

KENNISSCAN LUCHTVAARTNOTA

Jan Schuur, Wim Blom en Gabrielle Uitbeijerse

14 december 2018

Kenniscan Luchtvaartnota

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2018

PBL-publicatienummer: 3424

Contact

Jan Schuur [jan.schuur@pbl.nl]

Auteurs

Jan Schuur, Wim Blom en Gabriëlle Uitbeijerse

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding:
Schuur, J., W. Blom & G.C.M. Uitbeijerse (2018), *Kenniscan Luchtvaartnota*, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Economische en financiële aspecten	8
2.1	Effecten van luchthavenuitbreiding	8
2.2	Belastingen	10
3	Connectiviteit en hubfunctie	13
3.1	Connectiviteit	13
3.2	Hubfunctie Schiphol	15
4	Afwegingskader	18
4.1	MKBA uitbreiding Schiphol	18
4.2	Waardering effecten in MKBA	19
4.3	Milieueffectrapportage	20
5	Markt en coördinatie	22
5.1	Verkeersverdelingsregel	22
5.2	Grandfather rights	23
5.3	Secundaire slothandel	24
6	De toekomst van de luchtvaart	25
6.1	Luchtvaartmarkt	25
6.2	Schiphol	26
6.3	Scenario's	26
6.4	Drones	28
7	Emissies en technologie	30
7.1	Klimaatimpact door luchtvaart	30
7.2	Lokale luchtverontreiniging	33
7.3	Impact klimaatverandering op luchtvaart	33
7.4	Internationaal en nationaal klimaatbeleid	34
7.5	Technologische ontwikkeling en innovatie	37
7.6	Substitutie luchtvaart door alternatieve modaliteiten	41
8	Geluid, wonen en vliegen	46

8.1	Luchtvaartgeluid	46
8.2	Hinder en slaapverstoring	48
8.3	Beperkingengebieden van het luchthavenindelingsbesluit	54
9	Governance	56
10	Kennisvragen voor de Luchtvaartnota	58
10.1	Inleiding	58
10.2	Economie, connectiviteit, afwegingskader en coördinatie	58
10.3	Emissies en technologie	59
10.4	Geluid, wonen en vliegen	60
	Literatuur	62
	Economie, connectiviteit, afwegingskader, markt en toekomst (hoofdstuk 2 tot en met 6)	62
	Emissies en technologie (hoofdstuk 7)	66
	Geluid, wonen en vliegen (hoofdstuk 8)	69
	Governance (hoofdstuk 9)	71

1 Inleiding

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) is bezig met de voorbereiding van een nieuwe Luchtvaartnota. De huidige Luchtvaartnota dateert uit 2009. De nieuwe nota moet in 2019 verschijnen en zal de hoofdlijnen bevatten van het rijksbeleid voor de luchtvaart en luchthavens in Nederland tussen 2020 en 2050. De Rijksoverheid moet in die nota een paar fundamentele beslissingen nemen. Bijvoorbeeld over de groei van de luchtvaart, die enerzijds in een grote maatschappelijke behoefte voorziet, maar anderzijds een flinke belasting vormt voor de leefomgeving en het halen van de klimaatdoelstellingen van dit kabinet compliceert. De Rijksoverheid zal bij dit nieuwe beleid moeten anticiperen op ontwikkelingen die de toekomst van de Nederlandse luchtvaart bepalen, zoals verschuivingen in de economische en geopolitieke verhoudingen in de wereld, structuurveranderingen in de markt voor luchtvervoer en innovaties in de luchtvaarttechnologie.

Doel van de kennisscan

Bij de afwegingen die het kabinet moet maken, is kennis onmisbaar. Op verzoek van het ministerie heeft het PBL daarom een scan uitgevoerd van voor de Luchtvaartnota relevante en beschikbare kennis. Deze kennisscan biedt een overzicht van de literatuur, zoals gepubliceerd in openbare onderzoeksrapporten. Het woord 'scan' geeft aan dat het een globaal en bondig overzicht is. Het is de bedoeling dat deze quickscan het ministerie helpt bij het bepalen van de kennisvragen die voor de nota nog moeten worden beantwoord, omdat die kennis ontbreekt of omdat bestaande kennis wordt betwist.

Literatuur

In de kennisscan maken we veelvuldig gebruik van zogeheten grijze literatuur: rapporten die geen strikte wetenschappelijke toets hebben ondergaan in de vorm van een 'peerreview' door onbekende en onafhankelijke deskundigen, zoals bij wetenschappelijke vaktijdschriften gebruikelijk is. Academische literatuur biedt niet altijd concrete aanknopingspunten voor Nederlandse beleidsvraagstukken. Veel onderzoek dat is gericht op de Nederlandse praktijk en dus relevant kan zijn voor het Nederlandse luchtvaartbeleid, is verricht in opdracht van de Rijksoverheid en van regionale overheden, of van partijen die daarmee een bepaald belang onder de aandacht willen brengen. Ook dat onderzoek is doorgaans gebaseerd op wetenschappelijke bronnen en erkende beleidstheorie, en empirisch getoetst. Vaak is er ook een begeleidingsgroep van deskundigen geweest die toeziet op de kwaliteit. Maar in het algemeen worden deze onderzoeken niet onderworpen aan de strenge en onafhankelijke toets die wetenschappelijke publicaties kenmerkt. Deze studies kunnen daardoor soms onvolledig zijn, een eenzijdig perspectief hanteren en/of door andere deskundigen worden betwist.

Betwiste kennis

Met deze scan geven we niet alleen een overzicht van deze literatuur, maar proberen we ook enig inzicht te geven in de mate waarin anderen de aannames en keuzes in deze studies betwisten. Zo maken we zichtbaar waar deze kennis kwetsbaar is voor gebruik bij beleidsbeslissingen. Dat kan in een vervolgfase aanleiding geven tot aanvullend onderzoek als kennis ontbreekt, of tot een second opinion als deze kennis omstreden is. We geven *geen oordeel over de kwaliteit* van deze studies. Een scan is daarvoor onvoldoende.

Of bepaalde 'kwetsbare' kennis ook een zorg moet zijn voor de opstellers van de Luchtvaartnota, hangt af van de inhoud van de nota en van de politieke weging van de maatschappelijke discussie. We kunnen slechts aanbevelingen meegeven op basis van het

aanbod van kennis. Dat doen we in het laatste hoofdstuk: hier staan enkele suggesties voor verder onderzoek die volgen uit deze kennisscan.

Thema's

Met deze kennisscan wil het PBL bijdragen aan de kennisbasis voor de Luchtvaartnota. We kunnen in dit stadium echter niet beoordelen welke kennis belangrijk zal zijn voor de onderbouwing van de nota. De inhoud van die nota is op het moment van schrijven nog niet bekend, zodat de thema's van de kennisscan op een andere manier zijn gekozen. Daarvoor zijn vier bronnen gehanteerd:

- de thema's die de minister zelf noemt voor de Luchtvaartnota in haar brief aan de Tweede Kamer (22 juni 2018);
- de thema's die voortkomen uit een media-analyse die het ministerie van IenW heeft uitgevoerd; deze geven een indruk van het debat in de samenleving;
- de thema's die binnen het team van de Luchtvaartnota van het ministerie van IenW op het moment van schrijven als relevant worden beschouwd;
- de thema's uit de vorige Luchtvaartnota (2009).

We hebben geen eigen onderzoek gedaan naar relevante thema's. In overleg met het ministerie van IenW hebben we uit de hiervoor genoemde bronnen de thema's voor de kennisscan gekozen, zoals die in de inhoudsopgave staan. Sommige thema's ontbreken, omdat het PBL op dat terrein over onvoldoende deskundigheid beschikt en andere kennisinstellingen op verzoek van het ministerie daarover al publicaties voorbereiden. Dat geldt bijvoorbeeld voor thema's als externe veiligheid, landzijdige ontsluiting, kleine luchtvaart (*general aviation*), militaire luchtvaart, Schiphol in zee en luchtvaarttechnologie. Bij een aantal thema's hebben we ons omwille van de tijd geconcentreerd op Schiphol en worden de regionale luchthavens niet apart besproken. Verder zal het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) binnenkort een factsheet over luchtvaartontwikkelingen uitbrengen. Deze kennisscan geeft daarom zelf geen cijfermatig beeld van de huidige luchtvaart in Nederland.

Ook deze kennisscan is geen wetenschappelijke publicatie in de zuivere zin van het woord. Toch hebben we drie externe, onafhankelijke deskundigen bereid gevonden om in de korte tijd die beschikbaar was ons rapport te reviewen. Het PBL is Mark Lijesen van de Vrije Universiteit, Paul Peeters van Breda University of Applied Sciences (voorheen NHTV) en Joep Tijm van het Centraal Planbureau (CPB) zeer erkentelijk voor hun gedegen, kritische blik en hun zorgvuldige commentaar op een eerdere versie. Ook hebben deskundigen van het RIVM, medewerkers van de directie Luchtvaart van het ministerie van IenW en collega's van het PBL ons voorzien van nuttige aanvullingen en aanscherpingen.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 vatten we de literatuur samen over de economische en financiële aspecten van luchthavenuitbreidingen. Vaak wordt een verband gelegd tussen de economische effecten van een luchthaven en het aantal verbindingen: de connectiviteit van die luchthaven. Hoofdstuk 3 gaat daarop in. Bij gebrek aan luchthavencapaciteit neemt de concurrentie tussen vliegmaatschappijen toe. In hoofdstuk 4 bespreken we enkele studies naar maatregelen om de schaarse luchthavencapaciteit te verdelen. Uitbreiding van luchthavens is ook een oplossing. De economische voordelen van een luchthavenuitbreiding moeten worden afgewogen tegen allerlei negatieve effecten op de leefomgeving, effecten die ook een economische waarde hebben. Hoe zo'n afweging tussen maatschappelijke kosten en baten in de praktijk gebeurt, bespreken we in hoofdstuk 5: Markt en coördinatie. In hoofdstuk 6 bespreken we de toekomst van de luchtvaart. De hoofdstukken daarna gaan dieper in op de effecten van de luchtvaart en luchthavens op de leefomgeving: via de uitstoot van schadelijke stoffen (hoofdstuk 7) en de belasting met geluid (hoofdstuk 8).

Hoofdstuk 9 gaat over wat verschillende auteurs hebben geschreven over structuren bij luchthavens die partijen met verschillende belangen kunnen samenbrengen (governance).

Deze scan van de literatuur roept een aantal nieuwe kennisvragen op. Die vatten we tot slot in hoofdstuk 10 samen in de vorm van suggesties voor vervolgonderzoek..

2 Economische en financiële aspecten

Wat zijn de economische effecten van luchthavenuitbreidingen? Welke financiële overdrachten ontstaan en bij wie komen die terecht? Dit hoofdstuk gaat over de 'traditionele' economische welvaartseffecten, zoals werkgelegenheid, inkomen, toegevoegde waarde en productiviteit. De afweging met de welvaartseffecten die met de leefomgeving samenhangen, komt in hoofdstuk 4 aan de orde. Daar worden de economische kosten van de luchtvaart door de belasting van de leefomgeving besproken.

2.1 Effecten van luchthavenuitbreiding

Veel studies laten zien dat een toename van de luchthavencapaciteit gunstig kan zijn voor de economie van de regio en van het land. Meestal leidt de groei van luchthavens tot een toename van de toegevoegde waarde, een groei van de werkgelegenheid, een hogere productiviteit en een aantrekkelijker vestigingsmilieu voor binnenlandse en buitenlandse bedrijven. Omdat de reistijden naar allerlei bestemmingen verminderen, nemen de kosten van het onderhouden van bestaande zakelijke relaties af en ontstaan nieuwe relaties. Zo nemen de mogelijkheden voor inkoop en afzet van producten toe en wordt uitwisseling van arbeid, kapitaal en kennis gemakkelijker. Ook de concurrentie neemt toe, zodat specialisatie, innovatie en productiviteit worden gestimuleerd en daarmee de inkomens van burgers. Schaafeffecten door concentratie en clustervorming van luchthavengerelateerde activiteiten kunnen de productiviteitseffecten in de regio nog versterken. Ook sectoren die toeleveren profiteren (achterwaartse effecten). Toenemende concurrentie zal ten slotte in het algemeen ook de prijzen drukken, zodat bedrijven en burgers goedkoper uit zijn (Burghouwt et al. 2015b; CE Delft 2013; Decisio 2015; Van Dongen et al. 2014; Lieshout et al. 2015; Oxford Economics & York Aviation 2013).

Passagiers profiteren via de ticketprijzen van een groei van de luchthaven. Als de luchthavencapaciteit niet zou meegroeien met de vraag, drijft congestie de ticketprijzen op. In 2014 zou congestie op de drukke Europese luchthavens de passagier gemiddeld zo'n 5,65 euro per retour meer hebben gekost dan vanaf benchmark-luchthavens als Brussel Zaventem of Stockholm Arlanda, bij een gemiddelde ticketprijs van circa 300 euro. In totaal ging het om een congestieopslag van 2,1 miljard euro (Burghouwt et al. 2017b).

Omdat de nabijheid van een luchthaven voor veel bedrijven aantrekkelijk is, zal de vraag naar grond en commercieel vastgoed in de regio stijgen en daarmee de prijzen van dit onroerend goed. Dat geldt in mindere mate ook voor woningen, omdat werknemers graag dicht bij hun werk wonen (Louter & Van Eikeren 2008). Bij een luchthavenuitbreiding zien de eigenaren van dit vastgoed de waarde van hun vermogen stijgen.

Een toename van de luchthavencapaciteit zal ook het toerisme en de sociaal-culturele uitwisseling bevorderen. Dat gebeurt in beide richtingen, zodat burgers meer bestemmingen kunnen aandoen, maar de regio ook zelf te maken krijgt met meer bezoekers. Het hangt af van de regio of de bestedingseffecten van de bezoekers opwegen tegen de bestedingen van de eigen burgers, die wegvloeien naar elders. Overigens is de economische betekenis van inkomend en uitgaand toerisme groter dan het bestedingseffect alleen, onder meer vanwege

de culturele uitwisseling en het contact met nieuwe markten (Oxford Economics & York Aviation 2013).

Een luchthaven genereert inkomsten voor zijn eigenaar doordat vliegmaatschappijen en passagiers betalen voor het gebruik. Maar luchthavens zijn niet alleen een vorm van transportinfrastructuur, maar als knooppunt ook een ontmoetings- en verblijfsplek. Dat maakt ze een aantrekkelijke vestigingsplaats voor ondernemingen in de detailhandel en de horeca. De eigenaar of exploitant van de luchthaven verdient ook aan concessies voor de detailhandel en de horeca op het terrein, aan reclame en parkeren, aan huur en erfpacht van vastgoed, en aan inkomsten uit deelnemingen. Bij Schiphol kon in 2015 47 procent van het exploitatieresultaat worden toegerekend aan consumentenproducten en -diensten, tegen 21 procent aan luchthaventarieven (Rli 2016).

Ook overheden kunnen verdienen aan de groei van een luchthaven. Zij hebben vaak aandelen in de luchthaven en delen dus via het dividend mee in de winsten. Daarnaast profiteren regionale overheden via belastinginkomsten aan de prijsstijging van vastgoed en aan de vastgoedontwikkeling die op en rond de luchthaven plaatsvindt (CE Delft 2013).

Airports Council International Europe (ACI), dat alle luchthavens van Europa vertegenwoordigt, heeft laten uitrekenen dat deze luchthavens in 2013 samen goed waren voor 12,3 miljoen banen en 4,1 procent van het Europese bbp (Burghouwt et al. 2015b; InterVISTAS 2015). Op verzoek van de International Air Transport Association (IATA), de organisatie die spreekt namens zo'n 290 vliegmaatschappijen wereldwijd, is berekend dat daar in 2035 nog 1,3 miljoen banen en een verdere bbp-groei met 2,1 procent bij komen, als alle inefficiënties in het Europese luchtruim en alle capaciteitsbelemmeringen op de Europese luchthavens worden weggenomen (Burghouwt et al. 2015b). CE Delft wijst erop dat de methode van IATA die wordt gebruikt om de economische effecten te berekenen, dubbeltellingen bevat (CE Delft 2013).

Substitutie-effecten

De genoemde gunstige economische effecten en financiële overdrachten treden alleen op als er in de regio ook (onvervulde) vraag is naar de nieuwe reismogelijkheden die door de uitbreiding van de luchthaven ontstaan, wat niet altijd het geval is (CE Delft 2013). Een deel van de gunstige economische effecten bestaat bovendien uit substitutie-effecten; zij kunnen niet altijd in hun geheel aan de luchthaven worden toegerekend. Ook zonder de luchthavenuitbreiding had de economie zich namelijk ontwikkeld, maar op een andere plaats en in andere sectoren. Veel werknemers van de luchthaven hadden ook dan een baan gehad. Een deel van de vluchten was via andere luchthavens gegaan en een deel van de omzet en onroerendgoedwinsten was elders en via andere zakelijke relaties gerealiseerd, zij het tegen minder gunstige voorwaarden. Op een hoger geografisch schaalniveau betreft het in dat geval een verplaatsing en geen groei. De werkgelegenheidseffecten ten slotte zijn alleen relevant als er voldoende structurele werkloosheid is, anders is er slechts sprake van verschuiving van arbeid (CE Delft 2013; Decisio 2015; Syconomy 2016).

Economisch belang

Uit het voorgaande blijkt dat de totale omvang van het economische belang van een luchthaven met enige onzekerheid is omgeven. Het belang kan worden overschat doordat niet wordt gecorrigeerd voor dubbeltellingen en economische effecten die in het buitenland neerslaan (CE Delft 2013; Van Holst 2018). Ook voor Schiphol lopen de schattingen uiteen (Burghouwt et al. 2017a; Rli 2016). Meestal wordt verwezen naar schattingen van Decisio (2015). Decisio kwam voor 2013 uit op een toegevoegde waarde van 9 miljard euro en een werkgelegenheid van ongeveer 114.000 banen. Enkele jaren later kwamen Lieshout en Boonekamp (2017) voor 2016 uit op 7,1 miljard euro en 118.000 banen. Het economische vestigingsplaatseffect van Schiphol, de aantrekkingskracht die het vliegveld uitoefent op

bedrijven, laat zich volgens Decisio (2015) en Lieshout en Boonekamp (2017) niet kwantificeren. Andere economen menen dat dit effect groot kan zijn (Decisio et al. 2014; Rienstra et al. 2015). Ecorys (2018) schat dit zogenoemde voorwaartse effect voor vliegveld Eindhoven bijvoorbeeld op 30 procent extra werkgelegenheid ten opzichte van de directe werkgelegenheid op het vliegveld, en laat dit percentage bij verdere groei van de luchthaven toenemen. Ecorys geeft daarbij wel aan dat dit effect moeilijk valt te isoleren van andere factoren en dat causaliteit onzeker is. Ook bij vestigingsplaatseffecten bestaat bovendien gevaar voor dubbelstellingen (CE Delft 2013).

Rienstra et al. (2015) stellen dat Decisio de specifieke economische relaties die Schiphol met bepaalde regio's en economische sectoren heeft, onvoldoende meeneemt. Daardoor ontstaat een grof en onvolledig beeld van de economische effecten. Ten slotte is bij de geraamde economische bijdrage van Schiphol ook geen rekening gehouden met het in- en uitgaande toerisme dat via de luchthaven loopt. Het economische effect van toerisme kan groot zijn (InterVISTAS 2015).

Bij alle genoemde schattingen voor Schiphol gaat het overigens om de aan Schiphol *gelieerde* economie, en niet om wat er zonder Schiphol verloren zou gaan. Een deel zou namelijk ook zonder Schiphol zijn gerealiseerd (zie bijvoorbeeld CE Delft 2013, Ecorys 2018; Lieshout & Boonekamp 2017). Dit kwam al aan de orde in de paragraaf over substitutie-effecten.

Relatie economische groei en luchtvaart

Economie en luchtvaart hangen samen. De groei van de economie stimuleert de luchtvaart en omgekeerd. Maar die relatie is niet eenduidig. De dominante richting van de causale relatie tussen luchtvaart en economie blijkt regionaal te verschillen. Dat geldt zowel voor de relatie met inkomen als die met handel en werkgelegenheid (CE Delft 2013; Van de Vijver 2014). De kennisintensieve dienstenindustrie en de logistiek lijken het meest van een luchthaven te profiteren (Blom 2014; Decisio 2015; Van Oort et al. 2010).

Luchthavens hebben binnen het land vooral een economische relatie met hun (stedelijke) regio. Deze regio vormt zowel het achterland van de luchthaven als het gebied dat er het meest van profiteert. Via de luchthaven is de regio aangesloten op economische netwerken van andere regio's in de wereld (Van Oort et al. 2010). Regio's met een goede internationale connectiviteit groeiden in de afgelopen decennia harder dan andere (Raspe et al. 2017). Schiphol is vooral sterk verbonden met Groot-Amsterdam (Decisio 2015). Hier bevinden zich alle directe werkgelegenheid en twee derde van de toeleverende werkgelegenheid van de luchthaven. Door dit regionale karakter kan een luchthavenuitbreiding economische groei en werkgelegenheid wegzuigen uit andere regio's (CE Delft 2013).

2.2 Belastingen

Brandstof en btw

Anno 2018 kent de luchtvaart geen omzetbelasting, in tegenstelling tot vervoer per rail of over de weg. Ook kerosine, de brandstof voor vliegtuigen, is niet belast zoals bij andere vervoerswijzen. Dit berust op een internationale afspraak die dateert uit 1944 (Chicago Convention). Als de kerosine en de ticketprijzen wel op de in Nederland gebruikelijke manier belast zouden worden, stijgen de ticketprijzen naar schatting gemiddeld met 35 procent (Aviation Economics 2018).

Vliegbelasting 2008

Per 1 juli 2008 is in Nederland een vliegbelasting ingesteld. Het tarief was 11,25 euro voor afstanden tot 2.500 kilometer en voor bestemmingen binnen de Europese Unie. Daarboven was het tarief 45 euro. De belasting gold niet voor transferpassagiers en vracht. De beoogde opbrengst was 350 miljoen euro per jaar. Direct na het instellen van de belasting daalde het aantal vanaf Schiphol vertrekkende reizigers, terwijl het aantal transferreizigers, waarvoor de belasting niet gold, bleef toenemen (Gordijn & Kolkman 2011). Gordijn en Kolkman schatten het effect op een daling van iets minder dan 2 miljoen passagiers gedurende het jaar dat de belasting gold. Per 1 juli 2009 werd het tarief namelijk op nul gezet, en per 1 januari 2010 werd de belasting afgeschaft. Omdat het nog kort na de afschaffing van de belasting was, konden Gordijn en Kolkman nog niet vaststellen of de Nederlandse passagiers weer terugkeerden. De vliegbelasting had weinig effect op het vluchtaanbod van de regionale luchthavens Groningen en Rotterdam, vooral vanwege hun ligging. Op het vliegveld Eindhoven remde de belasting de groei alleen af. Het dicht tegen België en Duitsland gelegen Maastricht verloor een flink deel van zijn vluchten. Uit een enquête in 2011 van het KiM onder 3.000 reizigers bleek dat de belasting bij 14 procent van de passagiers de keuze had beïnvloed. De helft daarvan zei te hebben afgezien van de vliegreis en de andere helft was uitgeweken naar een luchthaven in het buitenland (Gordijn & Kolkman 2011).

Vliegbelasting in het buitenland

De European Economic Area (EEA) bestaat uit de landen van de Europese Unie en de landen IJsland, Liechtenstein en Noorwegen die samen afspraken hebben gemaakt over één Europese markt. In de EEA hebben 10 landen een vorm van luchtvaartbelasting: Oostenrijk, Kroatië, Frankrijk, Duitsland, Griekenland, Italië, Letland, Luxemburg, Noorwegen en het Verenigd Koninkrijk. De belastingen verschillen nogal, zowel wat betreft de hoogte van de tarieven als de manier van heffen. PricewaterhouseCoopers (PwC) beschreef in 2017 in een uitgebreid overzicht de economische impact van de luchtvaartbelastingen. Op verzoek van de organisatie Airlines for Europe, de belangenorganisatie van Europese luchthavens, berekende PwC wat de gevolgen zouden zijn als al deze luchtvaartbelastingen per 2017 afgeschaft zouden worden. Het aantal passagiers zou met 2,5 procent toenemen. Dit zou voor 2020 voor de EEA onder andere betekenen: 45 miljoen extra vluchten, 25 miljoen extra toeristen, die 12 miljard euro extra zouden uitgeven, en 47.000 extra banen. Naar schatting van PwC zou 97 procent worden terugverdiend via de toename van andere belastinginkomsten en de afname van sociale uitkeringen, als gevolg van de extra economische groei die volgens PwC zou ontstaan. Het algemene evenwichtsmodel dat bij deze berekeningen is gebruikt, blijft onderbelicht, alsmede de aannames die daarbij zijn gedaan. Volgens PwC zou de luchtvaart zonder de belasting een grotere omvang hebben. Een mondiaal overzicht van de aard en de omvang van de luchtvaartbelasting in vele landen vindt men in Steer Davies Gleave (2016), een inventarisatie die is uitgevoerd in opdracht van de British Air Transport Association (BATA). Schotland heeft het voornemen om de luchtvaartbelasting vanaf 2021 te halveren. Murray en Young (2017) becijferden dat de baten van verlaging vooral terechtkomen bij het zakenleven en bij luchtreizigers van buiten Schotland. In geen van de genoemde studies is echter rekening gehouden met een situatie van meer vraag dan aanbod. Dat is wel gedaan in de studie naar de nieuwe vliegbelasting voor Nederland, die we hierna bespreken.

Vliegbelasting 2021

Als voorbereiding op de invoering van een vliegbelasting heeft het ministerie van Financiën aan CE Delft gevraagd onderzoek te doen naar de effecten van deze belasting. De analyse is uitgevoerd voor drie verschillende uitgangspunten, onderverdeeld met in totaal tien varianten van de vliegbelasting (zie Faber et al. 2018):

1. Een Europese belasting afhankelijk van de afstand van de vlucht; vracht en transferpassagiers zijn vrijgesteld van belasting.

2. Nederland voert een heffing in op basis van het lawaai en het maximale startgewicht van het vliegtuig.
3. Nederland voert een vliegbelasting in met verschillende afstand-tariefzones; vracht en transferpassagiers zijn vrijgesteld van belasting.

Er is gekeken naar uitkomsten voor 2021 en 2030, op basis van de twee WLO-toekomstscenario's (zie paragraaf 6.3). In beide scenario's en in alle varianten blijkt de vliegbelasting een klein gunstig effect te hebben op de Nederlandse welvaart, het bbp en de uitstoot van CO₂.

