomenselasticiteit zoals de modeluitkomsten laten zien overeenkomen met de inkomenselasticiteiten die als exogene inputs in het model zijn opgenomen. Er kunnen echter andere mechanismen in het model zitten die de werking van deze elasticiteiten vertroebelen. Om na te gaan of dit het geval is, hebben wij de groei van het BBP per hoofd in alle regio's (dus niet alleen in West-Europa) met 1 procentpunt verhoogd. Deze stijging van de groei van het BBP per hoofd leidt tot een stijging van het aantal passagiers in het niet-zakelijke verkeer van gemiddeld 1,28% per jaar. In de uitkomsten laat het model dus een gemiddelde inkomenselasticiteit van 1,28 zien. Dit is in overeenstemming met de vorige validatie en sluit goed aan bij de exogene inkomenselasticiteiten die als input in het model worden gebruikt (tabel 4.6).

4.5 Parameters autogebruik en parkeerkosten

Bij het laatste experiment is de waarde van een aantal parameters die betrekking hebben op de kosten van autogebruik van en naar Schiphol – parkeerkosten en het gemiddelde benzineverbruik van een auto¹² – in het basisjaar 2006 éénmalig met 50% verhoogd. De groeivoeten van deze variabelen zijn constant gehouden aan de basisvariant. Dit leidde tot de volgende uitkomsten:

¹² Er is ook geëxperimenteerd met een verhoging van de benzinekosten van de auto. Dit leverde identieke resultaten als een verhoging van het benzineverbruik van een auto.

Tabel 4.7 Effecten autoparameters op Schiphol in het GE-scenario (zichtjaar 2020)

| | Basis (incl. tickettax) | Parkeerkosten +50% | Benzineverbruik +50% |
|---|----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Marktaandeel 'vliegen' tussen NL en Europa | 92,6% | 92,6% | 93,3% |
| Marktaandeel Schiphol t.o.v. 3 continentale hubs ^a | 28,9% | 28,8% | 28,9% |
| Vliegtuigbewegingen Schiphol (x 1000) | 822,2 | 822,1 | 822,8 |
| Aandeel vrachtluchten | 4,5% | 4,5% | 4,4% |
| Aandeel passagiersvluchten | 95,5% | 95,5% | 95,6% |
| Vracht (kiloton) | 3314,3 | 3314,3 | 3314,3 |
| Passagiers Schiphol (mln) | 106,2 | 106,1 | 106,3 |
| Aandeel zakelijk | 39,5% | 39,5% | 39,5% |
| Aandeel privé | 60,5% | 60,5% | 60,5% |
| Aandeel herkomst/bestemming | 47,6% | 47,4% | 47,6% |
| Aandeel transfer | 52,4% | 52,6% | 52,4% |
| Aandeel Skyteam | 67,0% | 67,1% | 67,0% |
| Aandeel Rest excl. Low Cost Carriers ^b | 19,2% | 19,2% | 19,3% |
| Aandeel Low Cost Carriers ^b | 13,8% | 13,7% | 13,8% |
| Aandeel continentaal in herkomst/bestemming | 71,4% | 71,5% | 71,3% |
| Aandeel intercontinentaal in herkomst/bestemming | 28,6% | 28,5% | 28,7% |
| Geluidsemisatie (Totaal volume geluid in db(A)) | 64,4 | 64,4 | 64,4 |
| Aantal vliegtuigbewegingen Schiphol nacht | 51,8 | 51,8 | 51,9 |

^a Totaal aantal passagiers Schiphol ten opzichte van het totaal aantal passagiers op Schiphol, Frankfurt en Parijs.

^b LCC incl. charters.

De effecten van een aanpassing van de autoparameters zijn over het algemeen niet groot. In vergelijking tot de vorige validatie treden er iets andere effecten op en zijn de effecten over het algemeen kleiner. Zo daalde het aantal vliegtuigbewegingen en passagiers in de vorige validatie zowel naar aanleiding van een stijging van de kosten van autogebruik als een stijging van de parkeerkosten. In het huidige model stijgt het aantal vliegtuigbewegingen en het aantal passagiers naar aanleiding van de stijging van de kosten van autogebruik (benzineverbruik). Het verschil kan waarschijnlijk worden gerelateerd aan de nieuwe groeimodule die in Aeolus-delphi is geïntroduceerd. Beide uitkomsten zijn mogelijk, aangezien er twee tegengestelde effecten optreden. Ten eerste wordt reizen per auto duurder. Mensen zullen dan eerder voor het vliegtuig kiezen: de modaliteit 'vliegen' wordt aantrekkelijker ten opzichte van de auto. Ten tweede wordt echter ook de totale vliegreis duurder omdat de kosten voor het voor- en natransport stijgen. Hierdoor neemt de vraag naar vliegreizen af.

Opvallend is daarnaast de aanzienlijke stijging van het marktaandeel 'vliegen' naar aanleiding van een stijging van het benzineverbruik. Uit tabel 4.8 is duidelijk dat de vraag naar vliegreizen slechts marginaal stijgt als gevolg van een stijging van de kosten van autogebruik. De desondanks aanzienlijke stijging van het marktaandeel 'vliegen' zou in dat geval alleen

worden toegeschreven aan vraaguitval. Het effect op het marktaandeel lijkt aan de hoge kant. Verder daalt het aandeel ‘continentaal’ als gevolg van een stijging in de kosten van het autogebruik. Dit is contra-intuïtief omdat het vliegtuig juist op reizen binnen Europa concurrentie ondervindt van de landmodaliteiten in tegenstelling tot reizen buiten Europa. Wellicht zijn deze kanttekeningen te ondervangen met een hernieuwde kalibratie van de landmodaliteiten zoals aanbevolen in paragraaf 3.

Naar aanleiding van een toename in de parkeerkosten op Schiphol daalt zoals verwacht het aantal vliegtuigbewegingen van en naar Schiphol: Schiphol wordt iets minder aantrekkelijk. Daarnaast stijgt het aandeel transfer op Schiphol, aangezien dit segment geen last ondervindt van de stijging van de parkeerkosten op Schiphol. Dat het effect van parkeerkosten zo klein is, is opmerkelijk. Zeker voor particuliere reizigers die voor langere tijd parkeren, vormen parkeerkosten een significant onderdeel van de totale reiskosten.¹³ Een stijging van 50% van deze parkeerkosten zou dan een groter effect moeten hebben. In het model wordt echter aangenomen dat de parkeerduur per reis slechts één dag bedraagt. Voor zakelijke reizigers is dit plausibel, voor het particuliere segment niet. Wellicht kan dit bij de nieuwe kalibratie van de landmodaliteiten, zoals eerder in dit stuk aanbevolen, worden aangepast. Dit is van belang omdat zaken als parkeertarieven en bereikbaarheid een belangrijke rol spelen in de concurrentie tussen Nederlandse luchthavens onderling en de concurrentie tussen Nederlandse luchthavens en de luchthavens vlak over de grens.

4.6 Conclusie

In deze paragraaf is een aantal modelexercities besproken waarin de waarde van verschillende exogene inputs in het model is aangepast: groei van het BBP per hoofd, bevolkings- en handelsgroei en autoparameters. Ook is gekeken of de inkomenselasticiteiten goed in het model zijn verwerkt. Het algemene beeld uit deze exercities was goed: de resultaten kwamen – enkele uitzonderingen daargelaten – overeen met de resultaten uit de vorige exercities en zijn plausibel. In een aantal gevallen week de richting van het effect af ten opzichte van de vorige validatie. De meest in het oog springende verschillen waren de daling van het aandeel intercontinentaal naar aanleiding van een stijging van het inkomen en een stijging van het aantal vliegtuigbewegingen, het aantal passagiers en het marktaandeel ‘vliegen’ naar aanleiding van een stijging van de kosten van het autogebruik.

¹³ Parkeertarieven voor 8 dagen beginnen bijvoorbeeld bij €49,50 (tarief 25 mei 2009, zie <http://www.schiphol.nl/VanNaarSchiphol/ParkerenOpSchiphol.htm>)

5 Restricties en beleidsopties

Tot nu toe zijn alleen resultaten van de ongerestricteerde versie van Aeolus (met tickettax) besproken. Het model kent echter een aantal restricties die kunnen gelden ten aanzien van het totale vliegvolume en verschillende andere beleidsopties naast de tickettax. De restricties en beleidsopties zullen eerst kort worden toegelicht in paragraaf 5.1. Vervolgens worden in paragraaf 5.2 de modeluitkomsten met de verschillende restricties geanalyseerd.

5.1 Typen restricties en beleidsmaatregelen

5.1.1 Restricties

Het model kent een tweetal restricties ten aanzien van de totale hoeveelheid vliegverkeer die mogelijk is van en naar Schiphol. De eerste restrictie hangt samen met de wettelijke grenzen die zijn gesteld aan de geluidsemissies van het vliegverkeer van en naar Schiphol. De hoeveelheid geluidsemissies wordt gemeten aan de hand van het totaal volume geluid (TVG). Deze hoeveelheid is met name afhankelijk van de vlootsamenstelling (vliegtuigen uit een hogere technologieklasse zijn stiller) en het uur van de dag waarop vliegtuigen starten en landen. Waar de geluidsemissies plaatsvinden, speelt geen rol: alle vluchten worden verondersteld te vertrekken en te landen via dezelfde baan. Onderzoeksbureau TO70 heeft onderzoek gedaan naar andere mogelijkheden om de geluidsemissies in Aeolus te modelleren, bijvoorbeeld aan de hand van handhavingpunten (Stigter, 2007). Dit bleek op een aantal praktische bezwaren te stuiten. Bovendien leek TVG het meest stringente criterium voor geluidsemissies. De maximaal wettelijk toegestane waarde voor TVG is 63.46 dB(A). Voor standaardruns wordt in Aeolus aangenomen dat deze grens ook in de toekomst niet zal veranderen. Dit kan echter door de gebruiker worden aangepast. Ook op de regionale luchthavens in Nederland gelden TVG-limieten. Buitenlandse luchthavens kennen een dergelijke limiet niet.

Naast een beperking uit hoofde van geluidsemissies is ook de fysieke ruimte op de luchthaven beperkt. Schiphol kent immers maar een beperkt aantal start- en landingsbanen. Er is daarom een limiet aan het aantal vluchten dat dagelijks van de luchthaven gebruik kan maken. Deze limiet wordt de fysieke of de vluchtlimiet genoemd. Uitgaande van het huidige banenstelsel is deze limiet voor het GE-scenario in de periode 2001-2020 vastgesteld op 138 vliegtuigbewegingen per uur, hetgeen gelijk is aan 850.000 vliegtuigbewegingen op jaarbasis.¹⁴ Dankzij technologische verbeteringen stijgt de operationele bezettingsgraad iets over de tijd. In

¹⁴ Zie CPB (2006). Eén van de aanbevelingen uit het Aldersadvies voor de ontwikkeling van Schiphol op middellange termijn is om tot en met 2020 maximaal 510.000 vliegtuigbewegingen op Schiphol te accommoderen en het aantal nachtvluchten te begrenzen tot 32.000. Dit is overgenomen in de luchtvaartnota (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009, p.6). In tabel 5.1 komt dit neer op zo'n 11 vluchten per uur gedurende de periode 23.00-7.00u. en 82 vluchten per uur in de overige tijdsvensters (uitgaande van 365 dagen per jaar en maximale benutting tijdens de nachturen). Op luchthavens van nationale betekenis (in eerste instantie Eindhoven en Lelystad) zouden volgens het Aldersadvies nog zo'n 70.000 additionele vliegtuigbewegingen kunnen worden geaccommodeerd.