De effecten van de vliegbelasting zijn naar verwachting klein. Dat komt omdat het een relatief lage belasting is (enkele procenten van de gemiddelde ticketprijs) en doordat er knellende capaciteitsrestricties zijn, vooral op Schiphol. De belastingheffing wordt voor een deel betaald door de reizigers (in de vorm van duurdere tickets) en voor een deel door luchtvaartmaatschappijen (die daar een deel van de schaarstewinsten voor opofferen, die ontstaan doordat de vraag naar luchtvaart groter is dan de capaciteit van Schiphol).

Als gevolg van de capaciteitsrestricties leidt een vliegbelasting niet tot minder vluchten, maar tot een verschuiving tussen verkeerssegmenten, dus tussen passagiers en vrachtverkeer, tussen directe en transfervluchten en tussen Europese en intercontinentale bestemmingen. De effecten van de vliegbelasting op de CO₂-emissies, geluid en fijnstof zijn dan ook klein.

In alle varianten en scenario's verhoogt de onderzochte belasting de welvaart als gevolg van de overheidsbaten. De welvaartswinst komt vooral voort uit het feit dat buitenlandse luchtvaartmaatschappijen en passagiers deels de belasting betalen en doordat vraaguitval als gevolg van een vliegbelasting leidt tot alternatieve consumptie (in Nederland, buiten de luchtvaart) die wel is belast.

3 Connectiviteit en hubfunctie

Vaak wordt een positief verband verondersteld tussen het aantal verbindingen dat een luchthaven biedt en de omvang van de economische effecten. In dit hoofdstuk laten we zien dat het moeilijk is om het economische effect van meer connectiviteit goed in kaart te brengen.

3.1 Connectiviteit

Als luchtvaartmaatschappijen op een Nederlandse luchthaven nieuwe bestemmingen aanbieden of de vliegfrequentie verhogen, worden verre regio's beter bereikbaar. De reistijd naar die regio's neemt af, evenals de kosten en inspanningen die voor die reis nodig zijn. Hetzelfde geldt voor buitenlanders die Nederland willen bezoeken. De nieuwe bestemmingen kunnen via een overstap weer andere regio's binnen bereik brengen. Hoe meer en frequenter de verbindingen, des te meer uitwisseling er mogelijk is met verder weg gelegen markten voor producten, kapitaal, arbeid en kennis, en met bestemmingen voor toerisme en sociaal verkeer. Dat heeft gunstige gevolgen voor de economie. Volgens ACI Europe, dat meer dan 500 Europese luchthavens vertegenwoordigt, leidt een toename van de connectiviteit met 10 procent tot een productiviteitsgroei van 0,5 procent (ACI Europe 2018; InterVISTAS 2015).

Als de thuismarkt van de luchthaven klein is, kan de connectiviteit worden vergroot door transferverkeer aan te trekken: de luchthaven fungeert dan als tussenstop voor andere verbindingen. De luchthaven verdient weinig aan deze transferpassagiers, maar wordt door de extra verbindingen die door deze reizigers rendabel worden, wel aantrekkelijker. Door als *hub* te fungeren, vergroot de luchthaven het aantal en de frequentie van de bestemmingen die met een rechtstreekse vlucht bereikbaar zijn, zodat de reistijd voor vertrekkende en bezoekende reizigers korter wordt en hun reisgemak toeneemt.

Deze hubfunctie maakt de luchthaven en de regio profijtelijk voor bedrijven met veel internationaal verkeer. Veel luchthavens streven naar zo'n hubfunctie en worden daarin gesteund door nationale overheden, omdat die de hubfunctie belangrijk vinden voor de nationale en regionale economie. Het betekent wel dat er veel meer vluchten op de luchthaven worden verwerkt dan alleen voor de thuismarkt rendabel zijn en dat de luchthaven dus een groter beslag legt op zijn leefomgeving (Aviation Economics 2018). Die vluchten concentreren zich bovendien in bepaalde piekuren, want de aankomende en vertrekkende vluchten moeten goed op elkaar aansluiten om de overstaptijd te beperken (Lieshout et al. 2015).

Het is moeilijk om het economische effect van de hubfunctie empirisch aan te tonen. Als we kijken naar de langetermijnrelatie van connectiviteit met productiviteit, een van de belangrijkste determinanten van economische ontwikkeling, laten empirische studies verschillende uitkomsten zien (Decisio 2015). De relatie lijkt zwakker voor meer ontwikkelde economieën, wat erop duidt dat de meeropbrengst van een nieuwe verbinding afneemt (IATA 2007), of zelfs dat er een niveau bestaat waarboven nieuwe verbindingen niet veel meer toevoegen (Oxford Economics & York Aviation 2013). Maar causaliteit blijkt niet te bewijzen. Het stimuleren van de connectiviteit leidt daardoor niet altijd en overal tot gunstige economische effecten (IATA 2007).

Bij studies naar de relatie tussen connectiviteit en economie worden verschillende maten voor connectiviteit gebruikt. Ze hebben gemeen dat ze alle bestemmingen even zwaar wegen. Maar niet elke bestemming en elke extra vlucht naar die bestemming is even belangrijk voor de economie van een bepaald land (CE Delft 2013). Bij een analyse van de relevante connectiviteit voor Heathrow beperkten de onderzoekers zich bijvoorbeeld tot de belangrijkste zakensteden in een tiental ontwikkelde en snelgroeiende landen (AirportWatch 2011). Een onafhankelijke staatscommissie in het Verenigd Koninkrijk onderzocht of de connectiviteit van Britse luchthavens wel gericht was op de snelgroeiende economieën in de wereld en op de belangrijkste handelspartners voor diensten en goederen. Zo wordt het nationale belang vertaald in kwaliteitscriteria voor connectiviteit. De luchthavens van Londen bleken beter verbonden te zijn met deze bestemmingen dan concurrerende Europese luchthavens. Omdat de meeste luchtvracht wordt vervoerd in het laadruim van passagiersvluchten, is de connectiviteit voor goederen verweven met die voor diensten en voor toerisme (Airports Commission 2013). Het rapport van deze commissie vormde de basis voor het Aviation Policy Framework van de Britse regering, de Britse luchtvaartnota (UK Government 2015).

In Nederland twijfelt de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli) aan het economische belang van nog meer internationale verknoping van Schiphol. Zo vraagt de Rli (2016) zich af of een verdere toename van het grote aantal verbindingen van Schiphol nog meerwaarde heeft voor het vestigingsmilieu: is de huidige kenniseconomie nog gediend bij mainports die vooral op volumegroei zijn gericht? De Rli pleit ervoor om het netwerk van Schiphol beter te laten aansluiten op de behoefte van het bedrijfsleven. Ook Ecorys (2018) benadrukt dat nieuwe verbindingen goed moeten aansluiten op de behoefte van de regionale economie.

Sommige luchthavens zijn hun hubfunctie kwijtgeraakt, vooral omdat de hubcarrier failliet ging of verhuisde. Europese voorbeelden zijn Kopenhagen, Barcelona, Milaan, Athene en Boedapest. Vaak kwamen daar Low-Cost Carriers (LCC's) voor in de plaats en werden de intercontinentale verbindingen vervangen door directe Europese verbindingen. Het aantal vliegbewegingen nam in de eerste jaren met 20 tot 30 procent af (Lieshout et al. 2015). Uit een onderzoek naar 42 luchthavens die na 1997 hun hubstatus verloren, bleek dat de meeste hun hubfunctie niet meer terugwonnen (Redondi et al. 2012).

Connectiviteit en regio

Om te profiteren van agglomeratievoordelen in een kennisintensieve economie moeten stedelijke regio's niet alleen beschikken over een goede structuur voor interne kenniscirculatie, maar ook over een *internationaal* netwerk voor kennisuitwisseling: *local buzz and global pipelines*. Regio's met goede *global pipelines* kunnen profiteren van kennis elders in de wereld. Er bestaat dan ook een samenhang tussen de connectiviteit van een regio door de lucht en zijn economische groei, ook als voor andere invloedrijke factoren wordt gecorrigeerd (Raspe et al. 2017). Tussen 1991 en 2012 bestond er in Europese NUTS2-regio's (in Nederland provincies) een significant verband tussen de groei van de werkgelegenheid en van de productiviteit, en hun connectiviteit door de lucht. Connectiviteit wordt hier gemeten in termen van het aantal inwoners in alle andere Europese regio's dat bereikt kan worden via het luchtruim, gewogen naar de reistijd. De relatie loopt vooral via de economische sectoren handel en diensten (financiële, zakelijke en niet-marktdiensten) (Raspe et al. 2017). Ook voor andere economische sectoren in de Nederlandse regio's is connectiviteit belangrijk: vooral voor de landbouw in Zuid-Holland, de chemie in Noord-Brabant en Zuid-Holland, de voedingsmiddelenindustrie, chemie en logistiek in Noord-Brabant en de energiesector in Zuid-Holland (PBL 2012). Het gebruikte model geeft echter geen inzicht in de richting van de causaliteit in de relatie tussen connectiviteit en regionale economie (PBL 2011; Raspe et al. 2017).

3.2 Hubfunctie Schiphol

Schiphol is een van de grootste hubs ter wereld. In 2018 heeft Schiphol in Europa na Frankfurt de meeste directe verbindingen, terwijl Schiphol in 2017 zelfs op nummer een stond. Als ook de verbindingen vanuit Schiphol met een tussenstop worden meegerekend, is Schiphol maar liefst de tweede hub ter wereld (ACI Europe 2018; SEO 2018). Sinds 2008, toen Schiphol nog op de zesde plaats stond, is deze hubconnectiviteit met 55,8 procent toegenomen (ACI Europe 2018). Ongeveer 70 procent van de intercontinentale passagiers van KLM, de hubcarrier van Schiphol, is transferpassagier (Lieshout et al. 2015). Zo is Nederland voor personen en voor vracht (in het laadruim van deze vliegtuigen) zeer goed verbonden met de rest van de wereld. Zonder transferverkeer zou er nauwelijks een intercontinentaal netwerk overblijven. En ook het aantal Europese vluchten van KLM zou fors afnemen (Decisio 2015).

AirFrance-KLM en haar SkyTeam-partners verzorgen 98 procent van de hubconnectiviteit van Schiphol (verbindingen met een tussenstop op Schiphol). De belangrijkste hubmarkten zijn verbindingen tussen Europa en Noord-Amerika. AirFrance-KLM werkt vanaf twee hubluchthavens, maar de hubconnectiviteit van Skyteam groeide sinds 2004 sneller op Schiphol (met 90 procent) dan op Charles de Gaulle (met 20 procent) (SEO 2018). Ook de netwerkqualiteit van Schiphol wordt momenteel vooral gedragen door de huboperatie van AirFrance-KLM en haar Skyteam-partners (Burghouwt et al. 2017a). Zij verzorgen bijvoorbeeld 55 procent van de indirecte connectiviteit van deze luchthaven. Na SkyTeam volgt de STAR-alliance (onder andere Lufthansa en SAS) met 27 procent. De vijf belangrijkste *onward hubs* voor dit verkeer zijn Atlanta, Frankfurt, Londen, Detroit en Parijs (SEO 2018).

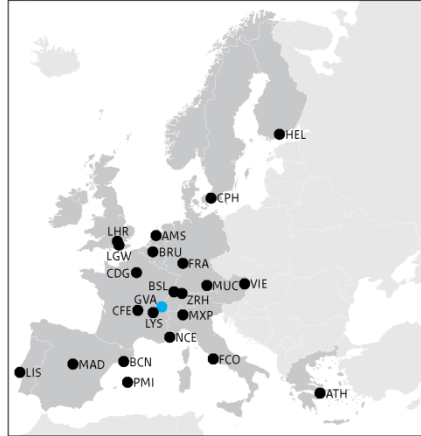
Lieshout et al. (2015) schatten via een model wat er met de Nederlandse economie zou gebeuren als de hubfunctie van Schiphol zou afbrokkelen. Zij rekenden drie hypothetische scenario's door voor 2013: verlies van de hubfunctie (zoals in Boedapest, Barcelona en Milaan), een rationalisatie van de hubfunctie waarbij circa 30 procent van de minst rendabele frequenties van de hubcarrier geschrapt zou worden (zoals in Zürich en Brussel), en een consolidatie van de hubfunctie, met een beperkte overheveling van de bestemmingen van Schiphol naar Parijs. Zij vergeleken deze drie scenario's met de werkelijke situatie in dat jaar. Volgens hun modelberekeningen treedt versnelde hubafkalving pas op als het aantal transferpassagiers met meer dan 30 procent afneemt. Tot dat moment kan het bestemmingsnetwerk door prijsdalingen en frequentiereducties redelijk in stand worden gehouden. In het consolidatiescenario daalt het aantal aangeboden bestemmingen daardoor slechts met 5 procent (met 6 procent minder vluchten en 13 procent minder passagiers); dit betreft vooral intercontinentale bestemmingen. In het rationalisatiescenario kost het Schiphol 9 procent van de bestemmingen. Het totale aantal vluchten daalt dan met 21 procent en het aantal passagiers met 28 procent. Bij verlies van de hubfunctie ontstaat er een negatieve spiraal en raakt Schiphol 16 procent van zijn bestemmingen kwijt, 39 procent van zijn vluchten en 49 procent van zijn passagiers. Andere maatschappijen, vooral LCC's, nemen een deel van de directe verbindingen over. De indirecte connectiviteit (met tussenstop) blijft daardoor vrijwel gelijk.

Dynamiek in hub-luchthavens in Europa (EU15+2)

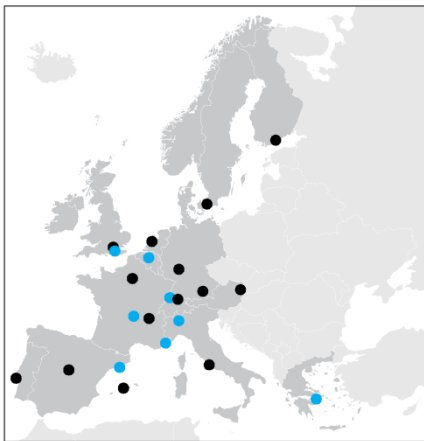
1990



1999



2010



- Luchthaven met hub-functie
- Hub-functie vervallen
- EU15(+2) landen

Bron: Burghouwt et al 2015, opmaak PBL

De extra kosten voor reizigers en luchtvaartsector zouden bij verlies van de hubfunctie neerkomen op 634 miljoen euro per jaar, vooral vanwege de extra reiskosten die reizigers naar andere luchthavens moeten maken. Rationalisatie zou de samenleving in 2013 156 miljoen euro per jaar hebben gekost en consolidatie 63 miljoen euro (Lieshout et al. 2015). Onduidelijk is of in het model rekening is gehouden met het feit dat reizigers hun bestemming aanpassen als de keuze op Schiphol kleiner wordt en de reistijd langer wordt. Dat geldt vooral voor vakantiereizigers (Copenhagen Economics 2012).

Lieshout et al. gebruikten de bovengenoemde ramingen van de aan Schiphol gerelateerde toegevoegde waarde en werkgelegenheid van Decisio (2015) om het effect op de hele nationale economie te berekenen. Door deze ramingen te corrigeren voor de dalende passagiersvolumes, schatten zij het negatieve effect op de nationale economie op 1 miljard euro en 14.000 banen bij consolidatie, op 2,5 miljard euro en 32.000 banen in het rationalisatiescenario, en op 4 miljard euro per jaar en 55.000 banen bij verlies van de hubfunctie. Het gaat hier om bovengrenzen en de effecten op de werkgelegenheid zijn slechts tijdelijk. Binnen enkele jaren vinden de meeste van deze mensen weer een andere baan (Lieshout et al. 2015).

Ook CPB en PBL raamden wat de toekomstige gevolgen zouden zijn van het verlies van de hubfunctie. Dat deden zij in een variant op het lage economische en demografische scenario dat zij doorrekenden voor 2050 (zie paragraaf 6.3). Verlies van de hubfunctie zou betekenen dat het aantal passagiers op Schiphol tot 58 miljoen zou toenemen, nauwelijks meer dan in het basisjaar 2013, in plaats van tot de 110 miljoen passagiers die anders in dit scenario worden verwacht (CPB & PBL 2016).

Kenmerkend voor de hubfunctie van een luchthaven als Schiphol zijn de transferverbindingen die worden verzorgd door netwerkmaatschappijen: het zogeheten mainportverkeer. Lieshout en Boonekamp (2017) deden een poging om de bijdrage aan de welvaart van dit mainportverkeer te vergelijken met die van het overige, recreatieve verkeer. Onder mainportverkeer verstaan zij alle directe vluchten met afstanden onder de 700 kilometer of boven de 4.000 kilometer, alle verkeer naar hoofdsteden en alle vluchten met meer dan 10 procent transferpassagiers. Als mainportverkeer zo wordt gedefinieerd, bestaat slechts een tiende van de directe connectiviteit uit recreatieve bestemmingen (in 2016). De geschatte totale bijdrage aan de welvaart van recreatief verkeer is daardoor in verhouding gering. Mainportverkeer genereert per (Nederlandse) passagier de meeste welvaart vanwege het hogere aandeel zakenreizigers, maar per vlucht is dat het recreatieve verkeer (Lieshout & Boonekamp 2017). Dat komt doordat deze vluchten voornamelijk door Nederlandse passagiers worden bezet. Overigens lieten ze bij hun berekeningen de effecten op de leefomgeving buiten beschouwing omdat die klein zouden zijn, en dateren de kengetallen waarmee de economische effecten zijn berekend uit 2003.

4 Afwegingskader

Niet alle effecten van een luchthaven en van luchtverkeer bestaan uit productiviteit, toegevoegde waarde en werkgelegenheid. Er zijn ook effecten op de leefomgeving van mens en dier die minder gunstig zijn, zoals schade voor het milieu en de natuur, gezondheidsschade voor de mens, meer onveiligheid en klimaatverandering. Deze effecten hebben doorgaans geen prijs (geen markt), waardoor ze geen economische waarde lijken te hebben. In hoofdstuk 7 en 8 gaan we in meer detail in op de aard en de omvang van deze effecten. In dit hoofdstuk beperken we ons tot de wijze waarop zulke effecten in een integrale economische afweging worden meegenomen. Tevens gaan we kort in op de milieueffectrapportage (m.e.r.).

Wat als zulke leefomgevingseffecten wel een prijs zouden hebben? Aviation Economics (2018) rekende voor Natuur & Milieu uit dat de gemiddelde ticketprijs voor de Nederlander met 28 procent zou stijgen als de maatschappelijke kosten van de CO₂-emissies, de aantasting van de luchtkwaliteit en de geluidsoverlast zouden worden meegenomen. Bij langere vluchten is dit percentage hoger, bij korte vluchten lager vanwege het verschil in klimaateffect.

Bij beleid voor de luchtvaart en de beslissing over de uitbreiding van een luchthaven zouden alle leefomgevingseffecten moeten worden meegewogen. Bij investeringsbeslissingen gebeurt dat door ongeprijsde leefomgevingseffecten een waarde te geven die is gebaseerd op het gebleken keuzegedrag en de voorkeuren van mensen. Meestal wordt daarvoor het instrument van de *maatschappelijke kosten-batenanalyse* gebruikt (MKBA) (CE Delft 2017; Romijn & Renes 2013). Voor grote infrastructuurprojecten stelt het Rijk vaak een MKBA verplicht, soms geldt dat ook voor uitbreidingen van luchthavens. Met een MKBA worden alle huidige en toekomstige, positieve en negatieve effecten van een luchthavenuitbreiding op de samenleving meetbaar gemaakt en in geld uitgedrukt, en vergeleken met de situatie zonder de uitbreiding. Een positief saldo is in principe een voorwaarde voor de uitvoering van het project. De informatie van de MKBA kan ook helpen om het project te verbeteren.

Belangrijk voor een MKBA zijn de aannames over de toekomst waarin de uitbreiding moet renderen. Dat wordt gedaan aan de hand van scenario's (zie paragraaf 6.3). CE Delft (2013) constateert dat daarbij vaak de behoefte wordt overschat, waardoor het saldo te positief uitvalt. Er zijn MKBA's uitgevoerd voor Schiphol en Lelystad (Decisio et al. 2014) en bijvoorbeeld voor de regionale vliegvelden Eindhoven (Ecorys 2018), Rotterdam/Den Haag (Ecorys 2015) en Groningen/Eelde (Ecorys 2016). We concentreren ons hier op Schiphol, de mainportluchthaven.

4.1 MKBA uitbreiding Schiphol

In 2014 werd voor Schiphol en Lelystad een MKBA uitgevoerd om de uitbreidingsplannen van Lelystad te beoordelen (Decisio et al. 2014). Het ging om een quickscan, een vereenvoudigde versie van de MKBA. In alle toekomstscenario's die zijn bekeken, is het saldo van de effecten flink positief, maar met een grote onzekerheid omgeven. Het zijn vooral de (bespaarde) reistijdskosten die het positieve saldo bepalen. Als de uitbreiding van Lelystad niet door zou gaan, is verondersteld dat passagiers hun bestemmingen niet aanpassen maar uitwijken naar Frankfurt en Brussel. Om de kosten van dit tijdverlies te bepalen, is gerekend met de hoge reistijdwaardering die geldt voor luchtvervoer (zie paragraaf 4.2). Bovendien zijn de grootschalige investeringen die op Schiphol nodig zijn om

toeristisch verkeer in de daluren te vervangen door hubverkeer in de piekuren buiten beschouwing gebleven (Decisio et al. 2014).

In hetzelfde onderzoek is ook een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij met een lagere reistijdwaardering en wel met de benodigde investeringen op Schiphol rekening is gehouden (nog wel met twee uitwijkvluchthavens). Ook dan blijft het saldo van maatschappelijke kosten en baten in alle scenario's nog iets positief. De negatieve leefomgevingseffecten dragen maar beperkt bij aan het saldo (nog geen -5 procent), hoewel deze in het maatschappelijke debat een grote rol spelen. Meer dan de helft van de deze kosten aan leefomgevingseffecten ontstaat door extra klimaatverandering als gevolg van het toegenomen luchtverkeer. De waarde van de geluidsoverlast is vrijwel nihil. Deze is geschat op basis van het verwachte effect op de woningprijzen binnen en buiten de geluidscontour van Lelystad (Decisio et al. 2014). De methode veronderstelt dat de lagere prijzen van woningen binnen de geluidscontour ook het gezondheidseffect van de geluidsbelasting weerspiegelt, maar de auteurs vinden dit niet waarschijnlijk.

In 2018 is ook een (verkenkende) MKBA uitgevoerd voor vijf alternatieve ontwikkelrichtingen voor Schiphol, Eindhoven en Lelystad (Decisio & SEO 2018). Dat gebeurde tegen de achtergrond van twee toekomstscenario's voor de luchtvaart van Nederland, opgesteld door het CPB en PBL (2016). Ten opzichte van een voortzetting van het huidige beleid komt een maximaal groeiscenario ('mega-hub') het gunstigst uit de MKBA. Bij een restrictief 'milieu-hub'-scenario is het saldo negatief (slechter dan het huidige beleid). Verder blijkt dat groei op de regionale vluchthavens ten koste van Schiphol per saldo minder oplevert dan groei op Schiphol, als integraal naar de effecten wordt gekeken (Decisio & SEO 2018). Ook in deze MKBA zijn de reistijdskosten dominant en hebben de leefomgevingseffecten weinig invloed op het saldo; het gaat daarbij voornamelijk om klimaatverandering. De waarde daarvan is waarschijnlijk te laag geraamd, omdat voor de maatschappelijke kosten van CO₂-emissies niet de standaard kengetallen zijn gebruikt, zoals de auteurs ook zelf aangeven, en een te hoge discontovoet (CPB, geciteerd in *De Groene Amsterdammer* van 1 augustus 2018).

Ook een verandering van het routenetwerk zou met een MKBA integraal moeten worden geanalyseerd op positieve en negatieve effecten (Decisio 2015). Net als een nieuwe locatie voor Schiphol, bijvoorbeeld in zee (Koopmans et al. 2018). Tegenover de hoge kosten van de investering, de langere reistijd voor de reizigers en de mogelijke beperkingen voor windparken en zeescheepvaart staan dan de voordelen van een afname van de schade aan de leefomgeving en de baten van nieuw gebruik van de huidige locatie voor woningbouw en natuur. Maar zolang reiskosten zoveel hoger worden gewaardeerd dan leefomgevingseffecten, zal zo'n MKBA vanwege de extra reistijd naar een locatie in zee nooit gunstig uitvallen (Van Holst 2018).

4.2 Waardering effecten in MKBA

Een MKBA maakt transparant welke effecten een vluchthaven heeft en hoe deze worden gewaardeerd, zodat daarover debat mogelijk is. Bij vluchthavens gaat dat debat vaak over het (voorwaartse) vestigingsplaatseffect (zie hoofdstuk 2), de omgevingsscenario's (zie hoofdstuk 6) en de waardering van reistijd en leefomgevingseffecten. Op deze twee laatste punten gaan we nu in.

Reistijdwaardering

De reistijdwaardering is vaak doorslaggevend in een MKBA, maar hoe wordt die bepaald als het gaat om de reistijd van deur tot deur bij een vlucht? Decisio et al. (2014) hanteren voor zakenreizigers een bedrag tussen 28 en 92 euro per uur, en voor niet-zakelijk verkeer tussen 8 en 50 euro, dus de verschillen zijn groot. Dit zijn formele kengetallen van het KiM (2013),

waarbij het eerste bedrag steeds betrekking heeft op een reis per auto en het tweede op het vliegtuig. Welke prijs heeft de samengestelde reistijd die kan bestaan uit een autorit, openbaar vervoer, beveiligingsprocedures en bijvoorbeeld wachttijd? Uit onderzoek naar gestelde voorkeuren (*stated preference*, zoals enquêtes) blijkt dat luchtreizigers de reistijd naar de luchthaven hoger waarderen dan normale reistijd, waarschijnlijk vanwege de kans dat ze hun vlucht missen (Annema & Van Wee 2016; Koster et al. 2010).