de periode 2021-2040 is de limiet daarom iets ruimer. Verschillen in deze technologische verbeteringen verklaren de verschillende capaciteitsgrenzen in de verschillende scenario's. In de nacht zijn de capaciteitsgrenzen strenger. Eigenlijk is dit geen fysieke grens (het aantal start- en landingsbanen wijzigt immers 's nachts niet), maar een geluidsrestrictie. De maximaal wettelijk toegestane hoeveelheid geluid die 's nachts mag worden geproduceerd is beduidend kleiner dan de norm die gedurende de dag geldt. Het is daarom redelijk om de hoeveelheid vliegtuigbewegingen 's nachts verder te beperken, zie CPB (2006). Om de overzichtelijkheid te vergroten strekt het echter tot aanbeveling om dit in het model duidelijker van elkaar te onderscheiden. Vluchtlimieten gelden ook voor de andere hub-luchthavens in het model Charles de Gaulle en Frankfurt.

Tabel 5.1 Fysieke capaciteitsgrenzen^a op Schiphol in de verschillende WLO-scenario's naar dagdeel, periode 2001-2020

| | Aantal vliegtuigbewegingen per uur | | | |
|-------------------------|------------------------------------|---------------|----------------------|----------------------|
| | Global Economy | Strong Europe | Transatlantic Market | Regional Communities |
| Ochtend (07.00-12.00u.) | 138 | 123 | 123 | 109 |
| Middag (12.00-19.00u.) | 138 | 123 | 123 | 109 |
| Avond (19.00-23.00u.) | 138 | 123 | 123 | 109 |
| Nacht (23.00-07.00u.) | 15 | 15 | 15 | 15 |

^a Uitgaande van 5P banenstelsel (zie CPB, 2006).

5.1.2 Beleidsmaatregelen

De eerste beleidsoptie die in het model is gebracht is de tickettax. Bij deze maatregel wordt de prijs van een vliegticket per enkele reis verhoogd met een bepaald bedrag afhankelijk van de bestemming van de reis, zie tabel 5.2. In het model treedt de tickettax in 2009 in werking.

Omdat de tickettax in de praktijk al in 2008 is ingevoerd, wordt de situatie met tickettax vaak als referentie gebruikt. Hoewel de tickettax per 1 juli 2009 weer wordt afgeschaft, geldt in deze notitie de situatie met tickettax nog als basisvariant, zie paragraaf 4.

Tabel 5.2 Hoogte tickettax per enkele reis naar bestemming^a

| | Herkomst-bestemmingsverkeer |
|-------------------|-----------------------------|
| Europa | € 5,88 |
| Intercontinentaal | € 22,50 |

^a De tickettax is in werkelijkheid alleen een vertrekbelasting. Aeolus werkt intern met enkele reizen. Hierdoor zou een asymmetrie in de kosten voor een heen- en terugreis ontstaan welke zou leiden tot een asymmetrie in vervoersstromen. Om dit te vermijden wordt de tickettax in Aeolus verdeeld over de heen- en terugreis.

Enkele beleidsopties ontbreken nog in de versie zoals deze aan het CPB ter beschikking is gesteld (zoals de belasting op kerosine, BTW-heffing op tickets en de invoering van een systeem van slottrading). Deze opties maken daarom geen deel uit van deze validatie.

5.2 Resultaten met restricties

5.2.1 Algemene restricties

Tabel 5.3 toont de resultaten van Aeolus-gams in termen van het aantal passagiers, het aantal vliegtuigbewegingen en de geluidsemissies in de situatie waarin verschillende (combinaties van) restricties gelden.¹⁵ Zoals in paragraaf 5.1 is vermeld gelden in Aeolus geluidsrestricties in beginsel ook voor de regionale Nederlandse luchthavens en vluchtlimieten ook voor de andere internationale hub-luchthavens Charles de Gaulle en Frankfurt. In paragraaf 5.2.2. beschouwen wij de situatie waarin de restricties alleen voor Schiphol worden opgelegd. Naast de TVG- en vluchtlimiet zijn ook de effecten van de tickettax in beschouwing genomen.

Tabel 5.3 Raming en norm geluidsemissies en fysieke capaciteit in Aeolus-gams onder verschillende algemene restricties^a in het GE-scenario (zichtjaar 2020)

| Raming | Geluidsemissie (TVG in db(A)) | Aantal vliegbewegingen (x1000) op jaarbasis | | | | | Totaal | Aantal passagiers (mln) |
|--|----------------------------------|---|--------|-------|-------|-----|--------|-------------------------------|
| | | ochtend | middag | avond | nacht | | | |
| Ongereïctieerd | 64,52 | 289 | 353 | 166 | 54 | 862 | 112 | |
| Tickettax | 64,39 | 276 | 336 | 158 | 52 | 822 | 106 | |
| TVG-reïctie | 63,46 | 214 | 264 | 125 | 39 | 642 | 80 | |
| Vluchtlimiet | 64,22 | 252 | 352 | 165 | 44 | 814 | 106 | |
| Tickettax en TVG-reïctie | 63,46 | 212 | 262 | 123 | 38 | 635 | 79 | |
| Tickettax en vluchtlimiet | 64,17 | 252 | 340 | 160 | 44 | 795 | 103 | |
| TVG-reïctie en vluchtlimiet | 63,46 | 220 | 271 | 127 | 39 | 657 | 83 | |
| Tickettax, TVG-reïctie en vluchtlimiet | 63,46 | 218 | 268 | 126 | 38 | 651 | 82 | |
| Norm | 63,46 | 252 | 353 | 202 | 44 | 850 | n.v.t. | |

^a De TVG-reïctie geldt op Schiphol en de regionale Nederlandse luchthavens. De vluchtlimiet is van toepassing op Schiphol, Frankfurt en Charles de Gaulle, zie paragraaf 5.1.1.