Waardering leefomgevingseffecten

De schade aan de leefomgeving wordt vaak berekend aan de hand van indirecte indicatoren, zoals huizenprijzen voor geluidsoverlast en de prijzen van CO₂ voor de schade door klimaatverandering, maar het is de vraag of deze weerspiegelen hoe de burger de aantasting van zijn leefomgeving werkelijk ervaart en hoe dit op termijn zijn gezondheid en productiviteit beïnvloedt (CE Delft 2013; Decisio & SEO 2018). Daarbij is de gezondheidsschade door geluid en luchtkwaliteit op de langere termijn niet bekend, en wordt deze daarom vaak niet of in beperkte mate bij de kosten meegenomen (Annema & Van Wee 2016; CE Delft 2013). Ook zijn niet-CO₂-effecten van luchtvaart op kruishoogte niet meegenomen, terwijl wel een klimaateffect wordt verondersteld (zie paragraaf 6.2). Van Holst (2018) stelt dat achteraf wel eens kan blijken dat de leefomgevingseffecten van een luchthavenuitbreiding veel te laag zijn ingeschat. Bij een evaluatie van de leefomgevingseffecten van de ondertunneling van de A2 bleken de baten van de verbeterde leefomgeving namelijk fors hoger dan vooraf was geraamd (Tijm et al. 2018). Van Holst pleit bij MKBA's van luchthavenuitbreidingen verder voor meer aandacht voor de beperkingen van het luchtruim, voor disruptieve ontwikkelingen in de luchtvaart, voor monetaire waardering van de economische effecten (bijvoorbeeld van de hubfunctie) en voor de mate waarin de baten van een luchthaven in het buitenland terechtkomen. Vanwege het publieke belang van de afweging tussen economie en leefomgeving stellen Manshanden en Bus (2018) voor de overheid opdrachtgever van MKBA's te maken. Nu is dat vaak de exploitant van de luchthaven.

Verdeling van lasten en baten

Een positief MKBA-saldo houdt in dat de uitbreiding van de luchthaven de nationale welvaart verhoogt. Maar dat wil niet zeggen dat elke Nederlander daarvan evenveel profiteert. Verreweg de meeste reizigers genieten wel de baten, maar niet de lasten. De lasten slaan vooral neer in de directe leefomgeving van de luchthaven, zodat er een ongelijke verdeling is. Verder blijken de economische effecten te verschillen tussen hoogopgeleiden en laagopgeleiden (Decisio et al. 2014; Kluge et al. 2017). Een MKBA zou zulke herverdelingseffecten in kaart moeten brengen als deze de besluitvorming beïnvloeden (CE Delft 2017; Romijn & Renes 2013). De kern van de afweging is tussen een grote, wisselende groep die jaarlijks enkele uren tijdwinst boekt en een kleinere, vaste groep die dagelijkse overlast ervaart. Door het gebruikte jargon en door alles in euro's uit te drukken kan een MKBA deze afweging versluieren (Annema & Van Wee 2016).

4.3 Milieueffectrapportage

Terwijl de MKBA een instrument is dat helpt bij het maken van een afweging tussen alle maatschappelijke baten en kosten van een investeringsproject of maatregel, gaat het bij de milieueffectrapportage (m.e.r.) alleen om de effecten op het milieu. De Wet Milieubeheer schrijft voor dat bij bepaalde ingrepen een milieueffectrapport moet worden opgesteld om het milieubelang een volwaardige plaats te geven in de besluitvorming. De milieueffecten worden zo goed mogelijk gekwantificeerd, maar zonder ze (zoals bij een MKBA) via een monetaire waardering met elkaar en met andere effecten vergelijkbaar te maken. In de

beschouwde literatuur is er vrijwel geen discussie over de m.e.r. als instrument. De maatschappelijke discussie over de uitvoering van de m.e.r. valt buiten deze literatuurscan.

Bij veranderingen in de ontwikkeling en de operatie van luchthavens van nationale betekenis¹ geeft het ministerie van IenW een vergunning af in de vorm van een luchthavenbesluit. Op basis van het Besluit Milieueffectrapportage is daarbij vaak een m.e.r. nodig. Het milieueffectrapport wordt doorgaans opgesteld door de exploitant van de luchthaven. De Commissie m.e.r. beoordeelt of het de benodigde milieu-informatie bevat en of dit juist is, waarna het bevoegd gezag het besluit neemt. Het bevoegd gezag bij luchthavens van nationale betekenis is de minister van IenW, of – bij Eindhoven Airport – de minister van Defensie, waarbij de minister van IenW medebevoegd is. Het bevoegd gezag bevordert een goede afbakening van reikwijdte en detailniveau van de m.e.r. en is desgevraagd verplicht om daarover een advies uit te brengen.²

De Commissie m.e.r. kan hierbij adviseren, zoals in 2017 gebeurde bij het Groningen Airport Eelde (Commissie m.e.r. 2017). Daar deed zij de aanbeveling om bij milieueffecten niet alleen te kijken naar de formele grenswaarden. Bij ernstige geluidshinder zou in de m.e.r. bijvoorbeeld ook buiten het gebied moeten worden gekeken waar de geluidsbelasting de formele grenswaarden van 48 dB(A) L_{den} en 40 dB(A) L_{night} overschrijdt³ (Commissie m.e.r. 2017). Later maakte de Commissie m.e.r. dit gebied voor Lelystad Airport concreet door te adviseren om bij de meting van ernstige geluidshinder het hele gebied binnen de 40 dB(A) L_{den} contour mee te nemen (Commissie m.e.r. 2018). Ook bij emissies naar de lucht beveelt de Commissie m.e.r. (2017) aan om te kijken naar emissies onder de grenswaarden voor de luchtkwaliteit, omdat ook dan gezondheidseffecten kunnen optreden.

Klimaateffecten maken nog niet zo lang deel uit van de m.e.r.'s voor luchthavenbesluiten. CO₂-emissies zijn wel opgenomen in de m.e.r. voor Lelystad Airport (Adecs & To70 2014), in de actualisatie van deze m.e.r. (IenW 2018) en in de m.e.r. voor Rotterdam The Hague Airport (Adecs & Arcadis 2016). Er wordt bij deze m.e.r.'s alleen gekeken naar de uitstoot van CO₂ bij starts en landingen (tot een hoogte van circa 900 meter). Dat gebeurde ook bij Eindhoven Airport, waar ter voorbereiding van een nieuw luchthavenbesluit een onderzoek naar de toekomstige emissies is uitgevoerd (Van Bokhorst & Faber 2018a). Op verzoek van de gemeente Eindhoven is de studie aangevuld met de CO₂-uitstoot gedurende de rest van de vlucht (Van Bokhorst & Faber 2018b).

¹ Luchthavens van nationale betekenis zijn de vliegvelden Groningen/Eelde, Lelystad, Maastricht/Aachen, Eindhoven en Rotterdam/Den Haag. Dit zijn vliegvelden die internationale vluchten met grote toestellen kunnen ontvangen en belangrijk zijn voor de economie.

² Zie website kenniscentrum InfoMil van Rijkswaterstaat: www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/mer/praktijkhandreiking/reikwijdte/beperkte-procedure.

³ Zie paragraaf 8.1 voor informatie over en achtergrond van deze geluidsmaten.

5 Markt en coördinatie

De eenwording van de Europese luchtvaartmarkt heeft de concurrentie tussen luchtvaartmaatschappijen vergroot. Die concurrentie is het grootst rond de hubluchthavens London Heathrow, Madrid Barajas, Rome Fiumicino en Schiphol. Meerdere maatschappijen strijden hier om de beperkte hoeveelheid zogeheten slots (de korte tijdvensters voor het stijgen en landen) en daarmee om de verbindingen (Lieshout et al. 2016). Ook de concurrentie tussen de luchthavens in Europa is snel toegenomen (Thelle et al. 2018), vooral in het Verenigd Koninkrijk, de Benelux, het westen van Duitsland, Zwitserland en Italië (Lieshout et al. 2016). Dat komt in het bijzonder door de opkomst van Low-Cost Carriers (LCC's), die meer *footloose* zijn dan netwerkmaatschappijen. Als resultaat daarvan is de jaarlijkse variatie in het aantal routes en de zitplaatscapaciteit tussen 2002 en 2011 sterk toegenomen. Ook de netwerkmaatschappijen zijn minder afhankelijk geworden van hun luchthaven, bijvoorbeeld door over te gaan op een multihubstelsel. Als op die manier de marktmacht van luchthavens afneemt, is regulering die daartegen moet beschermen minder nodig, aldus Thelle et al. (2018).

Belangrijke concurrentiefactoren voor het behouden en versterken van de netwerkqualiteit van Schiphol zijn een hoge piekcapaciteit, korte overstaptijden, een grote lokale markt en het prijspeil van de luchthaven (Zuidberg & Burghouwt 2010). Het Rijk wil de capaciteit van Schiphol zoveel mogelijk gebruiken voor de vluchten die bijdragen aan de netwerkqualiteit, het mondiale netwerk van de luchthaven. Het is de bedoeling om vluchten die niet bijdragen aan dat netwerk, zoals vakantievluchten, voor een deel te laten uitwijken naar Lelystad en Eindhoven. Dit is vastgelegd in de Aldersafspraken en door het kabinet overgenomen als beleid (bijvoorbeeld in het Regeerakkoord 2017-2021).

Bij schaarste wordt de luchthavencapaciteit verdeeld door de slots te verdelen over vliegmaatschappijen. Dit verdeelsysteem moet voldoen aan de Worldwide Slots Guidelines van IATA (IATA 2017) en aan de Verordening Toewijzing Slots op Communautaire Luchthavens van de Europese Unie (EEG 1993-2009). De Wit en Burghouwt (2017) bespreken dit systeem, belichten de beperkingen daarvan voor Schiphol en stellen 'secundaire slothandel' (zie paragraaf 5.3) voor als efficiënter alternatief om de hubfunctie van Schiphol te beschermen dan een twin-airport met Lelystad.

5.1 Verkeersverdelingsregel

De overheid heeft weinig middelen om het luchtverkeer te verdelen over luchthavens. In internationale luchtvaartverdragen is vastgelegd dat verkeersvluchten in principe op iedere daartoe uitgeruste luchthaven terecht kunnen, behoudens enkele randvoorwaarden en mits er capaciteit is. Een sturing in de verkeersverdeling tussen luchthavens is wel mogelijk als die luchthavens deel uitmaken van één luchthavensysteem. De Europese Commissie heeft de voorwaarden daarvoor vastgelegd in artikel 19 van Regeling 1008/2008. Het belangrijkste criterium daarin om twee of meer luchthavens als een luchthavensysteem te mogen beschouwen, is dat de luchthavens dezelfde agglomeratie bedienen. Om Schiphol te ontlasten, staat de Europese Commissie onder strikte voorwaarden een verkeersverdelingsregel toe, waarmee een deel van het luchtverkeer naar luchthavens als Lelystad en Eindhoven kan worden gedwongen.

Luchtvaartmaatschappijen verdelen hun operaties liever niet over meerdere luchthavens in hetzelfde achterland, omdat dit de kosten verhoogt en reizigers het minder prettig vinden. Als zo'n splitsing toch nodig is, bijvoorbeeld vanwege capaciteitsrestricties op de primaire

luchthaven Schiphol, zijn er afhankelijk van de openingstijden en omvang van de secundaire luchthaven verschillende operationele modellen mogelijk, zo blijkt uit onderzoek op andere Europese luchthavens (M3 2017). Het openen van een nieuwe basis in Lelystad is het meest aantrekkelijk voor luchtvaartmaatschappijen. Een luchtvaartmaatschappij kan in Lelystad een nieuwe basis openen als binnen drie jaar een rendabele exploitatie met 3 of 4 vliegtuigen mogelijk is. De capaciteit van Lelystad laat dit in de beginperiode echter nog niet toe. Tot het zover is, zijn er onder druk van een verkeersverdelingsregel alleen operationele modellen mogelijk die minder aantrekkelijk zijn voor luchtvaartmaatschappijen: Nederlandse chartermaatschappijen die de luchthaven gebruiken voor recreatief verkeer, of buitenlandse maatschappijen die – zolang een basis niet rendabel is – tijdelijk een deel van hun vluchten van Schiphol naar Lelystad verplaatsen en vanaf beide luchthavens opereren. Ervaringen op andere Europese luchthavens wijzen uit dat beide modellen zonder uitzicht op een vaste basis uiteindelijk niet levensvatbaar zijn (M3 2017).

De Wit en Burghouwt (2017) maken aannemelijk dat de door het kabinet in 2017 voorgestelde verkeersverdelingsregel voor Schiphol niet zal werken. Deze regel zal het capaciteitstekort niet oplossen, omdat de overloopluchthavens ook maar weinig capaciteit zullen hebben. Verder leidt hij tot een ongelijke behandeling van luchtvaartmaatschappijen en zal ook om andere redenen niet door de Europese Commissie worden toegestaan. Ten slotte kunnen zulke regels tot internationale conflicten leiden en tot pervers gedrag van luchtvaartmaatschappijen. Ervaringen in het buitenland bevestigen dit volgens deze auteurs.

M3 (2018) onderzocht wat het effect van de beoogde verkeersverdelingsregel van het ministerie van IenW zou zijn geweest in het jaar 2015. Het onderzoek laat zien dat de verkeersverdelingsregel nauwelijks hubcapaciteit vrijmaakt, ook niet als die wordt opgerekt tot recreatievluchten buiten de piekuren. Uitplaatsing van vakantievluchten ontlast namelijk nauwelijks de venstertijden met de grootste drukte. Bovendien kan dit ten koste gaan van voor Schiphol unieke verbindingen met een significant aandeel zakenreizigers (meer dan 20 procent), zoals Ljubljana (Slovenië), Leipzig (Duitsland), Exeter, Nottingham en Bournemouth (Verenigd Koninkrijk), Santiago de Compostela (Spanje) en Danzig (Polen).

Verplaatsing van de vakantievluchten naar Lelystad kan verder leiden tot een aanzienlijke toename van de marktmacht voor de achterblijvers op Schiphol (Behrens & Lijesen 2018). Verplaatsing kan op sommige bestemmingen zowel voor de uitgeplaatste als voor de achterblijvende maatschappijen leiden tot bijna-monopolies, omdat concurrenten uit elkaar worden geplaatst.

5.2 Grandfather rights

Bij de verdeling van slots gelden volgens de verordening van de Europese Commissie *grandfather rights*: als een luchtvaartmaatschappij in de afgelopen periode meer dan 80 procent van haar slots heeft benut, behoudt zij deze slots. Zulke afspraken over de verdeling van slots dateren uit een tijd waarin nauwelijks capaciteitsrestricties bestonden en passen daarom niet meer in deze tijd, aldus Van den Brandt et al. (2014). Sommige luchtvaartmaatschappijen houden onrendabele slots vast om concurrenten te blokkeren (Sieg 2009). Voor maatschappijen die (uitsluitend) vracht vervoeren, is het moeilijker om een reeks slots voldoende te benutten en zo te behouden, omdat zij meer afhankelijk zijn van wisselende marktomstandigheden en seizoenen (Albalade et al. 2015; Kouwenhoven & Grebe 2018). *Grandfather rights* kunnen ook de economische belangen schaden van regio's met een luchthaven die fungeert als satelliet van een dominante hub in de buurt (Van den Brandt et al. 2014).

5.3 Secundaire slothandel

Secundaire slothandel is de handel tussen luchtvaartmaatschappijen in de door de slotcoördinator toegewezen, maar ongebruikte slots. Daarbij betalen luchtvaartmaatschappijen voor deze slots, zodat zij een marktwaarde krijgen. Dat heeft tot gevolg dat de meest gewilde slots worden verworven door maatschappijen die in deze slots met hun vluchten het hoogste rendement weten te behalen. De Europese Commissie gedooft deze handel, onder andere op Heathrow en Gatwick (De Wit & Burghouwt 2017).

Deze handel is in het voordeel van de netwerkcarriers, omdat die vanwege een hoger aandeel zakenreizigers in staat zijn meer voor een slot te betalen. Het niet aan Schiphol gebonden verkeer wijkt uit naar de daluren, naar Lelystad of naar het buitenland, zonder dat de overheid via regulering hoeft in te grijpen (De Wit & Burghouwt 2017). De ervaringen op de Londense vliegvelden leren dat secundaire slothandel ertoe zal leiden dat de slots op Schiphol meer benut zullen worden voor grotere vliegtuigtypen met hogere bezettingsgraden, die georiënteerd zijn op intercontinentale bestemmingen. Door gebruik van het prijsmechanisme wordt de slotcapaciteit efficiënter benut dan met het bestaande verdeelmechanisme, en genereert de luchthaven meer economische baten (Van den Brandt et al. 2014).

Ook Behrens et al. (2018) keken naar ervaringen met secundaire slothandel in het buitenland en onderzochten via interviews in Nederland welke effecten dit op Schiphol zou kunnen hebben. Volgens hen zijn de buitenlandse ervaringen nog weinig representatief voor de Nederlandse situatie. De auteurs verwachten dat de slotmobiliteit zal toenemen, maar de effecten op concurrentieverhoudingen, luchtvaartmaatschappijen en consumenten zijn minder duidelijk. Ook het effect op het efficiënt gebruik van luchthavencapaciteit is niet eenduidig. Mogelijk zullen grote luchtvaartmaatschappijen de nieuwe slots deels gebruiken voor de inzet van kleinere toestellen ten behoeve van de huboperatie. Dat komt efficiënt slotgebruik niet ten goede. De maatschappijen zelf krijgen met secundaire slothandel de mogelijkheid om seizoenschommelingen op te vangen, wat hun efficiëntie wel vergroot. Naar verwachting maakt Air France-KLM gebruik van secundaire slothandel om de bestaande netwerkvoordelen verder uit te bouwen (zie ook Burghouwt et al. 2017a). Netwerkmaatschappijen uit de opkomende industrielanden uit Azië en het Midden-Oosten met grote financiële middelen zullen waarschijnlijk slots gaan kopen. Verkopers zijn bijvoorbeeld LCC's zonder duidelijke groeistrategie op Schiphol, die dan hun operatie vanaf Lelystad voortzetten, en vrachtmaatschappijen (Behrens et al. 2018).

6 De toekomst van de luchtvaart

De toekomst van de luchtvaart is van veel onzekere factoren afhankelijk. Die onzekerheden betreffen onder andere de groei van het gemiddelde inkomen, de mate waarin de vlieggeneigdheid met inkomen toeneemt, de kosten van het vliegen als gevolg van brandstofprijzen en belastingen, milieuwetgeving en de concurrentie van Low-Cost Carriers (LCC's). Maar ook maakt het uit of het Klimaatakkoord ook voor luchtvaart gaat gelden en met welke snelheid de technologie zich ontwikkelt (CE Delft 2013).

6.1 Luchtvaartmarkt

Luchtvaartmaatschappijen kiezen luchthavens als knopen in hun verbindingennetwerk. Deze keuze is strategisch voor hun businessmodel: die beïnvloedt de structuur van hun netwerk, de operationele kosten en de mate waarin ze moeten concurreren met andere vliegmaatschappijen en andere vervoerswijzen. De keuze van een luchtvaartmaatschappij kan overigens ook van invloed zijn op de ontwikkeling van het stedelijk gebied bij die luchthaven (Dobruszkes et al. 2016).

De liberalisering van de luchtvaartmarkt stimuleerde de snelle opkomst van LCC's, die zich toeleggen op goedkope, rechtstreekse vluchten buiten de grote luchthavens. Tussen 2000 en 2013 steeg het aantal routes dat door LCC's werd bediend in de 15 landen die in 1994 deel uitmaakten van de Europese Unie plus Noorwegen en Zwitserland van enkele honderden tot 4.250. Op de meeste van deze routes hadden ze geen concurrentie. Toch ging dat door het gebruik van regionale luchthavens en parallelle routes ook ten koste van de gevestigde, nationale maatschappijen en de hubluchthavens die zij bedienden (Burghouwt et al. 2015a; Burghout & De Wit 2015).

Jimenez et al. (2017) onderzochten hoe de toename van de luchthavencapaciteit in Europa en de groei van LCC's elkaar tussen 2004 en 2013 hebben beïnvloed. Daarbij keken ze naar 13 luchthavensystemen (met 38 luchthavens) en vier autonome luchthavens. Schiphol, Rotterdam en Eindhoven beschouwen zij als één luchthavensysteem. Volgens dit onderzoek bestaat er samenhang tussen de uitbreiding van luchthavens, gebeurtenissen op de luchtvaartmarkt en de groei van de LCC-markt. Op sommige luchthavens blijkt dit de positie van traditionele carriers te bedreigen. De auteurs erkennen er nog te weinig bekend is over de causaliteit in deze samenhang. Dit inzicht is belangrijk voor beleidsontwikkeling in een luchtvaartwereld, waar de ontwikkeling van de luchtvaart vanwege de snelle groei van LCC's steeds onzekerder wordt.

Ander onderzoek suggereert dat het LCC-model geleidelijk verzadigd zal raken. Voor verdere groei zullen LCC's hun activiteiten verleggen naar primaire luchthavens in grootstedelijke agglomeraties, waar de bevolking en de welvaart het snelst groeien. Ze zullen ook zelf lange routes en transfervluchten aanbieden en meer samenwerken met andere maatschappijen, of die zelfs overnemen (schaalvergroting) (Burghouwt et al. 2015a; M3 2017). Daarbij bestaat de kans dat LCC's met nieuwe, directe langeafstandsverbindingen een deel van de hubs omzeilen (KiM 2017). Verder zullen LCC's zich steeds meer op de zakenreiziger richten (Dziedzic & Warnock-Smith 2016). Al deze ontwikkelingen zullen ten koste gaan van de gevestigde vliegmaatschappijen. Ook zullen LCC's vanaf primaire luchthavens meer gaan

concurreren met snelle treinverbindingen tussen grootstedelijke agglomeraties (Burghouwt et al. 2015a; Dobruszkes et al. 2016, De Wit & Zuidberg 2012). Als gevolg van deze ontwikkelingen zullen regionale luchthavens aan betekenis inboeten (Dziedzic & Warnock-Smith 2016).

Luchthavens kunnen een eventueel verlies aan hubfunctie als gevolg van de komst van LCC's beperkt houden door 'zelftransfer' (*self-transfer*) te stimuleren. Reizigers organiseren dan zelf hun overstap, waarbij ze kunnen kiezen tussen verschillende luchtvaartmaatschappijen, dus ook voor LCC's. Voor luchthavens is dit een kosteloze manier om meer opties voor overstap te bieden en zo hun hubfunctie uit te breiden. Ook worden ze zo aantrekkelijker voor LCC's. Sommige luchthavens faciliteren zelftransfer al via internetsites die het de reiziger makkelijker maken (KiM 2017).

6.2 Schiphol

De toenemende penetratie van LCC's in de markt voor lange afstanden en transferverbindingen zal in Nederland vooral te merken zijn op Schiphol en Eindhoven (KiM 2017). LCC's kunnen de hubfunctie van Schiphol onder druk zetten door rechtstreekse vluchten aan te bieden voor verbindingen die nu via Schiphol lopen, door lagere kosten en snellere omkeertijden af te dwingen, en door met lagere prijzen te concurreren met Schiphols home-carrier Air France-KLM (KiM 2017).

Het kabinet verwacht volgens de Actieagenda Schiphol (2016) in 2020 een reservecapaciteit van bijna 100.000 vliegbewegingen binnen het stelsel van samenwerkende luchthavens. De Wit en Burghouwt (2017) kwamen bij hun berekeningen echter niet verder dan 4.000 nieuwe bewegingen op Lelystad. De overige capaciteit zal al zijn gevolgen door het hamsteren van slots op Schiphol, uitstel van de opening van Lelystad en de autonome ontwikkeling van Eindhoven.

Gebrek aan capaciteit op Schiphol zal de ticketprijzen opdrijven en de gemiddelde vliegtuiggrootte versneld doen toenemen. De luchthaventarieven zullen bij de huidige regulering juist dalen. Deze zijn namelijk gekoppeld aan de kosten van de infrastructuur en worden bij een toenemende passagiersstroom over meer reizigers verdeeld. Daardoor werd Schiphol de laatste jaren een van de goedkoopste hubluchthavens van Europa (De Wit & Burghouwt 2017; Zuidberg & Van Spijker 2016,). Luchtvaartmaatschappijen zullen zich bij schaarste aan capaciteit richten op meer winstgevendende markten: meer op herkomstbestemmingspassagiers dan op transferpassagiers, meer op langeafstandsroutes en meer op zakenbestemmingen (De Wit & Burghouwt 2017).

Schiphol kan op deze marktdruk reageren door zelftransfer mogelijk te maken (KiM 2017). Schiphol heeft daarvoor in verhouding tot andere Europese luchthavens veel potentie. In geval van zelftransfer zullen de connectiviteit en het netwerk van Schiphol nauwelijks lijden onder de komst van LCC's. Het zal de luchthaven aantrekkelijker maken voor LCC's die langeafstandsvluchten aanbieden (*long-haul*). Zelftransfer kan wel ten koste gaan van het netwerk en de stoelbezetting van de home-carrier Air-France-KLM (KiM 2017). Het zal ook het bagageafhandelingssysteem van de luchthaven compliceren (Talen 2016).

6.3 Scenario's

De luchtvaart in Nederland groeit sterk, zowel op Europese als op intercontinentale relaties (KiM 2018b). Het KiM verwacht voor 2023 op Schiphol – zonder capaciteitsrestricties – een toename van de passagiersbewegingen tot bijna 81 miljoen. In 2017 waren dat er 68,4

miljoen (18 procent groei in 2023). Voor heel Nederland gaat het in 2023 om meer dan 92 miljoen, met maar liefst 49 procent groei op de regionale vliegvelden ten opzichte van 2017.

Om op lange termijn de toekomstige vraag naar luchthavens (vluchten en passagiers) te bepalen, zijn scenario's bedacht die beschrijven hoe de factoren die de vraag beïnvloeden zich zullen ontwikkelen. Daartegenover wordt de ontwikkeling van de toekomstige luchthavencapaciteit (het aanbod) gesteld, die wordt beïnvloed door nieuwe technologie, en meer efficiency en regelgeving (bijvoorbeeld geluidsbeperkingen). In veel internationale studies lijkt de toekomstige vraag te worden overschat, vooral vanwege gunstige aannames over de olieprijsontwikkeling, de vlieggeneigdheid en de technologische vernieuwing (CE Delft 2013). Ook Nederlandse scenario's voor 2040 lieten een aanmerkelijk hogere groei van de vliegbewegingen zien dan de Europese, mogelijk doordat zij een uitzonderlijk lage olieprijs veronderstelden (Faber et al. 2014).

Kouwenhoven (2014) rekende vier scenario's door van de Nederlandse vraag naar luchtvaart in 2020 en 2040, en concludeerde dat de luchthavencapaciteit – bij de bestaande beperkingen en afspraken rond Schiphol en de regionale luchthavens – in 2020 in twee van de vier, en in 2040 in drie van de vier scenario's onvoldoende zou zijn.

De luchtvaartscenario's van Kouwenhoven zijn nog gebaseerd op de WLO-scenario's (Welvaart & Leefomgeving) van het CPB en PBL uit 2006. In 2016 hebben de planbureaus twee nieuwe scenario's gepubliceerd, en deze ook nader uitgewerkt voor de Nederlandse luchtvaart (CPB & PBL 2016a). De scenario's zijn beleidsarm en beschouwen de periode 2013-2050. Het Hoge scenario veronderstelt een grote welvaart, een flinke bevolkingsgroei, een grote vlieggeneigdheid en een snelle technologische ontwikkeling, zodat de passagiersvraag bijna 40 jaar lang met 3 procent per jaar zal toenemen (vracht met 5 procent). Dit scenario veronderstelt ook een omgevingsbeleid met strenge restricties op het aantal vluchten vanwege geluidsbelasting. Daardoor zal een kwart van de vraag op Schiphol daar niet worden gerealiseerd en deels uitwijken naar Eindhoven en Lelystad.

In het Lage scenario neemt de passagiersvraag ook toe, maar dan met 2 procent per jaar (vracht met 3 procent). Het aantal passagiers op Schiphol, 53 miljoen in het basisjaar 2013, stijgt in het Lage scenario door naar 110 miljoen en in het Hoge zelfs naar 170 miljoen in 2050. Het aantal vluchten neemt dan toe van 430.000 naar 780.000, respectievelijk 1.200.000.

Voor het Lage scenario is ook doorgerekend wat het verlies van de hubfunctie zou betekenen. Het CPB en PBL voorzien dan een passagiersgroei met 10 procent in plaats van een verdubbeling. In beide scenario's nemen ook de vliegafstanden aanmerkelijk toe, en dus – door efficiëntieverbetering in mindere mate – ook de emissies.

Eurocontrol (2018) publiceerde een toekomstverkenning voor de Europese luchtvaart in 2040, bestaande uit vier scenario's: Global growth, Regulation and growth, Fragmenting world en Happy localism. Het scenario Regulation and growth is volgens Eurocontrol het meest waarschijnlijk. In dit scenario neemt het aantal vluchten tussen 2017 en 2040 met 53 procent toe, met een vertraging na 2035. Het hoogste scenario, Global growth, voorziet in een groei van 84 procent, met een vertraging na 2030. De groei is in deze twee scenario's lager dan in de jaren voor de crisis als gevolg van een lagere economische groei, hogere brandstofprijzen en gebrek aan luchthavencapaciteit. In Happy localism neemt het aantal vluchten met 41 procent toe, en ook in Fragmenting world is er nog steeds 12 procent groei.

In het scenario Regulation and growth moet Nederland rekenen op een toename van het aantal vluchten met 1,5 procent per jaar. Daarbij zal door gebrek aan luchthavencapaciteit nog een vraag van 100.000 à 200.000 vluchten onvervuld blijven. Ook het luchtruim wordt drukker. Boven Noordwest-Europa en de Balkan zullen er in sommige segmenten meer dan 900 vluchten per dag meer moeten worden verwerkt (+40 tot +55 procent). Toenemende congestie zal de vertraging in Europa doen oplopen, van gemiddeld 12,3 minuten per vlucht

in 2016 tot 20,1 minuten in 2040. Het aantal vluchten met 1 à 2 uur vertraging zal in dit scenario met een factor zeven toenemen.

Eurocontrol (2018) rekende ook een aantal verschillende maatregelen door om de voorziene capaciteitstekorten in Europa terug te brengen. Daaronder vallen maatregelen om de piekcapaciteit te vergroten (waardoor het capaciteitstekort met 28 procent afneemt), verplaatsing van vluchten naar regionale luchthavens (-16 procent), vluchten meer uitsmeren over de dag (-11 procent), gebruik van grotere vliegtuigen op drukke verbindingen (-8 procent) en vervanging door hogesnelheidstreinverbindingen tussen geschikte stedenparen (-7 procent).

Alle scenariostudies voorzien dat het vliegverkeer in de komende twee decennia nog aanzienlijk zal toenemen en bij voor de luchtvaart gunstige omstandigheden in Nederland zelfs bijna kan verdubbelen. Ook in minder voorspoedige scenario's zal de vraag naar luchtvervoer nog toenemen. Dat zal in Nederland waarschijnlijk tot gebrek aan luchthavencapaciteit leiden, zeker als de leefomgeving moet worden ontzien. Bij verdere groei van de luchtvaart zal het voor Nederland echter moeilijk worden om de afspraken uit het Parijse Klimaatakkoord na te komen (Peeters 2017).

6.4 Drones

Drones zijn op afstand bestuurd, onbemande vliegtuigen of helikopters (*unmanned aerial vehicles*, UAVs). De ontwikkeling van drones gaat zeer snel: bedrijven en overheidsinstellingen zien mogelijkheden om met drones productieprocessen te optimaliseren of nieuwe diensten aan te bieden. Denk aan toepassing in bijvoorbeeld de journalistiek, pakketbezorging en hulpdiensten (medicijnbezorging). Toepassing van drones in pakketbezorging lijkt kansrijk op onbekende termijn ('enkele decennia'). Wanneer klanten bereid zijn extra te betalen voor een snelle levering, en het tegelijkertijd gaat om een laag gewicht van de bestelling en een gunstige bezorglocatie, kan het gaan om circa 85 miljoen pakketten per jaar. Hiervoor zouden zo'n 70.000 bezorgdrones nodig zijn (De Lange et al. 2017). Drones delen het luchtruim met andere luchtvaartuigen. Om de kans op ongelukken klein te houden, gelden er regels voor bestuurders van drones; bedrijven moeten een vergunning hebben en zakelijke bestuurders een vliegbrevet (website IenW 2018).

De Lange et al. (2017) schetsten in een KiM-rapport de randvoorwaarden voor en ontwikkelingen in de toepassing van drones. Daarbij gaat het om technische aspecten en de maatschappelijke acceptatie. Bij deze acceptatie komen belangenafwegingen tussen economische kansen en maatschappelijke veiligheidsaspecten om de hoek kijken. Ook het voorkomen van misbruik, het minimaliseren van geluidshinder en de perceptie dat er inbreuk op de privacy wordt gemaakt zijn van invloed op de maatschappelijke acceptatie. Christian en Cabelly (2017) ontwikkelden voor NASA een ontwerptool voor drones, die zowel de prestaties als leefomgevingseffecten zou kunnen schatten. Onder dit laatste vallen onder andere geluid en hinder, efficiëntie en emissies. Drone-geluiden bleken bij proefpersonen meer irritatie op te roepen dan autogeluiden. Nader onderzoek is gewenst naar de geluidsbelasting van drones, zeker als het aantal in de toekomst toeneemt (Kloet et al. 2017).

Relevante regulering betreft bijvoorbeeld de betrouwbaarheid, veiligheid en privacy van drones en hun inpassing in het luchtverkeer (het Air Traffic Management, ATM). Airbus (2018) geeft een doorkijkje naar de gevolgen van het toestaan van drones. Volgens Airbus zal vooral de autonoom vliegende drone schaalvoordeel geven. Airbus geeft in de blueprint aan dat certificering en verregaande standaarden nodig zijn om technische innovaties te stimuleren, zonder aandacht te schenken aan aspecten als privacy of ethiek. Ter referentie, het CPB en PBL (2016) verwachten vóór 2050 geen hoge penetratiegraad met effect op

mobiliteitspatronen van de autonoom rijdende auto in het verkeer. Boeing geeft in een interview aan al in het jaar 2019 een prototype gereed te hebben van een luchttaxi die zonder piloot zou kunnen vliegen (Bloomberg 2018). Dat geeft aan dat de technologie op de middellange termijn beschikbaar zou kunnen zijn voor toepassing in een niche.

Luppicini & So (2016) zien een risico dat toenemend gebruik van drones voor commercieel gebruik tegengewerkt zou kunnen worden als maatschappelijke en ethische bezwaren niet worden geadresseerd. Ook Rao et al. (2016) concluderen uit een metastudie naar publicaties over drones dat een ethische standaard voor commercieel drone-gebruik ontbreekt, onder andere omdat er een grijs gebied is rondom de morele principes en het gedrag van individuen, groepen en organisaties.

Verder beïnvloedt een toenemend gebruik van drones de ruimtelijke ordening. Landingslocaties hoeven niet in de openbare ruimte te liggen en dat biedt kansen voor commerciële exploitatie (De Lange et al. 2017). De Lange et al. (2017) concluderen dat de overheid wel randvoorwaarden zou kunnen scheppen bij landingslocaties voor onbemand personenvervoer, bijvoorbeeld ten aanzien van de afstand tot gebouwen en het optrekken van geluidswallen. De inrichting en afstemming van deze landingslocaties zijn vooral in stedelijk gebied een uitdaging. Verticaal opstijgen en landen is volgens het onderzoek noodzakelijk om drones te kunnen gebruiken voor transport binnen een stedelijke omgeving.

7 Emissies en technologie

De luchtvaart heeft invloed op het klimaat door de uitstoot van onder andere CO₂, stikstofoxiden en waterdamp. We werken de invloed van alle luchtvaartemissies op het broeikaseffect uit in paragraaf 7.1. Daar zal blijken dat de huidige focus op de CO₂-emissies de totale invloed van de luchtvaart op het klimaat onderschat. De ontwikkeling van de CO₂-emissies vormt wel een belangrijke aanleiding voor de huidige maatregelen. In paragraaf 7.2 gaan we kort in op de lokale luchtverontreiniging door de emissies van luchtvaart.

Ook het omgekeerde is van belang: een veranderend klimaat met meer weersextremen heeft invloed op de uitvoering van luchtvaartactiviteiten (paragraaf 7.3).

Mondiaal kan er actie worden ondernomen om klimaatverandering tegen te gaan, bijvoorbeeld door klimaatbeleid te voeren, technologische ontwikkeling, verbetering van de energie-efficiëntie, de ontwikkeling van alternatieve brandstoffen, of vliegreizen vervangen door alternatieve vervoerswijzen (of in totaal minder reizen). Zo beïnvloeden internationale afspraken ook de luchtvaart in Nederland, bijvoorbeeld via instrumenten als het Europese Emissiehandelssysteem (ETS) en het Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) (paragraaf 7.4). In paragraaf 7.5 komen nieuwe technologieën voor verbetering van de energie-efficiëntie van vliegtuigen aan bod, alsook de ontwikkeling van alternatieve brandstoffen, zoals power-to-liquid, waterstof en biobrandstoffen. In paragraaf 7.6 ten slotte, gaan we in op ideeën voor het vervangen van vliegreizen door andere vervoerswijzen, als specifieke kans om een deel van de vraag naar luchtvaart te compenseren.

7.1 Klimaatimpact door luchtvaart

De luchtvaart veroorzaakt CO₂-emissies en andere emissies, zoals waterdamp (H₂O), roetdeeltjes, stikstofoxiden (NO_x), koolwaterstoffen (HC) en zwaveloxiden (SO_x). De hoeveelheid CO₂ die vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen, zoals kerosine, heeft een lineair verband met de hoeveelheid verstookte brandstof. De belangrijkste broeikasgassen die door luchtvaart in de lucht komen, zijn CO₂ en waterdamp (ICAO 2016), waarvan CO₂ een groot, langjarig effect heeft.

Niet-CO₂-emissies hoog in de lucht en de chemische reacties en wolkvorming daarbij, dragen ook bij aan het broeikaseffect (Lee et al. 2009; Van Velthoven 2013). Figuur 7.1 geeft een overzicht van de verschillende mechanismen. Wetenschappers begrijpen de chemische en microfysische processen die in de lucht plaatsvinden steeds beter (Brasseur et al. 2015; ICAO 2016). Maar de grootte van de versterking van het broeikaseffect ('stralingsforcering') is wetenschappelijk zeer onzeker en ook afhankelijk van andere stoffen in de atmosfeer. Vooral het effect en de grootte van deeltjes, fijnstof (waaronder roet), en het effect op wolkvorming is onzeker. Niet-CO₂-effecten zijn vooral van kortdurende aard (van uren voor vliegtuigstrepen tot maximaal zo'n tien jaar voor methaan), terwijl CO₂ zeer lang in de atmosfeer blijft (honderden jaren).

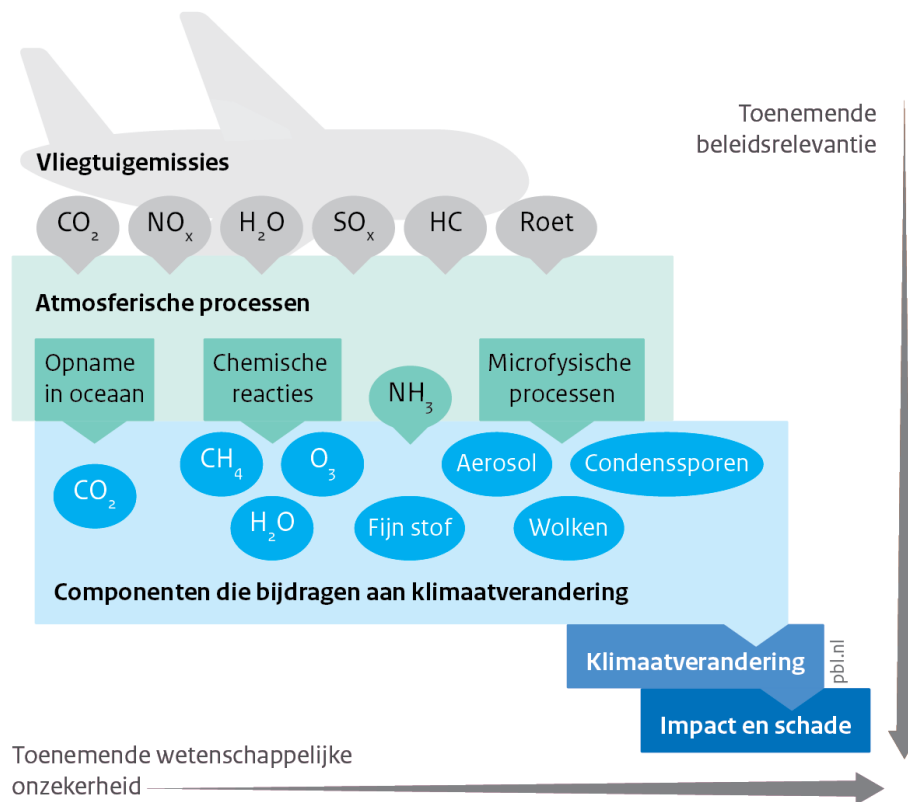
Vanwege de variatie in levensduur van de verschillende emissies in de atmosfeer en de lokale samenstelling van de lucht zijn de klimaateffecten van niet-CO₂-emissies niet proportioneel met de verbranding van brandstof (Lee et al. 2009; Scheelhaase et al. 2016).

Om enigszins grip te krijgen op het effect zijn studies uitgevoerd die met grote onzekerheid voor het jaar 2005 de effecten van alle emissies tezamen hebben geschat. Zij geven een bandbreedte van een opwarmingseffect door alle emissies met een factor 1,3⁴ tot 2 hoger dan de impact van alleen de CO₂-emissies, rekening houdend met een tijdshorizon van 100 jaar (CE Delft & VU 2014; EP 2015; Lee et al. 2010). De ratio van het opwarmingseffect van de totale emissies ten opzichte van CO₂ voor de kortere periode van 20 jaar, geeft een bandbreedte van 2,1 tot 4,8 voor 2005, waarbij in het laatste cijfer ook het onzekere effect van wolkenvorming is meegenomen (Lee et al. 2010). Met deze onzekerheden is het niet mogelijk om de toekomstige klimaatimpact van luchtvaart met voldoende betrouwbaarheid te schatten; een nieuw internationaal, wetenschappelijk onderzoek hiernaar zou de betrouwbaarheid verbeteren (Brasseur et al. 2015; ICAO 2016).

Zowel de CO₂-emissies als de niet-CO₂-emissies op grote hoogte ontstaan overigens ook bij toepassing van biobrandstof, maar in iets andere mate. Door het lagere aromatengehalte en het lagere zwavelgehalte van biobrandstoffen leidt het verbruik van biobrandstoffen tot een lagere emissie van fijnstof, zwaveloxiden en stikstofoxiden dan het verbruik van fossiele kerosine (Brasseur et al. 2015; CE Delft 2017a). Alternatieve brandstoffen, waaronder ook waterstof en synthetische brandstoffen, komen aan bod bij de bespreking van technologische ontwikkelingen in paragraaf 7.5.

Figuur 7.1

Vliegtuigemissies en klimaatverandering



Bron: Lee et al. 2009; Brasseur et al. 2015; bewerking PBL

⁴ Hierbij gaat het om het Global Warming Potential (GWP), met een tijdshorizon van 100 jaar (zie de volgende voetnoot). Het totale effect van luchtvaart is 1,3-1,4 keer hoger dan het effect van CO₂ alleen, zonder het effect op de wolken en condensatiestrepen; en 1,9-2,0 keer hoger inclusief wolkenvorming (EP 2015; Lee et al. 2010).

In het klimaatbeleid en de verkenningen tot nu toe ligt de nadruk op het verminderen van CO₂ als belangrijkste broeikasgas, maar de totale klimaatimpact van alle emissies en effecten van luchtvaart wordt niet gemonitord en is lastig te voorspellen voor toekomstige luchtvaartvolumes. Verschillende indicatoren⁵ kwantificeren de effecten, maar wetenschappers hebben geen keuze gemaakt voor één indicator die de effecten goed weergeeft (Brasseur et al. 2015; ICAO 2016). Overeenstemming over een indicator en bijbehorende tijdshorizon zou tot een evenwichtige afweging van maatregelen kunnen leiden. Tot die tijd kunnen gevoeligheidsanalyses al inzicht geven in de mogelijke impact van alle luchtvaartemissies.

Beleidsopties voor het verminderen van niet-CO₂-emissies

Als in luchtvaartbeleid rekening moet worden gehouden met de werkelijke klimaatimpact van de luchtvaart, dan is het van belang om bij de beoordeling van beleidsmaatregelen naast CO₂ ook andere emissies en effecten in beeld te brengen en mee te wegen. Voorbeelden van deze maatregelen zijn: vliegen op een andere hoogte, omvliegen of met een lagere snelheid vliegen (Grewe et al. 2017; Van Velthoven 2013). Sommige van deze maatregelen leiden tot een hoger brandstofverbruik (en daarmee tot een grotere CO₂-uitstoot en hogere kosten). Computermodellen kunnen helpen in het uitstippelen van vliegroutes met de minste klimaatimpact (CE Delft 2017b). CE Delft (2017b) onderzocht ook andere beleidsopties om niet-CO₂-emissies te verminderen, zoals voor de uitstoot van stikstofoxiden: motoren met minder stikstofoxidenuitstoot toepassen of een stikstofoxidenbijdrage vragen. Daarnaast zou de toepassing van 50 procent (bio)brandstof met een lager aandeel aromaten 34 tot 39 procent minder uitstoot van kleine deeltjes (nummer en massa) veroorzaken vergeleken met Jet A1-brandstof.

Een mogelijke benadering voor beleid zou kunnen zijn om ook de niet-CO₂-effecten op te nemen in het bestaande Europese Emissiehandelssysteem. Scheelhaase (2018) bedacht een rekenformule die *per vlucht, achteraf* (locatie, hoogte, snelheid) berekent wat de klimaatimpact is in termen van CO₂-equivalenten en hoe deze mogelijk in dat systeem kan worden opgenomen. In deze formule lijkt geen rekening te zijn gehouden met het ontbreken aan consensus over de effecten zoals hiervoor geschetst.

Samenvattend, niet-CO₂-emissies zijn qua omvang zeer relevant, maar nog erg onzeker. Beleidsmakers zouden alle emissies wel moeten meenemen in de afweging van maatregelen om klimaatimpact te verlagen.

CO₂-emissies

De internationale en binnenlandse luchtvaart veroorzaakten samen in 2012 2,1 procent van de mondiale CO₂-emissies; 1,3 procent van de mondiale CO₂-emissies kwam van de *internationale* luchtvaart (EP 2015). De CO₂-emissies die vrijkomen bij de verbranding van vliegtuigbrandstof (bunkerbrandstof) voor de luchtvaart in Nederland zijn volgens Uitbeijerse en Hilbers (2018) daarmee toegenomen, van 9,1 megaton CO₂ in 1997 tot 12,1 megaton CO₂ in 2017. Deze onderzoekers geven ook een indicatie van de verdeling van dit brandstofverbruik over passagiers en vrachtvervoer, en over Europese en intercontinentale bestemmingen (op basis van afstanden). Als aangenomen wordt dat 100 kilogram vracht gelijkstaat aan één passagier en rekening houdend met de vliegafstanden naar de

⁵ Een maat voor de versterking van het broeikaseffect (radiative forcing, RF) zou rekening moeten houden met effecten op zowel de korte termijn (onzekere effecten van bijvoorbeeld wolkenvorming) als met de meer zekere langetermijneffecten van CO₂. De afweging hiervan is lastig: er moet een keuze worden gemaakt in het gebruik van bijvoorbeeld GWP of GTP, en de tijdshorizon waarvoor dit wordt berekend. GWP staat voor Global Warming Potential, en maakt gebruik van de RF (mW/m²) geïntegreerd over een bepaalde tijdshorizon. GTP staat voor Global Temperature change Potential die de RF integreert over de temperatuurverandering van een bepaald jaar. Bovendien doet een wereldwijd gemiddelde geen recht aan de lokale of regionale variabiliteit in de effecten.

bestemmingen, dan kan 23 procent van het brandstofverbruik worden toegerekend aan passagiers met Europese bestemmingen, 44 procent aan passagiers met intercontinentale bestemmingen, 2 procent aan vrachtvervoer naar Europese bestemmingen en 31 procent aan intercontinentaal vrachtvervoer (Uitbeijerse & Hilbers 2018).

De toekomstige ontwikkeling van CO₂-emissies is sterk afhankelijk van de prognose in de luchtvaartvolumes, die voortbouwen op factoren zoals economische groei (regionaal), handelsgroei, inkomensgroei, of het gedrag van reizigers. Naast de volumes zijn uiteraard ook brandstofefficiëntie (zie paragraaf 7.5), en de keuze van de brandstof en aandrijving van belang voor de emissies. Verschillende bronnen geven hiervoor verschillende prognoses en beschikbaarheid aan, vaak in scenario's, zoals ICAO (2016), het Europees Parlement (EP 2015) en CPB en PBL (2015). In paragraaf 6.3 van het vorige hoofdstuk is al ingegaan op verschillende toekomstscenario's; in paragraaf 7.5 van dit hoofdstuk gaan we in op de verwachte verbetering van de brandstofefficiëntie.

7.2 Lokale luchtverontreiniging

Door luchtvaart komen ook dicht bij het aardoppervlak luchtverontreinigende stoffen in de lucht die invloed hebben op de gezondheid. Het starten, landen en taxiën van vliegtuigen en de interne transportmiddelen op vliegvelden maken samen 2,3 procent uit van de stikstofoxidenuitstoot veroorzaakt door het Nederlandse verkeer en vervoer (CLO 2018). Er zijn normen voor de uitstoot door het vliegverkeer van Schiphol van koolmonoxide (CO), vluchtige organische stoffen (VOS) en fijnstof; en landelijk geldende normen voor stikstofoxiden en fijnstofconcentraties. Het RIVM kan nader ingaan op de beschikbare kennis op het gebied van luchtkwaliteit en gezondheid; ook het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) onderzoekt de emissies die van invloed zijn op de lokale luchtkwaliteit.

Een actueel onderwerp is de gemiddelde bijdrage aan de concentraties ultrafijnstof van luchtvaartactiviteiten. Direct buiten het luchthaventerrein zijn die vergelijkbaar met die van wegverkeer in straten in binnenstedelijk gebieden (RIVM 2015). Tot medio 2021 loopt bij het RIVM een onderzoeksprogramma⁶ naar ultrafijnstof rond de luchthaven Schiphol waarin de blootstelling van omwonenden en het effect hiervan op hun gezondheid worden onderzocht.

7.3 Impact klimaatverandering op luchtvaart

Hiervoor lag de nadruk op de invloed van de luchtvaart op de versterking van het broeikas effect en de daaruit resulterende klimaatverandering. Omgekeerd heeft klimaatverandering, met hogere gemiddelde temperaturen en meer kans op weersextremen, ook effect op de luchtvaart, en is daarmee relevant voor het Nederlandse luchtvaartbeleid.

De mogelijke effecten van klimaatverandering op de luchtvaart liggen op het gebied van veiligheid (zwaardere buien, ijs, wind en turbulentie), routing (luchtstromingspatronen) en infrastructuur op vliegvelden (neerslagextremen, meer snelheid/lengte nodig bij opstijgen) (Eurocontrol 2018; ICAO 2016; Van Velthoven 2013; Williams 2016;). Meer kans op meer extreem weer (hitte, temperatuurschommelingen, extreme neerslag) vergroot ook de kans op bijvoorbeeld vertragingen, herrouting, (tijdelijk) sluiten van luchthavens, kans op botsingen, schade aan infrastructuur (Love et al. 2010). Ook de vraag naar luchtvaart kan veranderen, bijvoorbeeld de geografische bestemming die reizigers kiezen of het moment van reizen kan verschuiven (Eurocontrol 2018).

⁶ Zie www.rivm.nl/ultrafijnstofschiphol.

Williams (2016) onderzocht de effecten van klimaatverandering (effecten van turbulentie) op trans-Atlantische vluchten. De heersende straalstroom (windkracht 11 en meer) op 9 à 10 kilometer hoogte zorgt ervoor dat vluchten naar het oosten gemiddeld 4 minuten korter duren, en vluchten naar het westen 4,5 tot 6 minuten langer dan zonder de extra turbulentie. Per retourvlucht zijn de effecten klein (gemiddeld 1 minuut langer op een totale vluchtduur van 12 uur). Als de effecten worden doorgetrokken naar alle luchtvaart, kan het betekenen dat vliegtuigen op trans-Atlantische vluchten in totaal 2.000 uur per jaar extra in de lucht zijn. Dat is een extra verbranding van 27 miljoen liter brandstof, met als gevolg 70 miljoen kilogram CO₂-emissie.