De TVG-reïctie is de meest bindende reïctie, d.w.z. deze leidt tot de grootste afname van het aantal passagiers en het aantal vliegtuigbewegingen. Uit tabel 5.3 blijkt ook dat deze reïctie beperkend is. In een situatie waarin een TVG-limiet geldt is de geluidsemissie precies gelijk aan het wettelijk maximum (63,46 db(A)). Dit geldt niet voor de vluchtlimiet. Zoals al blijkt uit vergelijking van het aantal toegestane nachtvluchten met de “gevraagde” aantallen in de tabellen in paragraaf 3 en 4 werkt de vluchtlimiet vooral ’s nachts. Met name in de avond wordt niet de hele capaciteit benut. Hier ligt de beperking in de vraag, want ook in de situatie

¹⁵ In appendix 1 staan uitgebreidere uitkomsten gerapporteerd.

zonder capaciteitslimieten blijft de vraag in de avond ver onder de capaciteitslimiet, zie tabel 5.3. Dit patroon is in overeenstemming met de vorige validatie en is toen ook door de sector bevestigd, zie Blokdijk en Van Elk (2006). Het totaal aantal vliegtuigbewegingen op Schiphol is in alle situaties met restricties of tickettax lager dan het maximum aantal vliegbewegingen dat volgt uit volledige benutting (850 duizend vliegtuigbewegingen).

Opvallend resultaat is dat het aantal passagiers en het aantal vliegtuigbewegingen toenemen als de TVG-restrictie wordt gecombineerd met de vluchtlimiet.¹⁶ Dit is enigszins contra-intuïtief: aangezien de TVG-restrictie bindend is, zou je verwachten dat het aantal passagiers en het aantal vliegtuigbewegingen niet verder kan stijgen als er een additionele restrictie wordt toegevoegd. Het is ook in tegenspraak met de resultaten uit de vorige validatie, waar het aantal vluchten in de situatie met alleen een TVG-restrictie hoger was dan in een situatie met zowel TVG- als vluchtrestrictie.¹⁷ De situatie lijkt te worden veroorzaakt door het feit dat de vluchtlimiet, naast voor Schiphol, ook geldt voor de luchthavens Frankfurt en Parijs. Zodra de fysieke limieten op deze buitenlandse luchthavens bindend worden, verschuift een deel van de vraag op deze luchthavens naar Schiphol. Het gaat hier om het meest mobiele segment van de vraag: de transferpassagiers. De samenstelling van de vraag naar vliegtoeren op Schiphol wordt hierdoor iets anders: er komt relatief meer vraag van transferpassagiers. Hierdoor kan worden gekozen voor een iets andere vlootsamenstelling, hetgeen resulteert in een iets ander optimum in termen van passagiersaantallen en vliegtuigbewegingen.¹⁸ De GTU samenstelling van de vloot in de situatie met verschillende (combinaties van) restricties is weergegeven in appendix 1. Duidelijk is dat de verschillen zeer klein zijn. Ook met deze verklaring blijft de uitkomst opmerkelijk: de vraag blijft tenslotte waarom optimaliserende luchtvaartmaatschappijen in de situatie met alleen de TVG-restrictie niet met deze andere vlootsamenstelling vliegen als daarmee meer passagiers en vliegtuigbewegingen kunnen worden geacommodeerd. Dit blijft een punt van aandacht in de verdere modelontwikkeling.

5.2.2 Schiphol-specifieke restricties

Zoals vermeld gelden geluidsrestricties in beginsel in Aeolus ook voor de regionale Nederlandse luchthavens en vluchtlimieten ook voor de internationale hubluchthavens. Wanneer alle restricties alleen voor Schiphol gelden (tabel 5.4), leidt dit naar verwachting tot een grotere afname van het aantal passagiers en het aantal vliegtuigbewegingen op Schiphol in vergelijking tot de situatie waarin de restricties ook voor andere luchthavens gelden (tabel 5.3). Opvallend is dat wanneer slechts één restrictie wordt opgelegd aan Schiphol, het aantal vliegbewegingen iets hoger is dan in de situatie waarin deze restrictie ook aan andere

¹⁶ Dit geldt ook voor de situatie waarin de TVG-limiet wordt gecombineerd met zowel de vluchtlimiet als de tickettax.

¹⁷ In contrast met de vorige validatie gaat het huidige model uit van een hogere fysieke capaciteit en is de vlootmodule aangepast, waardoor er meer vluchten binnen de TVG-limiet passen.

¹⁸ Hierbij moet worden opgemerkt dat Aeolus-gams niet optimaliseert naar een maximaal aantal passagiers of vluchten op Schiphol, maar naar een minimale hoeveelheid schaduwkosten gesommeerd over alle reizigers.

luchthavens wordt opgelegd. Als alleen de TVG-restrictie aan Schiphol wordt opgelegd, accommodeert Schiphol bijvoorbeeld 651 vliegtuigbewegingen. In een situatie waarin de TVG-restrictie ook voor de regionale luchthavens geldt zijn dit er 642. Ook bij de vluchtlimiet tekent zich dit verschijnsel af. De verschillen zijn klein, maar de richting van het effect staat op gespannen voet met wat men a priori zou verwachten.

Tabel 5.4 Aantal passagiers en aantal vliegtuigbewegingen in Aeolus-gams onder verschillende Schiphol-specifieke restricties^a in het GE-scenario (zichtjaar 2020)

| | Geluidsemissie (TVG in db(A)) | Aantal vliegtuigbewegingen nacht (x 1000) | Aantal vliegtuigbewegingen totaal (x1000) | Aantal passagiers (mln) |
|---|----------------------------------|---|---|-------------------------------|
| Ongereïcticeerd | 64,5 | 54,4 | 862 | 112 |
| Tickettax | 64 | 52 | 822 | 106 |
| TVG-restrictie | 63 | 39 | 651 | 81 |
| Vluchtlimiet | 64 | 44 | 818 | 106 |
| Tickettax en TVG-restrictie | 63 | 38 | 645 | 80 |
| Tickettax en vluchtlimiet | 64 | 44 | 802 | 103 |
| TVG-restrictie en vluchtlimiet | 63 | 39 | 651 | 81 |
| Tickettax, TVG-restrictie en vluchtlimiet | 63 | 38 | 635 | 79 |

^a Zowel de TVG-restrictie als de vluchtlimiet is alleen van toepassing op Schiphol.

Uit tabel 5.4 wordt verder duidelijk dat het contra-intuïtieve resultaat uit de vorige paragraaf hier verdwijnt: omdat er geen vluchtlimieten gelden voor Frankfurt en Parijs, profiteert Schiphol in deze situatie niet van vraaguitval op deze luchthavens. Het ontbreken van het samenstellingseffect (de relatief grotere vraag van transferpassagiers) zorgt ervoor dat de aantallen passagiers en vliegtuigbewegingen niet stijgen in een situatie waarin zowel een TVG- als vluchtrestrictie geldt ten opzichte van een situatie waarin alleen een TVG-restrictie geldt.

Regionale luchthavens

Aeolus is primair gericht op het voorspellen van het vliegverkeer rondom Schiphol. Naast Schiphol zijn er in het model echter ook een aantal regionale Nederlandse luchthavens opgenomen: Rotterdam, Eindhoven, Maastricht, Groningen, Enschede en Lelystad. De ontwikkelingen op Schiphol kunnen immers consequenties hebben voor de regionale luchthavens. In de onderstaande tabel is bijvoorbeeld uitgedrukt wat de ontwikkeling is van het aantal passagiers op Schiphol en de regionale luchthavens wanneer er op Schiphol achtereenvolgens een tickettax, vluchtlimiet en TVG-restrictie wordt geïntroduceerd. De regionale luchthavens Enschede en Lelystad worden in de output van het model niet op dezelfde manier gerapporteerd, waardoor we de resultaten voor deze luchthavens hier helaas niet kunnen weergeven. Het strekt tot aanbeveling dit in toekomst te wijzigen. Ook het aantal vliegtuigbewegingen op de regionale luchthavens volgt niet uit de output van het huidige model, waardoor wij ze niet rapporteren. Met het oog op de beleidsrelevantie – naar aanleiding van de aanbevelingen van het Aldersadvies voor de ontwikkelingen van Schiphol op middellange termijn (recentelijk overgenomen in de luchtvaartnota) die neerkomen op het accommoderen van 70.000 vliegtuigbewegingen op luchthavens van nationale betekenis (in eerste instantie Eindhoven en Lelystad) – is het aan te bevelen dit aan te passen. Een verdere aanbeveling zou zijn om de mogelijkheid te creëren om ook op de regionale luchthavens fysieke restricties op te kunnen leggen. In het huidige model kunnen alleen geluidsrestricties worden opgelegd op de regionale luchthavens. Tevens zou de concurrentie met luchthavens vlak over de grens (Niederrhein en Charleroi) meer tot uiting kunnen komen in het model.

Aantal passagiers op Schiphol en regionale luchthavens in Aeolus-gams onder Schiphol-specifieke restricties^a in het GE-scenario (zichtjaar 2020)

| | 2006 | 2020 | | Tickettax en vluchtlimiet Schiphol | Tickettax, vluchtlimiet Schiphol en TVG-restrictie Schiphol |
|-------------------------------|------|-----------------|-----------|------------------------------------|---|
| | | Ongereëtriceerd | Tickettax | | |
| Aantallen passagiers (in mln) | | | | | |
| Schiphol | 46,2 | 112,1 | 106,2 | 103,1 | 79,3 |
| Rotterdam | 1,0 | 2,1 | 2,0 | 2,3 | 2,4 |
| Eindhoven | 1,1 | 2,0 | 1,9 | 2,1 | 2,2 |
| Maastricht | 0,3 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,6 |
| Groningen | 0,1 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |

^a Zowel de TVG-restrictie als de vluchtlimiet is alleen van toepassing op Schiphol. Zo wordt inzicht verkregen in de vraageffecten op regionale luchthavens van restricties op Schiphol

Duidelijk is dat een beperking van het vliegverkeer op Schiphol (via de tickettax, vluchtlimiet of TVG-restrictie) gevolgen heeft voor het vliegverkeer op de regionale luchthavens. De vluchtlimiet leidt tot een toename op alle regionale luchthavens. Het daarnaast opleggen van de TVG-restrictie leidt tot een beperkte additionele stijging van het aantal passagiers op regionale luchthavens. De conclusie luidt dat het instellen (of aanscherpen) van de vluchtlimiet op Schiphol een beperkt effect heeft op de vraag naar vluchten op regionale luchthavens. De totale vraag naar vliegzeizen in Nederland (inclusief Schiphol) daalt.