Veranderingen in de weersomstandigheden (zoals harde zijwind, dichte mist) doen de kansen op ongelukken toenemen (Koetse & Rietveld 2007). In Nederland is het belangrijk dat er voldoende landingscapaciteit is onder verscheidene windrichtingen, zoals de vijf landings- en startbanen bij Schiphol. Door het onderschatten van windkracht en -richting kunnen verkeerde beslissingen worden genomen omtrent het ontwerp van luchthavens in termen van capaciteit en ligging van de landingsbanen. Koetse en Rietveld (2007) refereren naar een CPB-rapport uit 2002 waarin wordt gesteld dat het verkeerd ontwerpen van een luchthaven als Schiphol – wat betekent dat het aantal uren dat de luchthaven niet kan worden gebruikt onnodig lang is – kan leiden tot een jaarlijkse financiële schade voor de luchtvaartsector van 300 miljoen tot 1 miljard euro. Deze genoemde studies zijn niet recent, maar schetsen de mogelijke orde van grootte van een deel van de problematiek voor Nederland. Actualisering van deze risico's is van belang bij de uitbreiding of inschatting van de toekomstige capaciteit of dienstregeling van luchthavens.

De gevolgen van klimaatverandering tegengaan of herstellen impliceert dat bedrijven, luchtvaartmaatschappijen en luchthavens hiervoor kosten moeten ramen, onder andere door de effecten op de ketenbevoorrading of het bederven van goederen. De vraag is hoeveel deze schade is, en hoe dit wordt doorberekend aan verschillende belanghebbenden: luchtvaartmaatschappijen, handelaars en reizigers. ICAO (2016) benadrukt dat vroege reacties kosteneffectiever zijn dan acties achteraf, waarbij het beperken van klimaatverandering ook onder deze vroege reacties valt. Het Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP) van ICAO doet onderzoek naar de impact van klimaatverandering (ICAO 2016).

Eurocontrol (2018) ondervroeg de sector met een vragenlijst of deze al rekening houdt met klimaatadaptatie, waarop ongeveer de helft van de ondervraagden negatief antwoordde. De gegeven redenen hiervoor zijn onder andere een tekort aan informatie en een tekort aan middelen. Eurocontrol signaleert dat dit een risico voor de toekomst is, en vraagt zich af wat te doen om te bevorderen dat luchtvaartmaatschappijen ook klimaatverandering gaan meenemen in de komende investeringen.

Kortom, de impact van klimaatverandering op de dagelijkse operatie van de luchtvaart kan groot zijn; actualisering van de orde grootte van de risico's voor Nederland is gewenst.

7.4 Internationaal en nationaal klimaatbeleid

Wetenschappers zijn het erover eens dat een reductie van broeikasgassen zoals CO₂ nodig is om klimaatverandering te vertragen of tegen te gaan (Van Vuuren et al. 2017). Tijdens de Klimaatop in Parijs is eind 2015 afgesproken om de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder de 2°C, met een streven naar maximaal 1,5°C. De internationale afspraken over temperatuurstijging die in 2016 in het Klimaatakkoord van Parijs zijn gemaakt, stellen de wereld voor de grote opgave om de emissie van broeikasgassen verregaand terug te brengen. De gewenste reductiesnelheid hangt af van het gekozen ambitieniveau (maximaal

1,5 of 2°C opwarming) en een aanname of in de toekomst CO₂-uitstoot kan worden gecompenseerd met negatieve emissies⁷ (IPCC 2018; Van Vuuren et al. 2017).

Peeters (2016) laat in zijn modelberekeningen zien dat de wereldwijde emissies van de luchtvaart tussen 2050 en 2070 de jaarlijkse mondiale emissieruimte zullen overstijgen die beschikbaar is voor alle sectoren tezamen als de Parijs-doelstellingen zouden moeten worden gehaald en de groei doorgaat zoals verwacht in verschillende scenario's (zie hiervoor paragraaf 6.3). Dit maakt de noodzaak helder om de luchtvaartemissies aan te pakken als de mondiale gemeenschap de Parijs-doelen wil realiseren.

De luchtvaart is een sector met een sterk internationaal karakter. Bij internationale afspraken is tot nu toe geen overeenstemming bereikt over de toedeling aan landen van de verantwoordelijkheid van de emissies, zoals tot uitdrukking komt in het Kyoto Protocol (Faber et al. 2014) en het Klimaatakkoord van Parijs. De internationale burgerluchtvaartorganisatie ICAO is namens de Verenigde Naties aangewezen om een plan te maken voor het verminderen van de emissies van de luchtvaart. ICAO (2016) beoogt met een pakket van maatregelen 50 procent CO₂-reductie in 2050 te bereiken ten opzichte van 2005.

Het Europese Emissiehandelssysteem en CORSIA

Ook de Europese Commissie zet in op een beperking van het klimaatteffect van de luchtvaart. Sinds 2012 valt de Europese luchtvaart onder het Europese Emissiehandelssysteem (EU ETS), met uitzondering van vluchten van en naar niet-Europese landen. In dat systeem is het emissieplafond een gegeven waar alle deelnemende sectoren samen onder moeten blijven, en daarbij onderling emissierechten kunnen verhandelen. In 2016 besloot de ICAO het Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) gefaseerd in te voeren na 2020. CORSIA is een compensatiesysteem, waarmee de emissies boven het afgesproken plafond moeten worden gecompenseerd met CO₂-reductie elders. Deze twee internationale systemen zijn beide van invloed op de internationale luchtvaart van en naar Nederland.

Scheelhaase et al. (2018) evalueerden twee aspecten hiervan: de grootte van de totale CO₂-compensatie in beide systemen en het risico van het omzeilen van de systemen. De huidige uitzondering voor internationale vluchten van en naar niet-Europese landen beperkt het potentieel voor CO₂-compensatie van het Emissiehandelssysteem sterk. Zonder deze uitzondering zou de Europese emissiehandel zeer effectief zijn vergeleken met CORSIA (tot 2035). Scheelhaase et al. berekenden dat het Emissiehandelssysteem ervoor zou zorgen dat in 2036 16 procent van de wereldwijde luchtvaartemissies zou worden gecompenseerd. Met alleen vluchten binnen Europa in het systeem, zou in 2036 4 procent worden gecompenseerd.

Volgens de modellen van Scheelhaase et al. (2018) start CORSIA met een relatief lage CO₂-compensatie, maar dit aandeel stijgt geleidelijk tot 18 procent van de luchtvaartemissies in 2039. De auteurs constateren in het tweede deel van de evaluatie onder andere dat CORSIA bepaalde vluchten niet meeneemt, waaronder binnenlandse vluchten, zodat hier meer sprake zou kunnen zijn van het kiezen van andere routes om de regulering te omzeilen. Het opnemen van internationale vluchten van en naar Europa en vluchten binnen Europa in het Europese Emissiehandelssysteem en de overige internationale vluchten in CORSIA zou volgens Scheelhaase et al. (2018) de beste optie zijn om milieuvoordeel te behalen en politieke acceptatie te verwachten. Overigens vallen binnenlandse vluchten wel direct onder de emissietotalen van de EU-lidstaten zelf, waar landen zelf de opgave hebben om emissies te reduceren.

⁷ Negatieve emissies ontstaan als er meer emissies worden vastgelegd (uit de lucht gehaald) dan er worden geproduceerd.

Maatregelen om de klimaatimpact van de luchtvaart te verminderen zijn nog in ontwikkeling en mede daardoor zijn de kosten ervan onzeker. Ook de timing van het klimaatbeleid (of technologieontwikkeling) is een onzekere factor. Er is bijvoorbeeld een theoretisch optimaal, efficiënt pad uitgewerkt in de *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving* (CPB & PBL 2015), dat is gebaseerd op de huidige kennis over kosten en mogelijkheden van technieken, en met bepaalde klimaatambities als uitgangspunt. Afwijken van dat pad (dat wil zeggen maatregelen eerder of later nemen) maakt het minder efficiënt om de gegeven klimaatdoelen te halen. CO₂-emissies die vroegtijdig worden vermeden, hebben meer effect op de toegestane emissies in de volgende jaren, maar kunnen ook een grotere investering vergen (Van Vuuren et al. 2017). Becken en Mackey (2017) benadrukken dat inzet van energiezuinige technologie én vermindering van de vraag naar luchtvaart noodzakelijk zijn om emissies te verlagen. Compensatie door CO₂-reductie in andere sectoren kan volgens deze auteurs een volgende keuze zijn om de CO₂-emissie te reduceren.

In een rapport voor de Europese Commissie stellen Cames et al. (2016) dat het in emissiehandelsrechtensystemen van belang is om echte, meetbare en toegevoegde reducties te bewerkstelligen. De auteurs concluderen dat 73 procent van de certificaten binnen het Clean Development Mechanism (van 2013-2020) waarschijnlijk geen extra CO₂-reductie oplevert of dat de extra CO₂-reductie wordt overschat. Cames et al. (2016) geven meerdere aanknopingspunten voor de introductie van een effectief CO₂-handelssysteem, zoals het beperken tot de projecttypes die een hoge waarschijnlijkheid hebben om daadwerkelijk CO₂ te mitigeren en in bepaalde niches die goed te overzien zijn.

Nationaal klimaatbeleid

Binnenlandse luchthavenactiviteiten vallen onder de nationale doelstellingen binnen het Klimaatakkoord van Parijs. Het huidige nationale klimaatbeleid voorziet niet in specifiek beleid voor de luchtvaart. In oktober 2018 zijn de onderhandelingen begonnen aan de klimaattafel voor duurzame luchtvaart ten behoeve van een Klimaatakkoord. Aan deze tafel wordt nagedacht over mogelijke beleidsopties en de inzet van Nederland in internationale gremia.

Uitbeijerse en Hilbers (2018) schetsen een aantal mogelijkheden voor vermindering van de CO₂-emissies van de luchtvaart:

- het verminderen van de CO₂-emissies per passagierskilometer door technologische en operationele verbeteringen (zie paragraaf 7.5);
- het gebruik van alternatieve brandstoffen, zoals duurzame biobrandstoffen (zie paragraaf 7.5);
- het compenseren van de resterende CO₂-uitstoot (zie hiervoor bij het Emissiehandelssysteem en CORSIA);
- het verminderen van de volumes.

Wat betreft het laatste punt, het verminderen van volumes, is beprijzen een van de mogelijke internationale en nationale instrumenten. Denk hierbij aan een vliegbelasting of btw op vliegtickets (zie paragraaf 2.2). In het kader van de voorgestelde nationale vliegbelasting vanaf 2021 onderzocht CE Delft (2018) wat de milieu-, geluid- en volume-effecten daarvan zijn. De huidige voorgestelde vliegbelasting heeft volgens CE Delft een beperkt effect op de CO₂-emissies, omdat er in de onderzochte varianten een relatief lage belasting is aangenomen (enkele procenten van de gemiddelde ticketprijs) en omdat er knellende capaciteitsrestricties zijn, vooral op Schiphol. Een CO₂-reductie van 0,4 tot 2,5 procent is mogelijk op alle emissies van vluchten van en naar Nederlandse luchthavens (inclusief emissies op vluchten van en naar buitenlandse luchthavens waarnaar passagiers uitwijken als gevolg van de vliegbelasting).

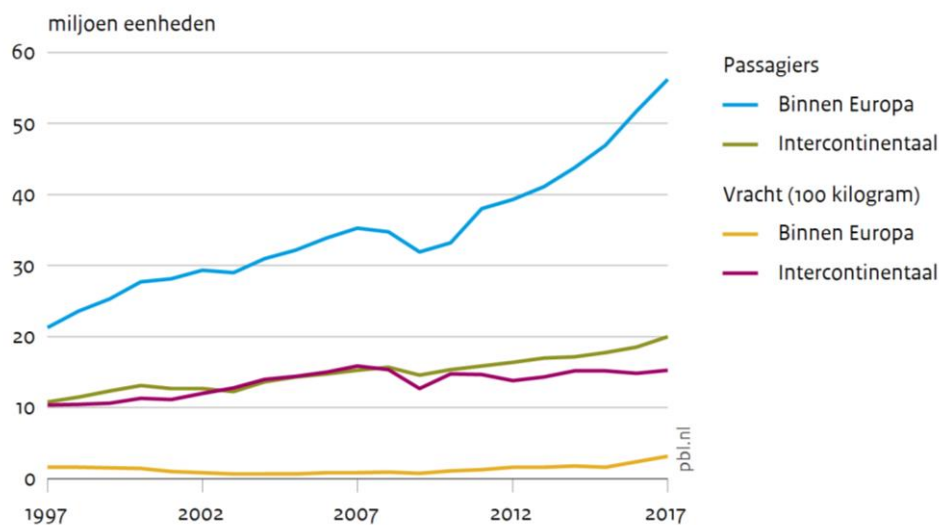
Geluidsrestricties, zoals vastgesteld aan de Alderstafel, hebben via de directe beperking van luchtvaartvolumes logischerwijs ook een effect op de CO₂-emissies vanuit Nederlandse luchthavens. Geluidsmaatregelen worden niet als klimaatbeleid benoemd.

Om het volume te verminderen is het mogelijk om reizigers te stimuleren via een andere modaliteit te reizen of te vervoeren. De vervanging (substitutie) van luchtvaart door alternatieven, zoals de trein, komt aan bod in paragraaf 7.6.

Het verminderen van de afgelegde afstand van alle reizigers leidt direct tot het verminderen van de klimaatimpact, wat moet worden afgewogen tegen de baten van de verplaatsing (zoals het economische 'nut'). In een analyse van het KIM (Gordijn 2015) is de vlieggeneigdheid van reizigers (wel of niet met een vliegtuig reizen) van en naar Schiphol onderzocht. Gordijn bracht verschillende persoons- en omgevingskenmerken aan het licht die van invloed zijn op de vlieggeneigdheid: opleiding, regio, leeftijd en, zij het in mindere mate, geslacht. De daadwerkelijk gevlogen afstand wordt uiteraard bepaald door de bestemmingskeuze van een reiziger met verschillende motieven (recreatief, zakelijk of beide). In 2017 had 74 procent van de passagiers een herkomst of bestemming binnen Europa; 26 procent had een intercontinentale herkomst of bestemming. Figuur 7.2 laat zien dat het verkeer naar Europese bestemmingen bijna is verdrievoudigd (+165 procent), dus sterker is toegenomen dan het intercontinentale verkeer, dat bijna is verdubbeld (+85 procent). Uit nadere analyse blijkt dat vooral verkeer op de middellange afstanden toeneemt (Uitbeijerse & Hilbers 2018). Voor deze kennisscan was onvoldoende tijd om een studie te doen naar de bepaling van factoren die van invloed zijn op het vlieggedrag of de bestemmingskeuze, en beleidsinstrumenten hierin.

Figuur 7.2

Luchtvaartvolume naar bestemming



Bron: CBS

7.5 Technologische ontwikkeling en innovatie

In deze paragraaf bespreken we innovatie in relatie tot brandstofverbruik en emissies. Dat is van belang om inzicht te verkrijgen in waar er in de Luchtvaartnota op kan worden geanticipeerd. Het tempo van innovatie is van invloed op ontwikkelingen in Nederland, maar kan ook een beleidsdoel in de nota zelf zijn. Ook het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) besteedt aandacht aan deze technologische (efficiëntie-

)ontwikkeling in zijn bijdrage aan de kennisbasis. Daarnaast wordt in een (nog te verschijnen) NLR-rapport ingegaan op de technologische ontwikkeling van geluid van vliegtuigen; wij werken dit in deze kennisscan niet uit.

Vliegtuigen

Er zijn veel technologische ontwikkelingen gaande, variërend van vliegtuigmotoren, aerodynamica, schaalvergroting (meer en indeling van stoelen) tot materiaalgebruik. De nieuwe vliegtuigtechnologie verkeert in verschillende stadia van ontwikkeling, aangegeven met het Technology Readiness Level (TRL), vaak met als doel om brandstof, materiaal en gewicht te besparen, en daarmee de operationele kosten van luchtvaart te verlagen. Volgens de *Technology Factsheet* van IATA (2013, 2018) kunnen meer 'gangbare' vliegtuigontwerpen (structuur van een buis met vleugels) in 2030 ongeveer 30 procent zuiniger worden dan ze in 2005 waren. Meer revolutionaire ontwerpen zoals de *blended wing body* (vleugels verweven in de romp) zullen pas na 2050 kunnen worden benut (IATA 2018). Ook het NLR schetst de infasering van nieuwe technologie, in verschillende, steeds optimistischer scenario's (NLR 2012). Technologie van het optimistische scenario betreft onder andere open-rotor motortechnologie, vierdimensionale Air Traffic Management (4D ATM), bijtanken in de lucht en het inzetten van biobrandstof. Futuristische oplossingsrichtingen zoals het cruiser-feeder concept en waterstofvliegtuigen komen volgens NLR pas na 2040 in beeld.

Vlootvernieuwing

Het tempo van vlootuitbreiding en -vernieuwing heeft invloed op de implementatie van nieuwe (energiezuinigere, lichtere) vliegtuigen. De toenemende vraag naar luchtvaart resulteert in een verjongende vloot. Als het nieuwste vliegtuig een grote efficiëntieslag maakt, is niet direct de hele vloot efficiënter. Elke generatie vliegtuigen is gemiddeld genomen 15 tot 20 procent beter dan de voorgaande generatie, waartussen ongeveer 10 tot 20 jaar zit (Peeters & Melkert 2018). Het moment waarop een nieuwe technologie beschikbaar komt, bepaalt of die kan worden meegenomen in een ontwikkelprogramma van nieuwe of een nieuwe generatie vliegtuigen (IATA 2013; Peeters 2016).

De belangrijkste belemmering voor meer revolutionaire technologische ontwikkeling (zoals configuratie, elektrisch vliegen, waterstof) dan evolutionaire vormen de bedrijfsrisico's verbonden aan de ontwikkeling van dergelijke technologie binnen de twee belangrijkste producenten (Airbus en Boeing). Deze vergt namelijk een enorme investering, waar het voortbestaan van het bedrijf mee samenhangt (Peeters & Melkert 2018). Ook duurt de doorlooptijd van het certificeringsproces van de innovaties langer.

Energie-efficiëntie

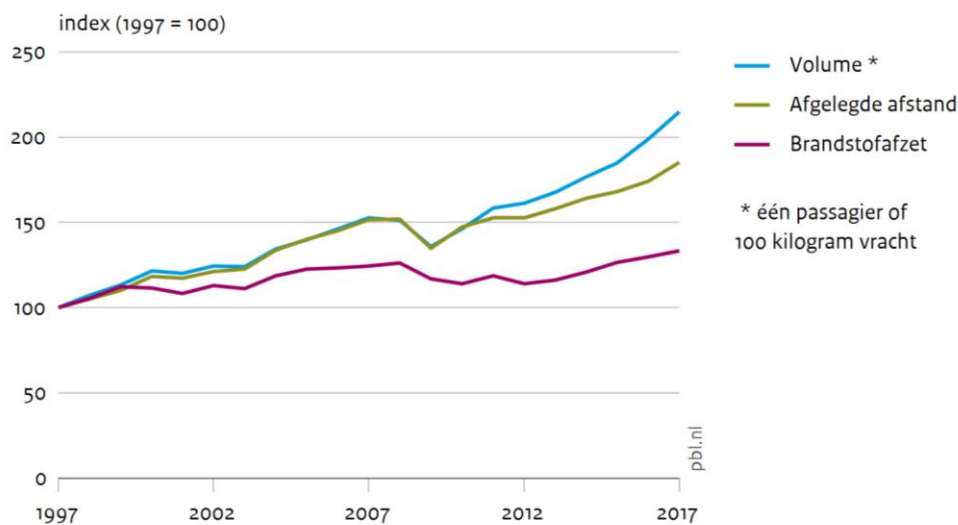
Technologische ontwikkeling speelt een belangrijke rol in vermindering van het energieverbruik (brandstofefficiëntie) (Peeters 2016). Het aantal passagiers en de hoeveelheid vracht op Nederlandse luchthavens namen in de afgelopen 20 jaar sterker toe dan de groei in de brandstofafzet (bunkerbrandstof voor vliegtuigen). In figuur 7.3 zijn het luchtvaartvolume en de brandstofafzet naast elkaar weergegeven om de ontwikkeling hierin te vergelijken (Uitbeijerse & Hilbers 2018). De eenheid bij luchtvaartvolume is gelijk aan één passagier of 100 kilogram vracht. Het luchtvaartvolume nam toe met 115 procent, de totale afgelegde afstand met 85 procent en de brandstofafzet met 33 procent. De hoeveelheid getankte brandstof per luchtvaartvolume-eenheid is volgens Uitbeijerse en Hilbers (2018) gedaald door een kleinere gemiddelde vliegafstand, verbeterde bezettingsgraad en brandstofefficiëntieverbetering van vliegtuigen.

De historische verbetering van deze efficiëntie per vliegtuig fluctueerde tot 2014 zeer sinds de eerste commerciële vliegtuigen vanaf 1968; van 2010 tot 2014 was de gemiddelde (lineaire) jaarlijkse verbetering 1,1 procent volgens ICCT (2015). Peeters en Middel (2007)

stellen dat een paraboolvorm in efficiëntieverbetering beter past gezien de historische trend, en komen voor de toekomst daarmee op een steeds verder afnemende efficiëntieverbetering tot maximaal 0,5 procent per jaar in 2100. Veel studies rekenen echter de verbeteringen terug naar een gemiddelde jaarlijkse efficiëntieverbetering. De gemiddelde verwachte efficiëntieverbeteringen in scenario's variëren in de bandbreedte van 0,57 tot 2,2 procent (ICAO 2016; IATA 2018; ICCT 2015; Lee et al. 2009). Volgens de sectorvertegenwoordiger IATA zijn kansen voor efficiëntieverbetering groter bij kleinere, regionale vliegtuigen (2 procent per jaar) dan bij de grote vliegtuigen (>400 stoelen; <1 procent per jaar) (IATA 2017).

Figuur 7.3

Volume, afgelegde afstand en brandstofafzet luchtvaart in Nederland



Bron: CBS, bewerking PBL

Energie-efficiënte vliegtuigtechnologie kan overigens samengaan met andere nadelige externe effecten, zoals meer geluidsproductie bij toepassing van propellers ('open rotor'; NLR 2012).

Aandrijving en energieopslag

De invulling van de aandrijving (en gekozen brandstof) op zowel de lange als de korte termijn is zeer relevant bij het bepalen van de klimaatimpact vanuit verschillende emissies en effecten (CO₂, stikstofoxiden, fijnstof, roetdeeltjes, zie paragraaf 7.1). Bij de huidige aandrijvingstechnologie – de verbrandingsmotor – kan gebruik worden gemaakt van fossiele brandstoffen (kerosine), biobrandstoffen of synthetische brandstof. De energiebronnen om de motoren te laten draaien komen even verderop aan bod.

Naast de verbrandingsmotor, kan een elektrische of hybride aandrijving in de toekomst een rol spelen (IATA 2013). Elektrisch vliegen kan volgens IATA (2013, 2018) in de (verre) toekomst een grote rol spelen, terwijl bijvoorbeeld Peeters et al. (2016) dat zien als een beperkte technologie die geschikt is voor 'korte' vluchten met weinig gewicht. De benodigde ontwikkeling in de energiedichtheid van accu's (hoeveelheid energie per kilogram) is volgens Peeters en Melkert (2018) echter niet voorzien vóór 2040. Hybride vliegtuigen, waarbij kerosine wordt verbrand voor aandrijving van elektromotoren, bieden al eerder een mogelijkheid, maar deze leveren weinig emissievoordelen.

De toekomstige samenstelling van de aandrijvingsvormen is zeer onzeker, daarom is het aan te raden om in een onderzoek diverse scenario's te doordenken en de randvoorwaarden daarvoor helder te hebben, zoals ook NLR in 2012 deed. Van de scenario's die ICAO (2016) heeft opgesteld, zijn de uitgangspunten voor technologische vernieuwing niet openbaar. IATA (2018) waarschuwt alvast voor de substantiële infrastructurele opgaven die eraan komen bij de transitie naar elektrisch vliegen (luchthavenadaptatie, energievoorziening en logistiek). Die aanpassingen hebben grote doorlooptijden, dus luchthavens doen er goed aan op tijd te anticiperen.

Energiebronnen en brandstof

Wanneer de aandrijving een gegeven is, zijn er verschillende manieren om de energie op te wekken en op te slaan in het vliegtuig. In plaats van op de standaard jet-kerosine ligt de focus hier op mogelijke inzet van alternatieven die minder klimaatimpact hebben. Biomassa kan worden omgezet in biokerosine. Synthetische brandstoffen ('drop-in fuels') zijn te produceren uit gas, kolen of zonne-energie. In deze scan is het niet mogelijk alle brandstoffen uitgebreid te bespreken op alle aspecten, zoals productie en energierendement, kosten en niveau van ontwikkeling, benodigde aanpassingen, eigenschappen in het gebruik, of emissies. Daarom noemen we hier slechts kort de brandstoffen.

Power-to-liquid, power-to-fuel of e-fuels Zonne-energie kan worden benut als energiebron voor het chemische proces van het omzetten van water en CO₂ in kerosine. Er is wel extra energie nodig voor de omzetting, resulterend in een rendement van 39 tot 47 procent, afhankelijk van de CO₂-bron (Schmidt et al. 2018). Power-to-liquid heeft duizend keer minder water en grondoppervlakte nodig dan twee typen biomassa die in Nederland geproduceerd kunnen worden (Terwel & Kerkhoven 2017). De kosten van power-to-liquid zijn tussen de twee en zes keer hoger dan de huidige tarieven van fossiele kerosine (Peeters & Melkert 2018; Terwel & Kerkhoven 2017). Schmidt en Weindorf (2016) geven aan dat de technologie op een hoog niveau van ontwikkeling (TRL 5-8) is, en bevelen aan vervolgonderzoek naar power-to-liquid op vergelijkbare wijze als biofuels te faciliteren.

Waterstof Deze brandstof kan op drie manieren worden gebruikt: als alternatief voor kerosine (verbranding in een gasturbine), als energiedrager voor brandstofcellen en als hulpstof om synthetische kerosine te maken (NLR 2018). Brandstofcellen kunnen elektriciteit leveren voor de hybride motor of elektrische aandrijving. Dit is mogelijk met bestaande technologie en kan daardoor decennia eerder worden gerealiseerd dan batterijvliegtuigen. De benodigde hoeveelheid waterstof neemt meer ruimte (volume) in beslag, moet gekoeld worden bewaard en is licht ontvlambaar (Peeters & Melkert 2018).

Biokerosine Deze biobrandstof is chemisch zeer vergelijkbaar met fossiele brandstof, en dus inzetbaar in alle processen die nu fossiele brandstoffen gebruiken ('drop-in fuel'). Daarmee kunnen dure en lastige aanpassingen bij eindgebruikers/sectoren worden vermeden (of uitgesteld) (Ros & Daniëls 2017). De Jong et al. (2017) concluderen dat de Europese productiecapaciteit van biobrandstoffen tot en met 2030 voldoende kan zijn om aan de verwachte vraag naar bio-energie te voldoen. In een andere studie geven De Jong et al. (2018) aan dat bij opschaling van productie en een voldoende beleidskader, met de beschikbare biobrandstof kan voorzien in 6 tot 8 procent van de Europese kerosinevraag in 2030 (165-261 petajoule per jaar; dat is 28-41 procent van de totale biobrandstoffenconsumptie).

De huidige productiefaciliteiten zijn in staat om biobrandstoffen te maken voor zowel de luchtvaart als voor bijvoorbeeld het wegverkeer (biodiesel). De Europese regelgeving voor hernieuwbare energie in transport creëert een vraag naar biobrandstoffen vanuit het wegverkeer. Die vraag is er vanuit de luchtvaart nog niet of nauwelijks, omdat het daar volgens De Jong et al. (2017) ontbreekt aan stimulering. Volgens deze auteurs is stimulans ook voor de luchtvaart noodzakelijk om grootschalige inzet van biokerosine op termijn

mogelijk te maken. Het tempo waarin biobrandstoffen voor de luchtvaart worden ontwikkeld en ingezet in de periode 2020-2030 is volgens De Jong et al. cruciaal voor het halen van langetermijndoelen, waarvoor zij meer Europese aandacht vragen. Nader onderzoek zou moeten belichten welke instrumenten of maatregelen kunnen worden ingezet om de vraag naar biobrandstoffen te stimuleren, zodat de productie van biokerosine voldoende op gang wordt gebracht.

Na belichting van deze drie alternatieve brandstoffen wordt duidelijk dat in alle gevallen nader onderzoek nodig is, en er niet op korte termijn op grote schaal alternatieve brandstoffen kunnen worden geproduceerd. Gezien de doelstellingen van het Klimaatakkoord van Parijs (paragraaf 7.1) lijkt inzet op verscheidene energiebronnen zinvol, om de kans van slagen te vergroten.

7.6 Substitutie luchtvaart door alternatieve modaliteiten

Voor de Luchtvaartnota is een integrale blik op de internationale bereikbaarheid van Nederland van belang. Actueel is het onderzoek naar alternatieven voor de luchtvaart. Vervanging van vlieguren is vooral op korte afstand, over land (continentaal) mogelijk. Deze substitutie kan de klimaatimpact van reizen verlagen en verlichting geven voor de beperkte capaciteit op luchthavens. In deze paragraaf gaan we in op mogelijke effecten op passagiersaantallen bij vervanging door de trein, de klimaatimpact, tarieven, overige alternatieven en de luchtvracht.

In veel studies is het verbeteren of veranderen van de treinverbinding – in de vorm van de hogesnelheidstrein – als uitgangspunt gekozen voor substitutie van het vliegtuig (Albalade et al. 2015; Chai et al. 2018; D’Alfonso et al. 2015; Gama 2017; Jiang & Zhang 2014; Savelberg & De Lange 2018; Zhang et al. 2018). We besteden daar hierna als eerste uitgebreider aandacht aan, daarna komen andere alternatieven en (toekomstige) innovaties aan de orde.

Passagiersaantal substitutie door trein

De passagiers met een bestemming of herkomst op korte afstand staan centraal bij de vervanging van een vlieg- door een treinreis. Volgens Uitbeijerse en Hilbers (2018) had in 2017 74 procent van de passagiers op Nederlandse luchthavens een herkomst of bestemming binnen Europa; 26 procent had een intercontinentale herkomst of bestemming. Bij het aandeel in de CO₂-emissie is het ongeveer andersom: 23 procent van de getankte brandstof⁸ kan worden toegerekend aan passagiers met Europese bestemmingen, terwijl 44 procent van de brandstof voor passagiers naar intercontinentale bestemmingen wordt ingezet; de overige 33 procent rekenen de auteurs toe aan vrachtvervoer.

Over de mogelijke effecten van substitutie op het aantal vliegtuigpassagiers in Nederland zijn twee recente studies verschenen. Het eerste is van Savelberg en De Lange (2018). Zij kijken naar 13 bestemmingen op minder dan 800 kilometer van Amsterdam. Bij elkaar maken die bestemmingen ruim 80 procent uit van het totaal aantal passagiers binnen die afstand. De auteurs schatten dat in 2030 1,9 tot 3,7 miljoen potentiële vliegtuigpassagiers van Schiphol zouden kunnen kiezen voor de trein in plaats van voor het vliegtuig. De ondergrens is gebaseerd op het scenario waarin de treinreistijden verkort worden en het aantal dagelijkse reismogelijkheden wordt uitgebreid. Bij de bovengrens zijn ook de treintarieven met 20% verlaagd en zijn de belemmeringen voor substitutie van transferpassagiers weggenomen. Voorbeelden van deze belemmeringen zijn een gebrek aan directe internationale

⁸ Op basis van de aanname dat 100 kilogram vracht gelijkstaat aan één passagier, gecombineerd met de vliegafstanden naar de bestemmingen (Uitbeijerse & Hilbers 2018).

treinverbindingen met de luchthaven, het ontbreken van bagage-afhandeling van vliegtuig naar trein en gescheiden ticketing voor vliegtuig en trein. In totaal gaat het bij de onderzochte bestemmingen om 11% tot 22% van het totaal aantal in 2030 verwachte vliegtuigpassagiers. De grootste substitutie vindt plaats doordat ongeveer een kwart van de vliegreizigers van en naar Londen voor de trein zou kiezen.

De andere studie is uitgevoerd door Royal HaskoningDHV (RHDHV 2018) voor de Natuur- en Milieufederatie Noord-Holland. RHDHV becijfert dat bij een grote reistijdverkorting het aandeel treinpassagiers voor 31 bestemmingen samen kan stijgen van 27% in de huidige situatie naar 46% door het opheffen van operationele barrières (infrastructuur, materieel) en optimalisatie van het planproces van de dienstregeling. Het aandeel kan zelfs stijgen naar 63% als een nieuw soort Europees HSL-netwerk wordt aangelegd (Royal HaskoningDHV 2018). De investeringen en inspanningen die daarvoor nodig zijn worden niet duidelijk aangegeven.

Vanwege het gebruik van verschillende aannamen en modellen, zijn de studies niet direct met elkaar te vergelijken. Savelberg en De Lange (2018) geven een inschatting voor de periode tot 2030 op grond van de huidige plannen en inzichten, terwijl RHDHV een (vanuit het spoor bekeken) zeer optimistisch toekomstperspectief schetst. Beide studies gaan niet in op een verandering van bestemmingskeuze of het stimuleren daarvan. Wanneer de Luchtvaartnota veronderstelt dat vervanging van vlieg reizen door treinreizen wenselijk is, dan is nader onderzoek naar de kosten en integrale reizigerseffecten nodig om deze optimalisaties te beoordelen.

Naast de inschatting van de potentiële substitutie naar de trein, is het effect op het daadwerkelijke aantal (overblijvende) luchtvaartpassagiers afhankelijk van de mate waarin de capaciteit van de luchthaven knellend is. Uit de WLO-prognoses (zie paragraaf 6.3) blijkt nog een latente vraag naar luchtvaart te bestaan: er zijn in 2030 nog 3 tot 25 miljoen reizigers die niet worden geacommodeerd vanwege de beperkte capaciteit op luchthavens (CPB & PBL 2015). De vraag is welk deel van die reizigers toch wel gaat vliegen als er plekken in het vliegtuig vrijkomen en hoe deze latente vraag wordt meegenomen in de bovengenoemde studies. Wat is het werkelijke passagierseffect van het vergroten van de aantrekkingskracht van de hogesnelheidstrein? Dit vergt nader onderzoek.

Nachttrein

Een specifieke vorm van langeafstandstreinen, de nachttreinen, is buiten enkele wintersportverbindingen niet meer direct vanuit Nederland beschikbaar. Het afgenomen gebruik als gevolg van de sterke concurrentie van goedkope vliegtickets en goedkope langeafstandsbussen maakten het niet rendabel te investeren in vernieuwing van het verouderde materieel. Van Coeverden (2017) constateert dat de spoorwegmaatschappijen zich met het opheffen van de nachttreinen in 2016 verder hebben teruggetrokken van de langeafstandsmarkt. De nachttrein is volgens deze auteur het treintype dat op reistijd het meest concurrerend is met het vliegtuig voor afstanden boven de 600 kilometer, dankzij een zeer efficiënt tijdgebruik (slappend reizen) en gunstige vertrek- en aankomsttijden. Daardoor zou nader onderzoek naar de afweging tussen het (wellicht onrendabel) aanbieden van nachttreinen en de baten van minder vliegen relevant kunnen zijn voor de Luchtvaartnota.

Tarievenvergelijking vliegreis en treinreis

Savelberg en De Lange (2018) voerden in hun onderzoek naar de substitutie van vlieg- door treinreizen ook een gevoeligheidsanalyse uit voor de kosten van trein en vliegtuig. De tarieven variëren sterk per dag, tijdstip van reizen en tijdstip van boeken. Een van de verbeteringen in de treinreizen in 2030 die deze auteurs veronderstellen, is de verlaging van de kosten met 20 procent. De tarieven zouden dan minder uiteenlopen, en luchtreizigers zouden daardoor vaker voor de trein kiezen. Als de tarieven van de luchtvaart zouden stijgen

(bijvoorbeeld wanneer er vliegbelasting wordt geheven zoals voorgesteld in het Regeerakkoord of de CO₂-prijs in het Europese Emissiehandelssysteem stijgt), kan de voorkeur voor de trein nog verder toenemen.

Voor een eerlijke vergelijking van de tarieven en de sturingsmechanismen hierin is inzicht nodig in de complexe overheidsondersteuning of -financiering in beide modaliteiten in verschillende fasen van de levensduur. Denk aan een eventuele vergoeding van infrastructuur of het beschikbaar stellen van gronden, en hoe deze worden doorberekend aan gebruikers. Bij luchtvaart worden infrastructuurkosten indirect opgenomen in de kostprijs, maar is er geen btw en zijn er geen accijnzen. Een dergelijk overzicht in alle verschillende kostencomponenten van beide modaliteiten is waardevol in de verdere besluitvorming van de Luchtvaartnota of stimulering van treinreizen, maar het PBL heeft hierin onvoldoende inzicht om zo'n overzicht in deze scan op te nemen. Als onderdeel van de kennisbasis heeft het ministerie aan het KiM gevraagd om een onderzoek uit te voeren naar de externe kosten, infrastructuurkosten, belastingen, heffingen en subsidies voor zover toe te delen aan een aantal voorbeeldreizen voor het vliegtuig, de trein, de auto of de bus (IenW 2018).

Effect op luchtvaart van substitutie door trein

Voor het effect van substitutie op de luchtvaart is de vraag relevant wat het daadwerkelijke effect is van meer reizigers per trein en minder per vliegtuig naar een bepaalde bestemming op de luchthavens. Door welke andere vluchten worden bijvoorbeeld vervallen vluchten naar Londen vervangen? Als er inderdaad minder korteafstandsvluchten zijn, kunnen luchtvaartmaatschappijen ervoor kiezen vluchten op grotere afstand in te zetten, met netto meer CO₂-emissie tot gevolg. Albalate et al. (2015) verwachten dat luchtvaartmaatschappijen niet veel wijzigen in de frequenties van de vluchten, maar dat de grootte van het vliegtuig (aantal stoelen) zal verminderen als de concurrentie van de trein toeneemt.

Enkele studies schetsen – naast competitie en substitutie tussen trein en vliegtuig – juist mogelijkheden voor intermodale complementariteit. Albalate et al. (2015) refereren naar een studie waarin wordt geconstateerd dat hogesnelheidslijnen worden benut als alternatieve 'spokes' in het hubnetwerk, en een studie waarmee deze treinen dienen als alternatief om congestie op luchthavens te verlichten. Hun conclusie is echter dat het perspectief van *samenwerking* en *versterking* in de literatuur grotendeels onverkend blijft. Bij samenwerking tussen de twee modaliteiten zou een goede hogesnelheidstreinverbinding de omvang van het vliegverkeer kunnen vergroten, wat de druk op de huidige capaciteitsbeperkingen vergroot. Welk effect verbetering van hogesnelheidstreinverbindingen heeft op de reizigers in een integraal vervoersmodel, zou nader kunnen worden onderzocht.

Klimaatimpact substitutie door trein

Het argument voor substitutie van vliegtuig door trein is vaak dat dit de leefomgeving of het klimaat zou sparen. Het blijkt ingewikkeld om dat aan te tonen. Voor het berekenen van het effect van de substitutie op de klimaatimpact en CO₂-uitstoot zijn aannames nodig die onzeker zijn en ook afhankelijk zijn van de gekozen berekeningsmethode. Denk aan het energieverbruik van (hogesnelheids)treinen, de energiebronnen, de bijbehorende emissies, doorberekening van de aanleg van infrastructuur en de bezettingsgraad (aantal reizigers of vervoer). De gevoeligheid voor aannames in de parameters is hoog. Tuchschild (2009) concludeert in een Europese studie naar de CO₂-voetafdruk van het spoor dat vooral de inschatting van de bezettingsgraad een zeer belangrijke factor is, en benadrukt de zorg voor goede inschattingen in de planningsfase.

De treinen in Nederland rijden op groene stroom van nieuw aangelegde windparken (NS 2018), maar voor internationale treinen zijn geen recente cijfers bekend (CO₂-emissiefactoren website). Het energieverbruik, en daarmee de uitstoot van CO₂, van een

vliegtuig per passagierskilometer wordt sterk bepaald door het opstijgen en landen, waardoor dat verbruik bij korte vluchten hoger ligt dan bij lange vluchten (met grotere vliegtuigen en energie-efficiënter per passagier). Over de 350 kilometer van Amsterdam naar Londen is de uitstoot gemiddeld 166 gram CO₂ per kilometer, over de 5.800 kilometer naar New York is dat 59 gram CO₂ per kilometer (ICAO Carbon Emissions Calculator). Daarnaast is er grote variatie in de (daadwerkelijke) bezettingsgraad van de stoelen (bijvoorbeeld op verschillende tijdstippen), wat het lastig maakt om één kengetal te schatten voor de effecten van vervanging op bijvoorbeeld CO₂- en andere emissies (Chester & Horvath 2009).

Door in de vergelijking met alternatieven de uitstoot in de totale levenscyclus (inclusief de aanleg van infrastructuur en de bouw van voertuigen) mee te nemen, ontstaat een meer zuivere vergelijking, maar ook een grote complexiteit in de berekening. Chester en Horvath (2009) analyseerden de levenscyclus van een lightrail-trein⁹ (geen hogesnelheidstrein) in de Verenigde Staten en een vliegtuig. Zij concluderen dat de totale broeikasgasuitstoot van een passagierskilometer van het vliegtuig hoger is dan die van de passagierskilometer van de lightrail. Federici et al. (2009) komen tot de conclusie dat een vliegtuig vanaf 500 kilometer (bij 80 procent bezetting) of 1.000 kilometer (bij 50 procent bezetting) over de hele levenscyclus genomen energiezuiniger is dan de trein. Volgens deze auteurs zou per alternatief een integrale afweging moeten worden gemaakt.

Overige alternatieven

Voor een integrale benadering is het aan te bevelen alle modaliteiten mee te nemen waarmee bijvoorbeeld de relatief korte vliegafstand over land gemaakt kan worden. Ontwikkelingen bij andere modaliteiten kunnen de aantrekkingskracht hiervan vergroten, waardoor de vervoersmiddelkeuze (en bestemmingskeuze) worden beïnvloed. Ook de motieven van de reis zijn hierbij van belang; het afzien van een reis, virtueel reizen of contact zijn uiteraard ook alternatieven die kunnen worden overwogen.

De auto als alternatief voor het vliegtuig wordt niet expliciet genoemd in wetenschappelijke literatuur. Een ontwikkeling naar autonoom rijden bijvoorbeeld, kan de auto aantrekkelijker maken als vervoersmiddel. Volgens Tillema et al. (2017) kan er bij een snelle transitie in 2045 een groot deel van de auto's op de snelweg deels automatisch rijden, maar bij een langzame transitie kan dat pas in 2085. Nader onderzoek naar de ontwikkeling in aantrekkingskracht van andere modaliteiten en het effect daarvan op keuzegedrag van reizigers maakt een integrale afweging voor substitutie van luchtvaart mogelijk.

Voor enkele Europese verbindingen is ook een bus beschikbaar als (goedkoop) alternatief, maar die is in reistijd meestal niet concurrerend. Er zijn busroutes die het op het gebied van reistijd winnen van vluchten in Europa, zoals vanuit Amsterdam naar Brussel of Düsseldorf (GoEuro <https://www.goeuro.nl/bussen/>). Ook aan busverbindingen wordt weinig aandacht besteed in de (internationale) literatuur.

De zogenoemde hyperloop bevindt zich in een zeer pril ontwikkelstadium. Daarbij worden personen en goederen door een vacuümbuis vervoerd, met een snelheid tot 1.200 kilometer per uur, met minimaal (elektrisch) energieverbruik en lage onderhoudskosten door de vrijwel wrijvingsloze buis (TNO 2017). Potentieel kunnen deze buizen concurreren met het vliegtuig, net als hogesnelheidstreinen, maar is er nadere ontwikkeling van de innovatieve technologie nodig om de veiligheid te garanderen en zijn de kosten van uitrol (infrastructuur en bouw) onzeker (DOT 2016; MTR 2016).

⁹ 271 g/kWh CO₂-equivalenten.

Luchtvracht naar andere modaliteiten

Het grootste deel van de luchtvracht (86 procent) heeft een intercontinentale bestemming. Het potentieel voor substitutie is daarom relatief klein (Zijlstra & Huibregtse 2018). In de afgelopen twintig jaar is de hoeveelheid vracht minder sterk toegenomen dan het aantal personen. Het aandeel van vrachtvliegtuigen in de totale luchtvracht is wereldwijd ongeveer 50 procent, terwijl dit vanaf Nederlandse luchthavens in 2017 hoger dan dit gemiddelde was, namelijk 62 procent van het vervoerde gewicht (CBS). De overige vracht wordt vervoerd in de laadruimte van passagiersvluchten. Wat betreft het vervangen van vluchten door alternatieven is nader onderzoek van mogelijkheden bij personenvervoer het meest relevant.

Een integrale modellering van het vervoerssysteem met als maatregel de verbetering van de aantrekkelijkheid van alternatieve modaliteiten (trein, nachttrein, auto, bus) en reacties in vluchtaanbod levert meer inzicht in mogelijke gedragsreacties van passagiers.

8 Geluid, wonen en vliegen

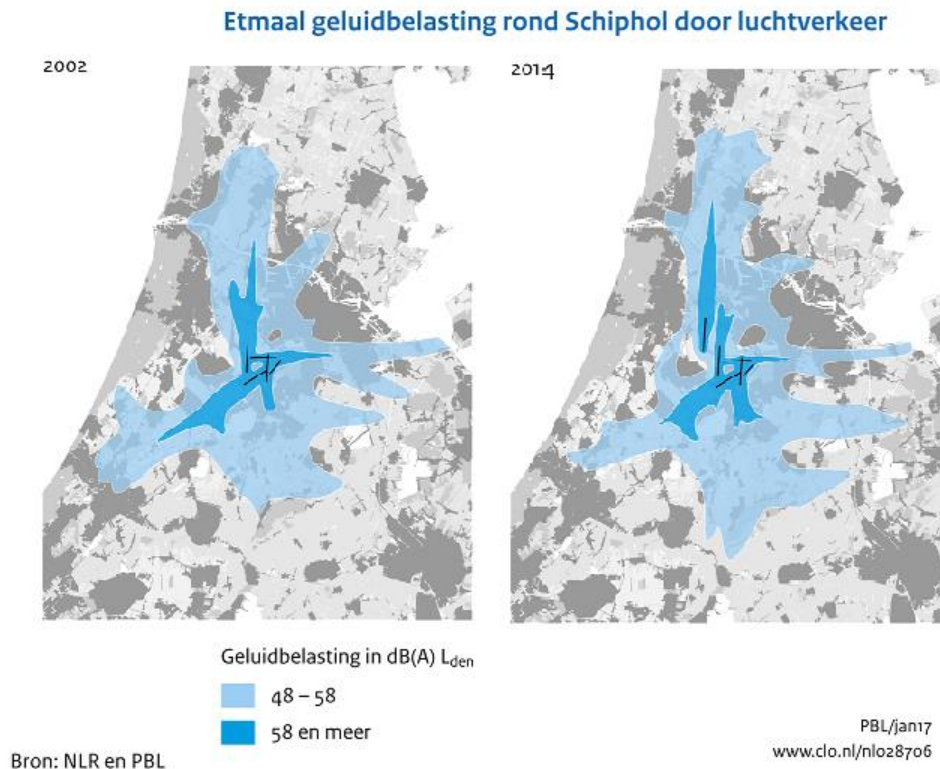
Een luchthaven drukt zijn stempel op de omgeving. In een groot gebied rond de luchthaven en onder vliegroutes is er overlast door het geluid van luchtverkeer. Omdat dit gebied vaak nabij een stedelijke agglomeratie ligt, willen mensen hier ook graag wonen. Dat leidt tot spanningen. In dit hoofdstuk geven we een overzicht van onderzoek naar de omvang van de overlast.

8.1 Luchtvaartgeluid

Volgens de Europese Richtlijn Omgevingslawaai (EU 2002) dient de geluidsbelasting te worden weergegeven in $\text{dB(A)} L_{\text{den}}$ – een maat die de gemiddelde belasting over de dag weergeeft, waarbij geluid in de avond en de nacht zwaarder meeweegt – en $\text{dB(A)} L_{\text{night}}$ – een maat die de nachtelijke geluidsbelasting weergeeft. EU-lidstaten zijn verplicht om over de geluidsbelasting in hun land te rapporteren en dit ook aan het publiek openbaar te maken (EU 2002).

Voor de Nederlandse vliegvelden worden regelmatig kaarten gemaakt van de gebieden waarbinnen de berekende geluidsbelasting door vliegtuigen een bepaalde limiet overschrijdt, de zogeheten geluidscontouren. Daardoor wordt de geografische ontwikkeling van de geluidsbelasting zichtbaar. Figuur 8.1 laat de ontwikkeling zien van de gemiddelde geluidsbelasting per etmaal voor de kalenderjaren 2002 en 2014. De vorm van de contouren, met hun lobben en instulpingen, hangt samen met hoe de vliegtuigen van en naar Schiphol vliegen. Die vorm wordt vooral bepaald door de ligging van de banen van Schiphol. De contouren verschillen jaarlijks enigszins door meteorologische omstandigheden of door bijzondere gebeurtenissen, zoals uitval van banen door onderhoud, waardoor het baangebruik tijdelijk afwijkt van wat gebruikelijk is. Het Compendium voor de Leefomgeving toont de geluidsbelasting rond Schiphol van 2000 tot 2014 en de geluidsbelasting rond de regionale luchthavens in 2010 en 2014 (CLO 2017).

Figuur 8.1 Geluidscontouren van Schiphol voor 2002 en 2014, gemiddeld per etmaal



In de omgeving van Schiphol is het aantal bewoners met een hoge geluidbelasting relatief klein in vergelijking met de andere drie grote luchthavens van West-Europa (tabel 8.1). Deze luchthavens zijn wat aantallen vluchten betreft redelijk vergelijkbaar. De oppervlakte van de 55 dB(A) L_{den} -contour van Schiphol is 7 respectievelijk 17 procent kleiner dan die van Parijs Charles de Gaulle (CDG) en Frankfurt, maar het aantal bewoners binnen die contour is niet meer dan ongeveer 20 tot 25 procent van het aantal bij de andere luchthavens. Londen Heathrow (LHR) heeft de kleinste geluidscontour, doordat de luchthaven slechts twee parallelle banen heeft. Maar de contour gaat grotendeels over woongebieden heen, wat het forse aantal bewoners binnen deze contour verklaart (Boucein et al. 2017).

Tabel 8.1 Vergelijking van verkeersomvang en geluidsbelasting tussen de vier grootste luchthavens in West-Europa, 2016

	Schiphol	Parijs CDG	Londen LHR	Frankfurt
Passagiers (mln)	63,6	66,0	75,5	60,5
Vracht (Mt)	1,7	1,8	1,6	2,1
Vluchten	480 000	473 000	473 000	463 000
Oppervlak > 55 dB(A) L_{den} (km ²)	229	247	211	276
Personen > 55 dB(A) L_{den}	55 400	256 600	704 300	207 300

Bron: Boucein et al. (2017)

Metten en rekenen

Bij de vaststelling en bij het handhaven van de geluidsnormen wordt gebruikgemaakt van rekenmodellen die de geluidbelasting op de woningen berekenen. De wetgever en handhaver berekenen deze belasting in plaats van ze te meten, omdat metingen te veel worden verstoord door omgevingseffecten zoals wind en geluid uit andere bronnen. Daarvoor wordt het Nederlandse Rekenmodel (NRM) voor vliegtuiggeluid gebruikt. Op advies van de

Commissie voor de milieueffectrapportage is besloten om dit model te vervangen door Doc.29, een rekenmodel dat is gebaseerd op de nieuwste aanbevelingen van de European Civil Aviation Conference (ECAC 2016) en aanbevolen in de eerdergenoemde Europese Richtlijn Omgevingslawaaai. De geluidswaarden die met dit model worden berekend, liggen dichterbij de gemeten waarden dan met het Nederlandse Rekenmodel het geval is. Ook voor dit model geldt nog steeds dat de gemeten waarden gemiddeld hoger zijn dan de berekende waarden (NLR 2018).

Maar het geluid van vliegtuigen wordt rond Schiphol ook gemeten. Dat gebeurt op 31 locaties met het geluidmeetsysteem NOMOS. Op de website van het Bewoners aanspreekpunt Schiphol (www.bezoekbas.nl) staat een uitleg van dit systeem en zijn actuele en historische meetwaarden te zien. De meetresultaten hebben voornamelijk een informatief karakter, ze worden niet gebruikt bij de handhaving. Omwonenden hebben echter meer vertrouwen in metingen, omdat de berekeningen niet altijd overeenkomen met hun beleving. Daarom streeft het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum, de beheerder de rekenmodellen, ernaar om meer met de metingen te doen (NLR 2014).

Berkhout (2018) noemt de modelaanpak onjuist en achterhaald. Hij vindt het gepaster om omwonenden bij de problematiek te betrekken door hen zelf te laten meten, bijvoorbeeld met hun smartphones. Dit zal bijdragen aan herstel van het vertrouwen. Met *big data*-technieken kan deze continue datastroom zo verwerkt worden dat op het gehele gebied permanente monitoring van vliegtuiggeluid mogelijk is. Door deze data aan iedereen beschikbaar te stellen, zal het vertrouwen volgens Berkhout verder toenemen.