6 Milieuberekeningen

Eén van de grootste aanvullingen van het model ten opzichte van de vorige validatie is de uitbreiding van de milieuberekeningen. In Aeolus-gams worden de emissies van CO, NO_x, VOS, SO₂ en PM₁₀ op Schiphol tijdens de start- en landingsfase in kaart gebracht. Ook worden de *wereldwijde* CO₂-emissies in het model gekwantificeerd. Nieuw is ook de kwantificering van het totaal risico gewicht – een maatstaf voor het ongevalsrisico waaraan de omgeving van de luchthaven is blootgesteld.¹⁹

Tabel 6.1 Resultaten t.a.v. milieu en veiligheid in GE-scenario (zichtjaar 2020)

| | | Basis (incl. tickettax) | Groei BBP per hoofd +1% | Groei handel en vracht +1% | Bevolkings groei +1% | Tickettax, TVG- en vluchtlimiet |
|---|------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| LTO emissies | | | | | | |
| CO (limiet = 58,1) | (g/ton MTOW) | 40,2 | 40,1 | 40,2 | 40,2 | 40,7 |
| NO _x (limiet = 74,6) | (g/ton MTOW) | 73,8 | 73,7 | 73,7 | 73,7 | 73,3 |
| VOS (limiet = 9,9) | (g/ton MTOW) | 4,7 | 4,6 | 4,7 | 4,6 | 4,8 |
| SO ₂ (limiet = 2,1) | (g/ton MTOW) | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| PM ₁₀ (limiet = 2,5) | (g/ton MTOW) | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 |
| CO | (kton/jaar) | 3526 | 3680 | 3605 | 3656 | 2814 |
| NO _x | (kton/jaar) | 6242 | 6512 | 6367 | 6465 | 4876 |
| VOS | (kton/jaar) | 414 | 426 | 421 | 424 | 336 |
| SO ₂ | (kton/jaar) | 160 | 167 | 163 | 166 | 126 |
| PM ₁₀ | (kton/jaar) | 206 | 215 | 210 | 213 | 162 |
| CO₂ emissies | | | | | | |
| Lucht | (1000 Mton/jaar) | 7135 | 7513 | 7214 | 7415 | 7126 |
| Land | (1000 Mton/jaar) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Access | (1000 Mton/jaar) | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Totaal | (1000 Mton/jaar) | 7140 | 7519 | 7219 | 7420 | 7131 |
| Totaal risico gewicht | | | | | | |
| (limiet = 9,724) | ton/jaar | 10,4 | 10,8 | 10,6 | 10,7 | 8,3 |
| Aantal vliegtuigbewegingen en vlootsamenstelling | | | | | | |
| Aantal vliegtuigbewegingen (×1000) | | 822,2 | 873,0 | 847,5 | 866,6 | 650,6 |
| Gemiddelde grootteklasse ^a | | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| Gemiddelde technologieklasse ^a | | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |

^a De gemiddelde grootte- en technologieklasse zijn als volgt te duiden: hoe hoger het getal, hoe groter het vliegtuig respectievelijk hoe hoger de technologieklasse.

¹⁹ Het totaal risico gewicht wordt gedefinieerd als het product van de gemiddelde ongevalkans per vliegtuigbeweging, het aantal vliegtuigbewegingen per jaar en het gemiddelde maximum startgewicht van een vliegtuig. Het totaal risico gewicht mag per gebruikjaar niet meer bedragen dan 9,724 ton (luchthavenverkeersbesluit Schiphol, 2002).

De resultaten op het gebied van de milieu- en veiligheidsnormen voor de verschillende varianten zijn weergegeven in tabel 6.1. Het CPB beschikt niet over de expertise om de plausibiliteit van de uitkomsten op het gebied van milieuemissies te toetsen.

Vooralsnog hebben al deze vormen van uitstoot, alhoewel zij wettelijk zijn genormeerd, geen gevolgen in het model. Met andere woorden: als limieten dreigen te worden overschreden, vindt er geen aanpassing plaats van het aantal vliegtuigbewegingen. De diverse milieu- en veiligheidsnormen in het model zijn dus niet bindend. Dit zou in de toekomst nog kunnen worden aangepast, maar zou wel repercussies hebben voor de runtijd van het model. In de praktijk lijkt alleen de norm voor veiligheid (de TRG-limiet) te worden overschreden. De limieten op de diverse milieuemissies worden in de praktijk niet bereikt, zie tabel 6.1.

7 Implementatie en gebruiksgemak

Tijdens de exercities bleek het model vlot te implementeren; het was binnen een half uur gebruiksklaar. Het draaien van de modelruns verliep zonder problemen, met uitzondering van één combinatie van restricties (tickettax en TVG-limiet). De problemen met deze run konden echter door Significance op korte termijn worden verholpen.²⁰ De doorlooptijd van het model in een situatie met restricties is beperkt ten opzichte van de Aeolus-delphi versie. In het GE-scenario met beleid zonder restricties duurt de gemiddelde run ongeveer een uur. De doorlooptijd met restricties is iets langer, ongeveer één uur en drie kwartier.

De structuur en opzet van het model zijn duidelijk. Er is een onderscheid gemaakt tussen verschillende modules en inputs. Op een aantal punten zou de aansturing van het model mogelijk kunnen worden verbeterd:

- Een betere scheiding tussen startwaarden en exogenen behorend bij een vast basisjaar en exogenen die aangepast kunnen worden om diverse tijdpaden te maken, zou ervoor kunnen zorgen dat de aansturing van het model gebruikersvriendelijker wordt. Als alle variabelen die kunnen worden aangepast in één file zijn gebundeld, wordt het voor de gebruiker ook makkelijker om de verschillende modelruns van elkaar te onderscheiden en te documenteren.
- De modelvergelijkingen staan momenteel in verschillende blokken gesplitst. Het lijkt voor de gebruiker overzichtelijker om de belangrijkste vergelijkingen te bundelen in één bestand.
- Een aantal relevante gegevens worden in het huidige model niet in de output zichtbaar, zoals het aantal passagiers en vliegtuigbewegingen op de luchthavens van London, het aantal

²⁰ De problemen bleken te liggen aan de gams-versie waarin het model werd gedraaid. Voor de 32-bits versie is de oplosroutine iets aangepast, waarna de run zonder problemen kon worden uitgevoerd.

vliegtuigbewegingen op regionale luchthavens en het aantal passagiers en TVG-emissies op de luchthavens Lelystad en Eindhoven.

- Een uitgebreidere documentatie van het model is gewenst. Zo ontbreekt een gebruikershandleiding met een beschrijving van de aansturing van het model en een beschrijving van de inputfiles. Ook een meer expliciete beschrijving van de modelwerking met de belangrijkste modelvergelijkingen en een beschrijving van de variabelen ontbreekt.

8 Conclusie en aanbevelingen

In deze notitie zijn enkele modelexercities gepresenteerd ter validatie van het Aeolus model in gams. De validatie is gericht op de werking van het Aeolus model in varianten. De niveau-uitkomsten blijven de verantwoordelijkheid van de modeleigenaar. Geconstateerd kan worden dat deze aansluiten bij de vier vergezichten op Schiphol zoals die in het kader van het project Mainport Schiphol zijn opgesteld (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2006). Een kanttekening is wel geplaatst bij de resultaten voor het marktaandeel van de modaliteit ‘vliegen’ voor reizen binnen Europa, dit is veel te hoog en vereist een nieuwe kalibratie van dit deel van het model zoals ook aanbevolen in Kouwenhoven (2009). Resultaten op het gebied van veiligheid en welvaartseffecten zijn vanwege het korte tijdsbestek waarin deze validatie is afgerond niet beoordeeld.

De resultaten uit de verschillende modelexercities waren grotendeels plausibel en in overeenstemming met de validatie van een oudere versie van het model (het ACCM-II). Bij de resultaten van de gerespecteerde versie van het model kunnen kanttekeningen worden gezet bij de resultaten van de run met de TVG-limiet. Wanneer deze TVG-limiet wordt gecombineerd met een vluchtlimiet voor Schiphol, Frankfurt en Parijs, leidt dit tot een moeilijk te verklaren stijging van het aantal vliegtuigbewegingen en het aantal passagiers.

Sinds de vorige validatie is het model inhoudelijk verbeterd. Met name de nieuwe vlootmodule heeft significant bijgedragen aan de kwaliteit van het model. Er blijven echter een aantal inhoudelijke bezwaren tegen het model, die in de vorige validatie ook al zijn opgemerkt. Het belangrijkste bezwaar is dat er geen overeenstemming is tussen de uitkomsten van de vraag- en aanbodmodule: de LOS-frequentie is niet per se gelijk aan de GTU-frequentie. Dit was ook in de vorige versies van het model niet het geval maar blijft desondanks onbevredigend omdat het erop duidt dat bepaalde mechanismen die er in de praktijk voor zorgen dat vraag en aanbod aan elkaar gelijk zijn, niet zijn gemodelleerd. Daarbij valt met name te denken aan winstmaximalisatie door luchtvaartmaatschappijen. Dit is een belangrijk aandachtspunt voor de verdere modelontwikkeling.

Op operationeel vlak verliep de implementatie van het model snel, is de runtijd ten opzichte van Aeolus-delphi in een situatie met restricties aanzienlijk verkort en konden problemen, die wij in een enkele run zijn tegengekomen, snel worden verholpen. Wel zijn er een aantal verbeterpunten geconstateerd op het gebied van de aansturing, het gebruiksgemak en de documentatie van het model.

Literatuur

Blokdijk, J.P. en R.A. van Elk, 2006, Validatie van het Airport Catchment Area Competition Model (ACCM), CPB Memorandum 154.

CPB, 2006, Uitgangspunten voor luchtvaartscenario's 2020 en 2040, CPB notitie 29 maart 2006.

Elk, R.A. van en J.P. Blokdijk, 2005, Modelwerking ACCM II, CPB Memo.

Kouwenhoven, M., 2008a, Beschrijving werkzaamheden, Memo behorende bij project *Actualisering ontwikkeling Schiphol tot 2020-2040 bij het huidige beleid*, 7 maart 2008.

Kouwenhoven, M., 2008b, Verbetering vlootmodel, *mimeo*.

Kouwenhoven, M., 2009, Omzetting Aeolus naar GAMS, Concept eindverslag 9 januari 2009.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat c.s., 2006, Project Mainport Schiphol, Vier Vergezichten op Schiphol, Scenario Policy Assessment.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009, Luchtvaartnota, Concurrerende en duurzame luchtvaart voor een sterke economie.

Planbureau voor de leefomgeving, 2009, Mobiliteitsatlas: direct herkomsten en bestemmingen vanuit Schiphol vracht.

SEO economisch onderzoek en RAND Europe, 2005a, Modelontwikkeling ACCM en kwantitatieve verkenning WLO-luchtvaartscenario's, Eindrapport, In opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

SEO economisch onderzoek en RAND Europe, 2005b, WLO-Scenario's en capaciteitsrestrictie in de luchtvaart, Eindrapport, In opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

SEO economisch onderzoek en RAND Europe, 2006, Ontwikkeling Schiphol tot 2020-2040 bij het huidige beleid, Eindrapport, In opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, SEO rapport 851.

Significance en SEO economisch onderzoek, m.m.v. TO70, 2008, Actualisering ontwikkeling Schiphol tot 2020-2040 bij het huidige beleid, Eindrapport, In opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Stigter, S. de, 2007, Alternatieven voor TVG in relatie tot problematiek handhavingspunten, Memo behorende bij project *Actualisering ontwikkeling Schiphol tot 2020-2040 bij het huidige beleid*, 11 september 2007.