8.2 Hinder en slaapverstoring

Het geluid van de vliegtuigen van en naar Schiphol leidt tot ernstige geluidshinder en slaapverstoring voor omwonenden van de luchthaven. Voor Schiphol wordt van ernstige geluidshinder gesproken als de gevel van een woning wordt belast met meer dan 48 dB(A) L_{den} en van ernstige slaapverstoring bij meer dan 40 dB(A) L_{night} . In 2016 ging het volgens Schiphol¹⁰ om 138.500 ernstig gehinderde mensen en om 19.500 mensen wier slaap ernstig werd gestoord (Luchthaven Schiphol 2017).

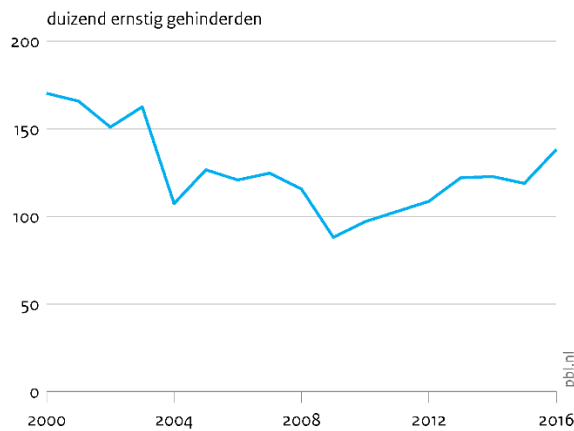
Het RIVM laat hinderbelevingsonderzoeken uitvoeren door de GGD's in de regio rond Schiphol. Na analyse van de resultaten concludeert Natuur & Milieu Noord-Holland dat in 2016 198.000 omwonenden ernstige geluidsoverlast hebben ervaren van het vliegverkeer van en naar Schiphol, en 41.000 mensen lijden aan ernstige slaapverstoring. Dat is aanzienlijk meer dan de luchthaven zelf rapporteert (Natuur & Milieu Noord-Holland 2018). Hinder wordt in dit belevingsonderzoek via enquêtes bepaald en niet berekend via geluidscontouren. De auteurs bekeken voor dit onderzoek 19 gemeenten rond Schiphol, waarvan in tien daadwerkelijk door de GGD naar hinderbeleving is gevraagd. In de overige negen is de hinder op basis van de eerste tien geschat.

Tussen 2004 en 2016 is de ernstige hinder, gedefinieerd op basis van de 48 dB(A) L_{den} -contour, met 30 procent toegenomen (figuur 8.2). Het aantal vliegbewegingen nam sterker toe dan dat de vliegtuigen stiller werden en hinderbeperkende maatregelen effect hadden. Door de toename van het aantal inwoners door woningbouw komt hier nog 20 procent bij en is de totale toename van de ernstige hinder bijna 50 procent ten opzichte van 2004 (MIR 2018).

¹⁰ Berekend met de door het Rijk vastgestelde rekenvoorschriften.

Figuur 8.2 Ontwikkeling van het aantal ernstig gehinderden rond Schiphol met een geluidsbelasting van 48 dB(A) L_{den} of meer

Ontwikkeling aantal ernstig gehinderden met geluidbelasting van 48 dB(A) L_{den} of meer

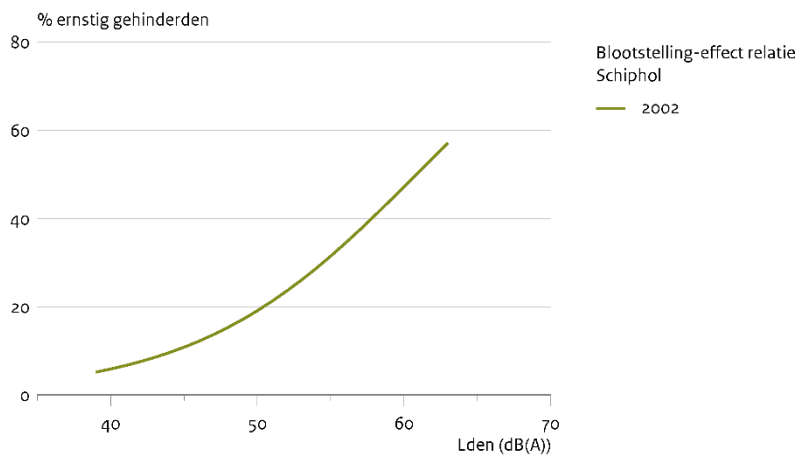


Bron: AAS (2017)

Voor de berekening van ernstige hinder en ernstige slaapverstoring worden zogenoemde dosis-responsrelaties (DR-relaties) gebruikt, die beschrijven in welke mate hinder en slaapverstoring samenhangen met geluidsbelasting. DR-relaties zijn afgeleid uit een grootschalige enquête naar de ernstige hinder en ernstige slaapverstoring onder bewoners. Deze enquête is uitgevoerd in 1996 en in 2002 in het kader van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (figuur 8.3) (Breugelmans 2005).

Figuur 8.3 Dosis-responsrelatie voor Schiphol

Blootstelling-effect relatie tussen ernstige hinder en vliegtuiggeluid



Dosis-respons relaties tussen ernstige hinder en vliegtuiggeluid, volgens de enquêtes van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol en volgens de aanbeveling van de Europese Commissie uit 2002 (MNP 2005).

Voor het bepalen van het aantal ernstig gehinderden binnen de 48 dB(A) contour, wordt een vast referentiebestand gebruikt van inwoners uit het jaar 2005. Daardoor wordt geen rekening gehouden met de toenemende hinder die ontstaat door de uitbreiding van het aantal woningen in het gebied. De ratio daarachter is dat de luchtvaartsector niet op dit deel van de hindertoename kan worden aangesproken.

Maar ook buiten de 48 dB(A) L_{den} -contour ervaren mensen ernstige hinder door vliegtuiggeluid. De dosis-responsrelatie voor het berekenen van ernstige hinder is betrouwbaar te bepalen vanaf 39 dB(A) L_{den} (Breugelmans 2005). De 39 dB(A) L_{den} -contour is daarmee de grootste contour waarbinnen deze hinder kan worden berekend. Deze contour bedekt een groot deel van de provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht.

Bij het berekenen van de hinder of slaapverstoring wordt uitgegaan van de geluidsbelasting aan de gevel van de woning. Bij het vaststellen van de hinder binnen een bepaald L_{den} -gebied wordt geen rekening gehouden met het effect van geluidsisolatie van die woningen, hoewel dit voornemen wel in de Luchtvaartnota van 2009 stond. Hierdoor blijven de effecten van geluidsisolatieprogramma's op afname van de hinder en slaapverstoring buiten beeld. In Nederland zijn vanwege geluidsoverlast door de luchtvaart ongeveer 13.300 gebouwen geïsoleerd, bijna allemaal woningen (AT Osborne 2013).

Voor regionale luchthavens kan de dosis-responsrelatie verschillen van die van Schiphol. Breugelmans et al. (2015) vonden een sterke afwijking (meer hinder) voor de luchthaven bij Eindhoven. Een duidelijke oorzaak voor dit verschil is zonder nader onderzoek van de invloed van persoons- en omgevingskenmerken (niet-akoestische factoren) niet aan te wijzen. Wel verschilt het type vliegtuig dat gebruikmaakt van de luchthavens. Militaire vliegtuigen veroorzaken meer hinder dan de burgerluchtvaart (Breugelmans et al. 2015).

Geluidrichtlijnen Wereldgezondheidsorganisatie

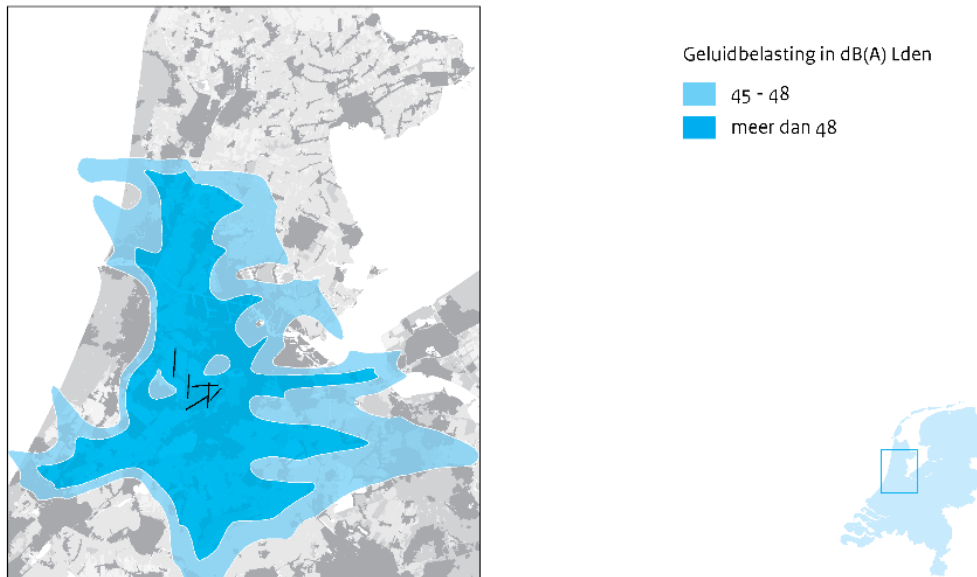
In 2018 heeft de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) voor Europa nieuwe richtlijnen voor geluid gepubliceerd. De WHO beveelt aan om de toegestane geluidsbelasting door luchtvaart voor omwonenden te reduceren tot 45 dB(A) L_{den} in plaats van de 48 dB(A) die in Nederland geldt. Bij dit niveau heeft nog ongeveer 10 procent van de blootgestelde populatie last van ernstige hinder. Dit niveau heeft de WHO afgeleid uit nieuwe dosis-responsrelaties (WHO 2018). Volgens de WHO wegen de positieve gezondheidseffecten van deze nieuwe richtlijn op tegen de kosten van de extra maatregelen.

De aanbeveling van de WHO gaat aanzienlijk verder dan het Nederlandse beleid. In de eerste plaats beslaat een contour van 45 dB(A) L_{den} een groter gebied dan een contour van 48 dB(A) L_{den} (zie figuur 8.4) en waar in het Nederlandse beleid het aantal ernstig gehinderden moet worden beperkt, beveelt de WHO aan om te streven naar een blootstelling van omwonenden van maximaal 45 dB(A) L_{den} .

Figuur 8.4 laat zien hoe de contouren voor 48 dB(A) L_{den} en 45 dB(A) L_{den} in 2016 bij Schiphol lagen. Daarbij is te zien dat de 45 dB(A) L_{den} -contour over een aantal grote stedelijke gebieden loopt. Het aantal ernstig gehinderden binnen de 45 dB(A) L_{den} -contour zou wel eens twee keer zo hoog kunnen zijn als binnen de 48 dB(A) L_{den} -contour (PBL 2018).

Figuur 8.4 Geluidscontouren

Geluidcontouren van 48 en 45 dB(A) Lden voor Schiphol, 2016



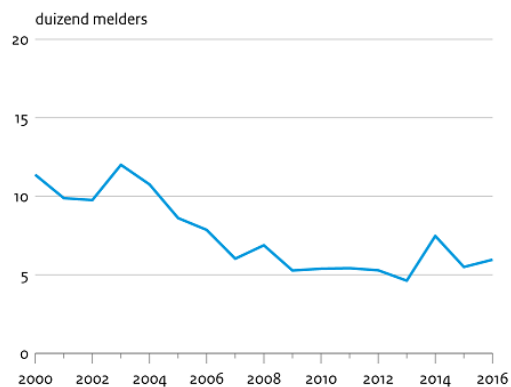
Bron: NLR/RIVM

Klachten over luchtverkeer

Omwonenden van Schiphol kunnen met klachten terecht op de website van het Bewoners aanspreekpunt Schiphol (BAS) (www.bezoekbas.nl). Het BAS analyseert de klachten en rapporteert daar regelmatig over aan onder andere de Omgevingsraad Schiphol. De jaarrapportages beslaan gebruiks jaren, die lopen van 1 november t/m 31 oktober. Het BAS concentreert zich in toenemende mate op melders en minder op het aantal meldingen. Daarbij hanteert BAS een focusgroep die alle melders omvat behalve de veelmelders (jaarlijks meer dan 500 meldingen per persoon). Het aantal melders heeft betrekking op alle soorten meldingen: zowel over geluid als over angst, luchtverontreiniging en zorgen over gezondheid. Meldingen over geluidshinder vormen het overgrote deel daarvan (rond 98 procent; BAS 2017).

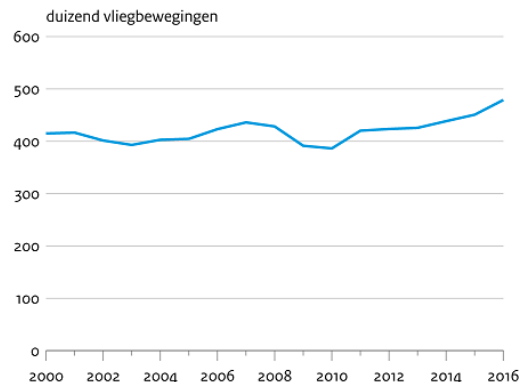
Figuur 8.5 Aantal melders op de website van het Bewoners aanspreekpunt Schiphol en aantal vliegbewegingen op Schiphol

Aantal melders over Schiphol



Bron: BAS

Aantal vliegbewegingen voor handelsverkeer op Schiphol



Bron: CBS Statline

PBL/sep17
www.clo.nl/nlo33815

Het aantal melders is tussen 2000 en 2016 gehalveerd. Wel zijn er pieken en dalen te zien en lijkt het aantal melders na 2013 toe te nemen. Het grootste aantal melders is geregistreerd in 2003. Die piek is terug te voeren op de opening van de Polderbaan in dat jaar. Na 2003 daalde het aantal. Hierbij spelen verschillende zaken een rol. Het aantal vliegtuigbewegingen nam licht af tussen 2006 en 2010, de luchtvloot werd langzamerhand stiller en er zijn verbeterde start- en landingsprocedures ingevoerd. Maar ook treedt mogelijk na verloop van tijd enige gewenning op aan de nieuwe situatie (CLO 2017).

De piek in het aantal melders in 2014 komt door veelvuldig afwijkend baangebruik, omdat in dat jaar veel onderhoud is gepleegd aan het banenstelsel (BAS 2015). De sterke toename in het aantal vliegtuigbewegingen in de laatste paar jaar lijkt zichtbaar te worden in het aantal melders (CLO 2017). BAS meldt in het jaarverslag over 2017 dat het aantal melders in dat jaar het grootst was van de afgelopen tien jaar, mede door langdurig onderhoud aan de twee primaire start- en landingsbanen (Kaagbaan en Polderbaan).

Gezondheidseffecten

Geluidshinder kan via verschillende mechanismen uiteindelijk leiden tot hart- en vaatziekten. Hoe dit verloopt en de mate waarin hangt niet alleen af van het niveau van de geluidsbelasting, maar ook van persoonlijke, sociale en contextuele factoren die samen de omvang van de hinder bepalen. Recente studies geven aan dat nu bij gelijke geluidsbelasting meer hinder wordt ervaren dan eerder werd gemeten. Een mogelijk belangrijk aspect lijkt *respite* te zijn, een geplande periode zonder geluidsbelasting (zoals bijvoorbeeld bij Heathrow, waar met bekende regelmaat stijgen en dalen op beide parallelle banen wordt afgewisseld).

Geluidsbelasting tijdens de slaap leidt tot verandering naar lichtere slaap, ontwaakreacties en ergernis. Door geluidsbelasting verandert het hartritme tijdens de slaap. Daarbij is het aantal pieken belangrijker dan het absolute geluidsniveau. Ook bij een lager gemiddeld niveau treedt hartslagversnelling op bij pieken (isolatie werkt dus minder). Er treedt weinig gewenning op.

Chronisch slaapttekort kan leiden tot slechter functioneren overdag (vermoeidheid, slaperigheid, alertheid, geheugen) en op de lange duur tot meer kans op cardiovasculaire en psychische problemen. Het is dus aannemelijk dat geluid van invloed is op het hart- en vaatstelsel. Hierbij speelt stress een belangrijke rol. Mogelijk speelt blootstelling aan geluid tijdens de nacht en aan luchtverontreiniging een rol. Het is nog niet duidelijk wanneer en hoe snel de effecten van geluid ontstaan.

Geluidsbelasting heeft invloed op de cognitieve ontwikkeling van kinderen, vooral een negatief effect op begrijpend lezen en geheugentaken.

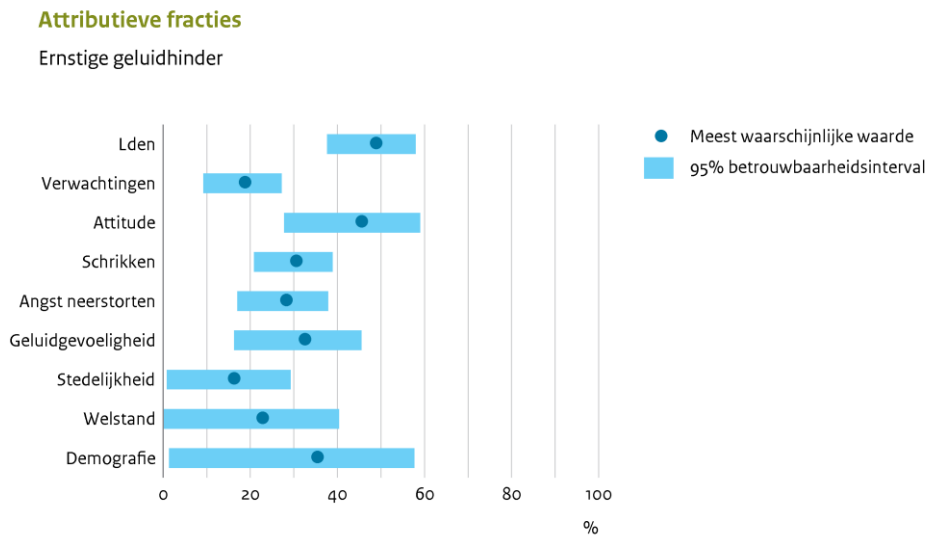
Bron: RIVM & UvA (2017)

Niet-akoestische factoren

Alhoewel er een significante, positieve relatie is tussen de hoogte van de jaarlijkse blootstelling aan geluid en de kans op geluidshinder en slaapverstoring, worden deze effecten niet alleen veroorzaakt door de feitelijke geluidsbelasting. De hoogte van de jaarlijkse blootstelling aan het vliegtuiggeluid verklaart slechts 25-40 procent van de variantie in geluidshinder. Een derde wordt toegeschreven aan andere factoren. Geluidsbeleid waarin geen rekening wordt gehouden met deze niet-akoestische factoren is in het beste geval gedeeltelijk ineffectief en in het ergste geval contraproductief (Kroesen 2011).

Gezondheidsenquêtes geven een beeld van de invloed van niet-akoestische factoren op de geluidshinder in de omgeving van de Schiphol (figuur 8.6).

Figuur 8.6 Attributieve fracties van factoren die bijdragen aan ernstige hinder door vliegtuigeluid, inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval



Bron: Breugelmans et al. (2004)

De waarden bij de factoren in figuur 8.6 geven de maximale hinderreductie aan die bereikt kan worden als deze factoren als oorzaak worden weggenomen. Als bijvoorbeeld de angst voor neerstorten verdwijnt, zou de ondervonden ernstige hinder met ongeveer 25 procent kunnen afnemen. De maximale waarde per factor geldt alleen als deze factor afzonderlijk of als eerste wordt aangepakt. Bij meer ingrepen tegelijk of na elkaar zijn de effecten niet optelbaar (Breugelmans et al. 2004).

Hoe mensen reageren op een vraag naar geluidshinder hangt af van de context waarin die vraag wordt gesteld. Wanneer geluidshinder van vliegtuigen in relatie tot andere geluidsbronnen wordt gemeten, blijkt het percentage ernstig gehinderde mensen meer dan twee keer zo hoog als wanneer geluidshinder op zichzelf wordt gemeten (Kroesen 2011). Volgens Kroesen (2011) kunnen de huidige dosis-responsmodellen, die hinder alleen aan akoestische factoren koppelen, dan ook beter niet gebruikt worden als basis voor het geluidsbeleid. Maar omdat het ontbreekt aan theorie die geluidshinder verklaart uit niet-akoestische factoren, zijn er ook geen aangrijpingspunten voor beleid dat wel op die factoren is gericht.

Uit het onderzoek van Kroesen blijkt verder dat omwonenden van Schiphol geluidshinder koppelen aan de falende collectieve controle op geluid. Versterking van de rechtsbescherming tegen overschrijding van geluidsnormen zal de (perceptie van) collectieve controle waarschijnlijk verbeteren en de geaggregeerde hinder verminderen, aldus Kroesen (2011)

8.3 Beperkingengebieden van het luchthavenindelingsbesluit

Beperkingengebieden zijn gebieden waar volgens het Luchthavenindelingsbesluit (LIB) restricties gelden voor bouwen. Het aantal woningen in de beperkingengebieden rond Schiphol laat over de periode 2004-2016 een wisselend beeld zien. In het LIB zijn vijf zones onderscheiden. In de sloopzones (LIB 1 en 2), zeer dicht bij de luchthaven, is in de loop van de jaren het aantal woningen afgenomen tot 15. In het wat grotere beperkingengebied voor

externe veiligheid (LIB 3) nam het aantal woningen licht af. In het beperkingengebied voor geluid (LIB 4) was de gemiddelde jaarlijkse groei over de hele periode constant 0,4 procent per jaar. Binnen de 20Ke-contour (LIB 5) ging het van 2004 tot 2012 gemiddeld om 0,9 procent per jaar. In de periode daarna (2012-2016) was de gemiddelde groei 1,3 procent per jaar (CLO 2018). In de buitenste beperkingengebieden nam het aantal woningen ondanks de beperkingen dus toe, al was het beduidend minder dan de respectievelijk 6,5 en 2,7 procent per jaar, waarmee het aantal woningen in de drie Randstadprovincies als geheel groeide.

Figuur 8.7 Beperkingengebieden Luchthavenindielingsbesluit (LIB), 2004

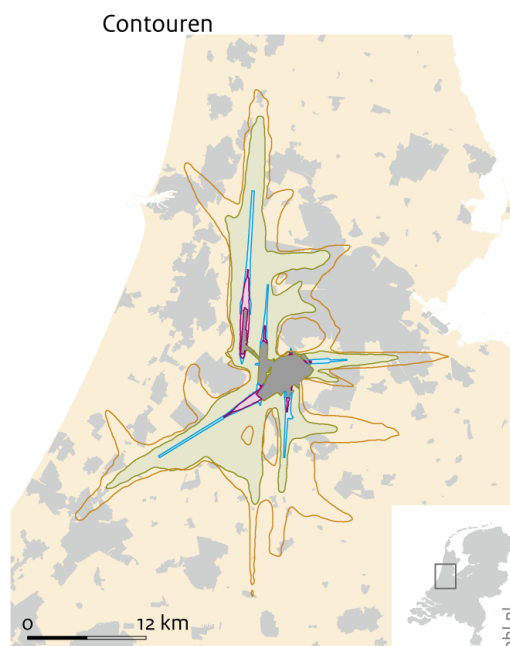
Beperkingengebieden Luchthavenindielingsbesluit Schiphol

Aantal woningen in de beperkingengebieden en in het 20 Ke-vrijwaringsgebied

	2004	2012	2014	2016
Sloopzones geluid en externe veiligheid	114			15*
Beperkingengebied externe veiligheid	1.060	1.025	1.020	1.005
Beperkingengebied geluid	24.400	22.900	22.800	23.300
Planologische 20 Ke-contour	106.000	112.000	113.500	117.000

- Luchthavengebied
- Bebouwd gebied

*) Cijfer 2015



Bronnen:

Kaart: lenW

Cijfers sloopzones: gemeenten Haarlemmermeer, Aalsmeer en Haarlemmerliede/Spaarnwoude

Cijfers overige zones: 2004: Woonregister (CBS), 2012 en later: Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG)

(Vanaf 2012 is bron van woningregistratie gewijzigd)

9 Governance

Governance gaat over vormen van besturen, rollen en posities van actoren en instituties, opvattingen en onderlinge machtsverhoudingen. Er bestaan spanningen tussen de partijen die profiteren van een luchthaven en zij die er last van hebben. Niet alle partijen hebben bovendien vertrouwen in de Rijksoverheid. Via vormen van governance kunnen die spanningen en dat wantrouwen mogelijk worden verminderd. De eerste adviezen in die richting komen vanaf 2009 van de Commissie Ruimtelijke Ontwikkeling Luchthavens (CROL 2009), de Raad voor Ruimtelijk, Milieu- en Natuuronderzoek (RMNO 2009) en de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli 2013), die handreikingen doen voor een betere governance.

Een betere governance voor de Schipholregio

De relatie tussen de luchthaven en de omgeving moet veel breder worden gezien dan alleen een 'hinderrelatie'. Een integrale gebiedsontwikkeling is daarbij belangrijk, maar daar is vrijwel geen sprake van, omdat partijen hun eigen belangen nastreven. Schiphol heeft daarin een sterke positie met weinig tegenspel. De Rijksoverheid moet zich duidelijker gaan bemoeien met de belangrijkste terreinen (gebiedsontwikkeling, mainport) en bedenken of en waar meer overheidsinvloed nodig is op de rollen van verschillende actoren (CROL 2009).

Partijen rond Schiphol lijken bijna zonder uitzondering gevangen in beelden en routines die gebaseerd zijn op wantrouwen, het eigenbelang en het creëren van zekerheid op korte termijn. Vernieuwende gedachten, inzichten en praktijken krijgen op die manier nauwelijks een kans. De Alderstafel lijkt hierin een doorbraak te hebben bereikt: een eerste stap op weg naar een situatie waarin de neiging tot polarisatie en focus op deelaspecten en kortetermijnvisie in het veld kan veranderen. De Alderstafel heeft de discussie gestroomlijnd, doordat de keuze van de deelnemers is gebaseerd op het vinden van een balans tussen groei en overlast. En voor het eerst neemt een bewonersdelegatie deel aan de gesprekken. Er is vertrouwen ontstaan en deelnemers hebben ideeën kunnen uitruilen om eigen doelen te bereiken (RMNO 2009). De RMNO geeft wel aan dat 'groei en overlast' een te smal perspectief kan zijn voor langetermijnoplossingen, omdat er weinig ruimte is voor een samenbindend en wenkend perspectief. Verbreding van het netwerk van betrokken partijen kan een oplossing bieden (nieuwe invalshoeken), maar ook het verbinden van nieuwe thema's aan het Schipholdossier, waardoor nieuwe ambities kunnen ontstaan. Voor een langetermijnperspectief voor de governance voor het gebied rond Schiphol/Amsterdam noemt de RMNO drie vernieuwende interactievormen van belang: een gemeenschappelijke kennisinfrastructuur, het verbreden van de scope van het overleg en rijkspartijen als onderdeel van het geheel.