Appendix 1 Volledige uitkomsten in situatie met restricties en tickettax

Tabel 8.1 Uitkomsten in situatie met restricties en tickettax in GE-scenario (zichtjaar 2020)

| | Ongerestricteerd | Tickettax | TVG-restrictie | Vluchtrestrictie | Tickettax en TVG-restrictie | Tickettax en vluchtrestrictie | TVG- en vluchtrestrictie | Tickettax, TVG- en vluchtrestrictie |
|---|------------------|--------------|----------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Marktaandeel 'vliegen' tussen NL en Europa | 92,7% | 92,6% | 92,7% | 92,7% | 92,6% | 92,6% | 92,7% | 92,6% |
| Marktaandeel Schiphol t.o.v. 3 continentale hubs | 30,2% | 28,9% | 23,4% | 33,9% | 23,1% | 33,3% | 28,6% | 28,3% |
| Vliegtuigbewegingen Schiphol (x 1000) | 861,9 | 822,2 | 641,8 | 813,6 | 635,0 | 795,4 | 656,9 | 650,6 |
| Aandeel vrachtvluchten | 4,1% | 4,5% | 5,6% | 3,8% | 5,8% | 4,1% | 5,0% | 5,2% |
| Aandeel passagiersvluchten | 95,9% | 95,5% | 94,4% | 96,2% | 94,2% | 95,9% | 95,0% | 94,8% |
| Vracht (kiloton) | 3314,3 | 3314,3 | 2865,6 | 3051,7 | 2910,7 | 3096,6 | 2782,0 | 2822,8 |
| Passagiers Schiphol (mln) | 112,1 | 106,2 | 80,4 | 106,2 | 79,3 | 103,4 | 83,1 | 82,2 |
| Aandeel zakelijk | 38,9% | 39,5% | 39,8% | 39,8% | 40,5% | 40,3% | 40,2% | 40,8% |
| Aandeel privé | 61,1% | 60,5% | 60,2% | 60,2% | 59,5% | 59,7% | 59,8% | 59,2% |
| Aandeel herkomst/bestemming | 48,9% | 47,6% | 58,0% | 49,8% | 55,0% | 47,7% | 56,5% | 53,6% |
| Aandeel transfer | 51,1% | 52,4% | 42,0% | 50,2% | 45,0% | 52,3% | 43,5% | 46,4% |
| Aandeel Skyteam | 65,4% | 67,0% | 57,1% | 65,0% | 59,9% | 67,3% | 58,6% | 61,4% |
| Aandeel Rest excl. Low Cost Carriers ^b | 20,1% | 19,2% | 27,0% | 20,8% | 25,6% | 19,5% | 26,3% | 25,0% |
| Aandeel Low Cost Carriers ^b | 14,5% | 13,8% | 15,9% | 14,2% | 14,4% | 13,2% | 15,1% | 13,6% |
| Aandeel continentaal in herkomst/bestemming | 69,9% | 71,4% | 67,8% | 69,1% | 69,3% | 70,6% | 67,6% | 69,0% |
| Aandeel intercontinentaal in herkomst/bestemming | 30,1% | 28,6% | 32,2% | 30,9% | 30,7% | 29,4% | 32,4% | 31,0% |

^a Totaal Schiphol, Frankfurt en Parijs.

Tabel 8.2 GTU-verdeling in situatie met restricties en tickettax in GE-scenario (zichtjaar 2020)

| Grootteklasse | Ongerecentreerd | Tickettax | TVG-restrictie | Vluchtrestrictie | Tickettax en TVG-restrictie | Tickettax en vluchtrestrictie | TVG- en vluchtrestrictie | Tickettax, TVG- en vluchtrestrictie |
|-------------------|-----------------|-----------|----------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| G1 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| G2 | 15,3% | 15,4% | 15,5% | 15,3% | 15,7% | 15,5% | 15,5% | 15,7% |
| G3 | 14,1% | 14,2% | 14,2% | 14,1% | 14,3% | 14,2% | 14,2% | 14,3% |
| G4 | 52,9% | 52,7% | 54,2% | 52,8% | 53,7% | 52,5% | 53,7% | 53,2% |
| G5 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| G6 | 1,3% | 1,3% | 1,4% | 1,4% | 1,3% | 1,3% | 1,4% | 1,3% |
| G7 | 13,5% | 13,4% | 12,2% | 13,6% | 12,3% | 13,6% | 12,5% | 12,7% |
| G8 | 2,9% | 2,9% | 2,6% | 2,9% | 2,6% | 2,9% | 2,6% | 2,7% |
| Gemiddelde | 4,22 | 4,23 | 4,22 | 4,22 | 4,22 | 4,23 | 4,21 | 4,22 |
| Technologieklasse | | | | | | | | |
| TC (3) | 13,7% | 13,4% | 14,6% | 14,6% | 14,5% | 13,9% | 14,3% | 14,1% |
| TD (4) | 67,4% | 67,6% | 66,8% | 68,0% | 66,9% | 68,2% | 66,8% | 66,9% |
| TE (5) | 18,8% | 19,0% | 18,5% | 17,4% | 18,6% | 17,9% | 19,0% | 19,0% |
| Gemiddelde | 4,01 | 4,01 | 3,99 | 3,99 | 3,99 | 4,00 | 4,00 | 4,00 |
| Uur van de dag | | | | | | | | |
| Ochtend | 33,9% | 34,0% | 33,8% | 31,3% | 33,9% | 32,0% | 33,9% | 34,0% |
| Middag | 41,1% | 41,0% | 41,5% | 43,5% | 41,5% | 42,9% | 41,5% | 41,5% |
| Avond | 19,2% | 19,3% | 19,4% | 20,3% | 19,4% | 20,1% | 19,4% | 19,4% |
| Nacht | 5,8% | 5,7% | 5,3% | 4,9% | 5,2% | 5,0% | 5,3% | 5,2% |