De Rli geeft het advies om bovenregionale en regionale belangen in de regio te combineren en als Rijksoverheid te focussen op systeemverantwoordelijkheid, en daarbij duidelijkheid te bieden over eigen strategische doelen en randvoorwaarden (Rli 2013). Daarnaast adviseert de Rli om naast de klassieke overheden en hun onderlinge relaties, waar nodig relaties aan te gaan met niet-overheidspartijen. Ook Schiphol moet daarin een rol krijgen door de luchthaven en de regio gezamenlijk verantwoordelijk te maken voor overleg over het combineren van belangen in de omgeving. Dit is juist tegengesteld aan de opvatting van de commissie-Vriesman (CROL) die de invloed van Schiphol in de regio te groot vindt. Maar volgens de Rli is het de verantwoordelijkheid van het Rijk om die rol op de juiste manier in te kaderen.

Energieke samenleving en participatie

De overheid moet veel meer gebruikmaken van de energie en de creativiteit van de samenleving bij de aanpak van complexe (duurzaamheids)vraagstukken (Hajer 2011). De overheid werkt in toenemende mate samen met partijen uit de samenleving, en in die zin is de verhouding tussen overheid en samenleving sterk in beweging. Sturen op energie in de samenleving impliceert een overheid die ambitie heeft, richting geeft, initiatieven stimuleert en vernieuwing mogelijk maakt. Er zijn echter belemmeringen die elk eigen uitdagingen met zich brengen: de macht van de gevestigde belangen, risico-aversie van ambtenaren en bestuurders, de vaak nog sterk sectorale en verticale inrichting van de ambtelijke organisatie, en het feit dat dat niet iedereen in de samenleving enthousiast is over de energieke samenleving (NSOB & PBL 2014).

Joint factfinding is een vorm van participatie die moet voorkomen dat er veel discussie ontstaat over feitelijkheden en rapporten. Ook in het traject voor de nieuwe Luchtvaartnota is dit proces voorzien. Naast het vaststellen van een gezamenlijke kennisbasis kan dit proces leiden tot vergroten van de kennis en verbeteren van de betrokkenheid en vertrouwen.

Toch is niet vanzelfsprekend dat een forum voor *joint factfinding* zijn integrerende functie naar behoren vervult. Actoren kunnen om allerlei redenen hun deelname aan het onderzoek beëindigen of de resultaten verwerpen (Weggeman & Van Buren 2005). Dit vereist van de overheid een continue alertheid tijdens het proces.

10 Kennisvragen voor de Luchtvaartnota

10.1 Inleiding

Deze scan geeft een globaal overzicht van de vakliteratuur over luchtvaart die relevant kan zijn voor de Luchtvaartnota van het ministerie van IenW. Het overzicht laat zien dat die kennis en inzichten soms onvolledig, niet altijd eenduidig en soms zelfs omstreden zijn. De kennisscan maakt dus duidelijk dat er nog kennisvragen liggen. Ter afsluiting van dit rapport, geven we enkele kennisvragen mee die nuttig en behulpzaam kunnen zijn voor het ministerie om op te pakken bij de voorbereiding van de Luchtvaartnota. Het is aan het ministerie om vast te stellen welke aanvullende kennisvragen vanuit politiek en bestuurlijk perspectief voorrang moeten krijgen. Voor de achtergrond van deze kennisvragen en een toelichting verwijzen we naar de betreffende hoofdstukken.

10.2 Economie, connectiviteit, afwegingskader en coördinatie

- **Economisch belang luchthavenuitbreiding** Wat is de economische meerwaarde van verdere groei van Schiphol voor Nederland? In schattingen van het belang van Schiphol wordt vooral de mate gemeten waarin Schiphol is verweven met de nationale en de regionale economie. In een hoogontwikkelde economie leidt uitbreiding van luchthavencapaciteit niet altijd en overal tot een duidelijke versterking van de economie.
 - Aanbeveling: Onderzoek nauwkeuriger welke relatie luchtvaart en economie in Nederland hebben. Welke regio's, economische sectoren en groepen profiteren en welke niet? Welke slotallocatie, publieke investeringen en regelgeving op Schiphol en in de luchtvaart passen het best bij de economische beleidsdoelen van de Rijksoverheid, bijvoorbeeld om de kenniseconomie te bevorderen? Welke vorm van regulering is economisch efficiënt?
- **Hubfunctie** Het verband tussen connectiviteit en economie is niet geheel duidelijk. Er is veel aandacht voor het aantal verbindingen van Schiphol, maar niet elke verbinding draagt evenveel bij aan de economie. De mate waarin nieuwe transferverbindingen en de hubfunctie van Schiphol belangrijk zijn voor Nederland blijft daardoor onduidelijk.
 - Aanbeveling: Onderzoek welke bestemmingen en vluchtfrequenties het meest waardevol zijn voor de economie van land en regio, zodat daar bij slotallocatie en rijksbeleid rekening mee kan worden gehouden. Voor welke economische sectoren, met welke buitenlandse regio's? Wat zijn de gevolgen als Schiphol steeds meer een *point-to-point* luchthaven zou worden?
- **Recreatief verkeer** Het Rijk streeft ernaar om toeristische vluchten zoveel mogelijk van Schiphol naar regionale vliegvelden over te hevelen. Hub- of mainportverkeer zou waardevoller zijn voor de nationale economie dan recreatief verkeer. Maar *per vlucht* brengt recreatief verkeer meer welvaart voor Nederland; en de economische waarde van dit recreatieve verkeer wordt bovendien waarschijnlijk onderschat. Bepalend bij een

vergelijking met mainportverkeer zijn vooral de hoge reistijdskosten van zakenreizigers als ze naar een andere luchthaven moeten. Maar de economische bijdrage van het in- en uitgaande toerisme dat via de luchthaven loopt wordt bij de vergelijking niet meegenomen, evenmin als de sociale waarde van internationale verbindingen.

- Aanbeveling: Onderzoek het relatieve economische belang van recreatief verkeer vanaf Schiphol beter.
- **Coördinatie en concurrentie** Er zijn allerlei mogelijkheden om de schaarse capaciteit van een luchthaven te verdelen, zoals via 'zelftransfer', secundaire slothandel, andere financiële structuren en minder regulering.
 - Aanbeveling: Breng integraal in beeld wat zulke systeemwijzigingen betekenen voor de markten van Schiphol en de regionale luchthavens. Daarbij zou ook kunnen worden bekeken of het wenselijk is om bepaalde Europese afspraken daarover te herzien.
- **Maatschappelijke kosten en baten** De MKBA is het gangbare instrument voor de integrale afweging van luchthavenuitbreidingen. In de praktijk worden MKBA's gedomineerd door de (monetaire) waarde van de reistijd die reizigers kwijt zijn om van hun vertrekpunt in Nederland op de gewenste buitenlandse bestemming te komen. Maar er is discussie over de reis en de totale tijdwaardering van de reiziger die bij gebrek aan luchthavencapaciteit moet uitwijken. Ook de effecten op de leefomgeving lijken ondergewaardeerd. Het gaat bij deze MKBA's verder vrijwel altijd om een 'quickscan' of een verkenning. Ten slotte zijn er inmiddels nieuwe richtlijnen voor MKBA's en nieuwe luchtvaartscenario's gepubliceerd die actualisatie van de bestaande MKBA's wenselijk maken.
 - Aanbeveling: Laat een actuele monetaire uitwerking maken van de maatschappelijke kosten en baten die met luchtvaart en luchthavens samenhangen, bijvoorbeeld door de MKBA-richtlijnen specifiek te maken voor luchtvaart. Daarin zou aandacht moeten zijn voor de tijdwaardering van de samengestelde reis, voor de waardering van de leefomgeving en bijvoorbeeld voor gezondheidseffecten. Daarbij zou ook moeten worden gekeken naar waar en bij wie de kosten, respectievelijk de baten terechtkomen, omdat deze verdeling een belangrijke oorzaak is van het maatschappelijke debat. Gebruik de informatie van een MKBA om eventueel de plannen aan te passen en mogelijke compensatiemaatregelen te verkennen voor de aantasting van de leefomgeving.
 - Aanbeveling: Kijk bij de maatschappelijke kosten van de leefomgeving niet alleen naar de CO₂-emissies, maar ook naar de niet-CO₂-effecten zoals die van stikstofoxiden en waterdamp. Deze blijken groter te zijn dan de klimateffecten van CO₂, die op dit moment vaak de grootste kostenpost zijn als het gaat om leefomgevingseffecten.

10.3 Emissies en technologie

- **Klimaatimpact** De belangrijkste emissies van broeikasgassen door de luchtvaart zijn CO₂ en waterdamp. Over de effecten van CO₂ op het klimaat is veel bekend. Een belangrijke vraag is hoe beleid rekening moet houden met de niet-CO₂-effecten van luchtvaart, anders onderschat men de invloed van de luchtvaart op het klimaat. Maatregelen om de niet CO₂-effecten te verminderen dragen niet altijd bij aan de CO₂-reductie en omgekeerd.
 - Aanbeveling: Onderzoek hoe de volledige impact van luchtvaart op het klimaat kan worden meegenomen, zowel bij inrichting van de operaties op luchthavens

als bij de besluitvorming over luchtvaartbeleid. Houd daarbij ook rekening met onzekerheden en met de levensduur van emissies. Gebruik bij het evalueren van beleidsopties meerdere indicatoren om de impact op het klimaat te bepalen.

- **Klimaatbeleid** De vraag moet nog worden beantwoord hoe Nederland met klimaatbeleid de impact van de luchtvaart het best kan terugdringen. Deels ontstaat dat inzicht door lopend onderzoek van het PBL naar het effect van klimaatbeleid op luchtvaartvolumes. Het toekomstige effect van het Europese Emissiehandelssysteem en het Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSA) op de Nederlandse luchtvaart is nog niet volledig in beeld.
 - Aanbeveling: Onderzoek het effect van verschillende maatregelen in internationaal klimaatbeleid op de luchtvaart in Nederland.
- **Gevolgen klimaatverandering** Klimaatverandering verhoogt de kans op onveiligheid, beschadigde infrastructuur, hinder bij dagelijkse operaties en op verschuivingen in de vraag naar luchtvaart. Dit vraagt ook om maatregelen van luchtvaartmaatschappijen en betrokken overheden. Ongeveer de helft van de luchtvaartorganisaties houdt al rekening met klimaatadaptatie in hun prognoses en plannen.
 - Aanbeveling: Actualiseer de inschatting van de grootte van de klimaatveranderingseffecten op de luchtvaart in Nederland. Bepaal of, met het oog op preventief beleid, de risico's niet worden onderschat.
- **Brandstof** Het Klimaatakkoord van Parijs vraagt emissiereductie van alle sectoren, en daarmee ook van de luchtvaart. Van technologische verbetering aan vliegtuigen of luchthavenoperaties kan niet worden verwacht dat ze voldoende zijn om de emissies van luchtvaart te laten dalen. Biobrandstoffen of synthetische kerosine (*power-to-liquid*) zijn daarvoor waarschijnlijk noodzakelijk, maar op dit moment ontbreekt het aan voldoende beleidspraktijken om de productie hiervan op te schalen. Zaken als kosten en beperkte beschikbaarheid van bronnen belemmeren deze opschaling.
 - Aanbeveling: Bepaal welke vraag en opschaling van alternatieve brandstoffen passen bij het verminderen van emissies zoals afgesproken in het Klimaatakkoord van Parijs. Onderzoek welke stimulering bij de opschaling van de productiefaciliteiten noodzakelijk is om de doelstellingen te halen.
- **Substitutie door andere vervoerswijzen** Huidig onderzoek naar het vervangen van vliegvluchten spitst zich toe op de trein, waarbij alternatieven als niet reizen of busreizen niet integraal worden meegenomen. Als de (hogesnelheids)trein als alternatieve vervoerswijze wordt gestimuleerd, zal de bereikbaarheid van luchthavens toenemen en kan de vliegvlucht juist aantrekkelijker worden.
 - Aanbeveling: Onderzoek de effecten van de substitutie van vliegvluchten door alternatieve vervoerswijzen. Kijk daarbij ook naar de mogelijkheid dat zij de luchtvaart juist stimuleren, bijvoorbeeld via een betere bereikbaarheid van de luchthaven. Beschouw alle vervoerswijzen als één integraal systeem, dus kijk integraal naar landzijdige bereikbaarheid, effecten op de invulling van slots, emissies over de gehele levensduur en effecten op luchtvaartmaatschappijen.

10.4 Geluid, wonen en vliegen

- **Geluid** In de loop van de jaren zijn veel woningen rond Schiphol voorzien van geluidsisolatie om de hinder te beperken. Ook wordt steeds meer duidelijk dat naast de feitelijke geluidsbelasting ook andere factoren meespelen bij de mate van ernstige hinder, de niet-akoestische factoren. Maar met isolatie en niet-akoestische factoren

wordt geen rekening gehouden bij berekeningen van ernstige hinder en ernstige slaapverstoring.

- Aanbeveling: Onderzoek welke invloed geluidsisolatie van woningen kan hebben op de mate van ernstige hinder en slaapverstoring en op het debat rond Schiphol.
 - Aanbeveling: Verken het effect van niet-akoestische factoren op de hinder en op het maatschappelijke debat daarover. Moet dit gevolgen hebben voor de dosis-responsrelatie?
- **Wonen** Voor de woningbouwopgave in de regio rond Schiphol is veel ruimte nodig, tegelijkertijd gelden er in dit gebied veel beperkingen voor woningbouw en zijn er concurrerende ruimteclaims. Anderzijds betekent een toename van het aantal woningen in het gebied rond Schiphol dat de ernstige hinder en ernstige slaapverstoring daardoor zullen toenemen.
 - Aanbeveling: Onderzoek de mogelijkheden voor de woningbouwopgave in de regio rond Schiphol in het licht van de beperkingengebieden en concurrerende ruimteclaims in de regio en de gevolgen daarvan voor ernstige hinder en ernstige slaapverstoring.

Literatuur

Economie, connectiviteit, afwegingskader, markt en toekomst (hoofdstuk 2 tot en met 6)

- ACI Europe (2018), *Airport industry connectivity report 2018*.
- Adecs & To70 (2014), *Milieu-effectrapport Lelystad Airport 2014*, Deel 1: Hoofdrapport.
- Airbus (2018), *Blueprint for the sky. The roadmap for the safe integration of autonomous aircraft*, A³ by Airbus LLC, Altiscope, the UTM initiative of A³.
- AirportWatch (2011), *International air connectivity for business. How well connected are UK airports to the world's main business destinations?*
- Airports Commission (2013), *Discussion Paper 02. Aviation Connectivity and the Economy*.
- Albalade, Bel & Fageda (2015), 'Competition and cooperation between high-speed rail and air transportation services in Europe', *Journal of Transport Geography* 42: 166-174.
- Annema & van Wee (2016), *Second opinion op 'Ecorys (2015) Maatschappelijke kostenbatenanalyse ontwikkeling Rotterdam The Hague Airport'*, Delft: TU Delft.
- Aviation Economics (2018), *The true cost of a flight ticket*.
- Behrens & Lijesen (2018), 'Minder concurrentie door Lelystad Airport', *ESB-digitaal*, 26 maart 2018.
- Behrens et al. (2018), *Secundaire slothandel op Schiphol*, SEO-rapport 2018-29.
- Blom (2014), 'Tussen Zuidas en de wereld', *Rooilijn* 47(5): 352.
- Bloomberg (2018), *Boeing CEO says air-taxi prototype will be ready for takeoff next year*, zie: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-10-03/boeing-ceo-sees-air-taxi-prototype-ready-for-takeoff-next-year?srnd=premium-europe>.
- Bokhorst & Faber (2018a), *LTO-emissies van CO₂-, NO_x- en PM₁₀-emissies Eindhoven Airport, Prognoses 2019-2030*, CE Delft, Publicatienummer 18.7P07.38a.
- Bokhorst & Faber (2018b), *CO₂-, NO_x- en PM₁₀-emissies Eindhoven Airport, Prognoses 2019-2030*, CE Delft, Publicatienummer 18.7P07.38a.
- Brandt, van den, et al. (2014), *Airport slots and slot allocation driver for mismatch between airline network and city needs. The case of Rotterdam The Hague Airport*, Conference paper INAIR2014, Prague.
- Burghouwt, Mendes de Leon & De Wit (2015a), *EU Air Transport Liberalisation Process, impacts and future considerations*, OECD International Transport Forum Discussion Paper No 2015-04.
- Burghouwt & De Wit (2015), 'In the wake of liberalisation. Long-term developments in the EU air transport market', *Transport Policy* 43: 104-113.
- Burghouwt et al. (2015b), *83 Benefits of European airspace modernization*, SEO-rapport 83.
- Burghouwt et al. (2017a), *Economische effecten Schiphol. Over indirecte effecten en de gevolgen van capaciteitsschaarste*, SEO-rapport 2017-55.

- Burghouwt et al. (2017b), *The impact of airport capacity constraints on air fares*, SEO-apport 2017-04.
- CE Delft (2013), *The economics of airport expansion*, Delft: CE Delft.
- CE Delft (2017), *Werkwijzer voor MKBA's op het gebied van milieu*, Delft: CE Delft.
- Christian & Cabelly (2017), *Initial investigation into the Psychoacoustic Properties of Small Unmanned Aerial System Noise*, NASA Langley Research Center, Hampton, USA. American Institute of Aeronautics and Astronautics, zie <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20170005870> 2018-11-13T08:13:24+00:00Z.
- Commissie m.e.r. (2017), *Luchthavenbesluit Groningen Airport Eelde, Advies over de reikwijdte en het detailniveau van het milieueffectrapport*, 14 november 2017, projectnummer 3229.
- Commissie m.e.r. (2018), *Lelystad Airport, Toetsingsadvies over het geactualiseerde milieueffectrapport*, 18 april 2018, projectnummer 3260.
- Copenhagen Economics (2012), *Airport competition in Europe*.
- CPB & PBL (2016a), *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Achtergronddocument Mobiliteit – Luchtvaart*, Den Haag: PBL & CPB.
- CPB & PBL (2016b), *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Achtergronddocument Binnenlandse Personenmobiliteit*, Den Haag: PBL & CPB.
- Decisio, SEO & To70 (2014), *Actualisatie quickscan MKBA Schiphol en Lelystad Airport middellange termijn. Bijschaling en actualisatie kengetallen en scenario's*.
- Decisio (2015), *Economisch belang van de mainport Schiphol. Analyse van directe en indirecte relaties*.
- Decisio & SEO (2018), *Verkenkende MKBA beleidsalternatieven luchtvaart*.
- Dobruszkes et al. (2016), 'Hello major airports, goodbye regional airports. Recent changes in European and US low-cost airline airport choice', *Journal of Air Transport Management* 59.
- Dongen, van, et al. (2014), *Topsectoren en regio's. De relatie tussen vestigingsplaatsfactoren en de concentratie van de topsectoren*, Den Haag: PBL.
- Dziedzic & Warnock-Smith (2016), 'The role of secondary airports for today's Low-Cost Carrier Business Models. The European case', *Research in Transportation Business & Management* 21: 19-32.
- Ecorys (2015), *Maatschappelijke kostenbatenanalyse ontwikkeling Rotterdam The Hague Airport*, Rotterdam: Ecorys.
- Ecorys (2016), *MKBA Strategische ontwikkelingsopties Groningen Airport Eelde*, Rotterdam: Ecorys.
- Ecorys (2018), *Eindhoven Airport 2020-2030. Marktvraag en economische spin-off*, Rotterdam: Ecorys.
- EEG (1993-2009), *Verordening toewijzing slots op communautaire luchthavens*.
- Eurocontrol (2018), *European aviation in 2040. Challenges of growth*.
- Faber et al. (2014), *Kennisoverzicht luchtvaart en klimaat*, Delft: CE Delft.
- Faber, Schroten, van Wijngaarden & Tol (2018), *Economische- en duurzaamheidseffecten vliegbelasting*, Delft: CE Delft.
- Gordijn & Kolkman (2011), *Effecten van de vliegbelasting*, Den Haag: KiM.

- Holst, van (2018), 'Schiphol op de Noordzee blijft luchtfietserij', *ESB-digitaal*, 23 augustus 2018.
- IATA (2007), *Aviation economic benefits. Measuring the economic rate of return on investment in the aviation industry*, IATA Economics briefing 8.
- IATA (2017), *Worldwide slot guidelines*, Effective 1 January 2017.
- Ministerie van I&W (2018), *Actualisatie MER Lelystad Airport, Herstel invoergegevens, verwerken actuele inzichten en voorschriften, effecten aansluitroutes*.
- IenW & EZ (2016), *Actieagenda Schiphol*, Den Haag.
- InterVISTAS (2015), *Economic impact of European airports. A critical catalyst to economic growth*.
- Jimenez, Claro, Pinho de Sousa & de Neufville (2017), 'Dynamic evolution of European airport systems in the context of Low-Cost Carriers growth', *Journal of Air Transport Management* 64: 68-76.
- KiM (2013), *De maatschappelijke waarde van kortere en betrouwbaardere reistijden*, Den Haag: KiM.
- KiM (2017), *The potential of the long-haul low-cost business model and its impact on the Netherlands*, The Hague: KiM.
- KiM (2018a), *Effecten van prijsprikkels in de mobiliteit. Een literatuurscan. Verdieping prijsprikkels luchtvaart*, Den Haag: KiM, zie: http://web.minienm.nl/kim/prijsprikkels/documents/link16_Luchtvaart.pdf.
- KiM (2018b), *Kerncijfers Mobiliteit 2018*, Den Haag: KiM.
- Kloet, Watkins & Clothier (2017), 'Acoustic signature measurement of small multi-rotor unmanned aircraft systems', *International Journal of Micro Air Vehicles* 9(1): 3-14, zie <https://doi.org/10.1177/1756829316681868>.
- Kluge et al. (2017), *Factors influencing European passenger demand for air transport*, paper presented at the Air Transport Research Society World Conference 2017.
- Koopmans et al. (2018), 'De maatschappelijke kosten en baten van een luchthaven in zee moeten in beeld komen', *Financieel Dagblad*, 28 april 2018.
- Koster et al. (2010), *Travel time variability and airport accessibility*, Tinbergen Institute Discussion Paper 2010-061-3.
- Kouwenhoven (2014), *Ontwikkeling regionale luchthavens in alternatieve scenario's. Verkennende analyse*, Significance.
- Kouwenhoven & Grebe (2018), *Effecten van een vliegbelasting op het vliegverkeer. Kwantitatieve doorrekening*, Significance.
- Lange, de, Gordijn, Derriks & Gelauff (2017), *Drones in het personen- en goederenvervoer* Den Haag: KiM & Ministerie van IenW.
- Lieshout et al. (2015), *Economisch belang van de hubfunctie van Schiphol*, SEO-rapport 2015-22.
- Lieshout et al. (2016), 'The competitive landscape of air transport in Europe', *Journal of Transport Geography* 50: 68-82.
- Lieshout & Boonekamp (2017), *Economisch belang marktsegmenten Schiphol*, SEO.
- Luppini & So (2016), 'A technoethical review of commercial drone use in the context of governance, ethics, and privacy', *Technology in Society* 46: 109-119, zie: [doi:https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2016.03.003](https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2016.03.003).

- Louter & van Eikeren (2008), *Ontwikkeling vestigingsplaatsfunctie Schiphol tot 2040. De vier WLO-scenario's gekwantificeerd*.
- M3 (2017), *Airline split operations*.
- M3 (2018), *To what extent is a traffic distribution rule (TDR) Schiphol-Lelystad practicable and feasible from the perspective of the airlines concerned?*
- Manshanden & Bus (2018), *Second opinion maatschappelijke kosten-batenanalyse ontwikkeling Rotterdam The Hague Airport*.
- Murray & Young (2017), *Air departure tax: who benefits?*, Fellow Travellers (fellowtravellers.org).
- Oort, van, et al. (2010), *Clusters en netwerkeconomie in de Noordvleugel van de Randstad*.
- Oxford Economics & York Aviation (2013), *The economic value of international connectivity. A report for Transport for London*.
- PBL (2011), *De concurrentiepositie van Nederlandse regio's. Regionaal-economische samenhang in Europa*, Den Haag: PBL.
- PBL (2012), *De internationale concurrentiepositie van de topsectoren*, Den Haag: PBL.
- Peeters (2017), *Tourism's impact on climate change and its mitigation challenges; How can tourism become 'climatically sustainable?'*, proefschrift Technische Universiteit Delft.
- PwC (2017), *The economic impact of air taxes in Europe. European Economic Area*, PricewaterhouseCoopers.
- Rao, Gopi & Maione (2016), 'The societal impact of commercial drones', *Technology in Society* 45: 83-90, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2016.02.009>.
- Raspe, van den Berge & de Graaff (2017), *Stedelijke regio's als motoren van economische groei. Wat kan beleid doen?*, Den Haag: PBL.
- Redondi et al. (2012), 'De-hubbing of airports and their recovery patterns', *Journal of Air Transport Management* 18: 1-4.
- Rienstra, Manshanden & Koops (2015), *Multiregionale economische effecten van de mainport Schiphol*, Rienstra advies en NEO.
- Rli (2016), *Mainports voorbij*, Den Haag: Rli.
- Romijn & Renes (2013), *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*, Den Haag: CPB en PBL.
- SEO (2018), *Monitor Netwerkkwaliteit en Staatsgaranties 2009-2017*, SEO.
- Sieg (2009), *Grandfather rights in the market for airport slots*, Economics Department Working Paper Series, No 4, Institut für Volkswirtschaftslehre, Braunschweig.
- Steer Davies Gleave (2016), *Flying high, How competitive is Air Passenger Duty*, Report 22910401
- Syconomy (2016), *Toets economische onderbouwing Luchthavenbesluit Maastricht Aachen Airport*.
- Talen (2016), *A new trend in air travel. Exploratory research into self-help hubbing and its consequences*, MSc thesis TU Delft.
- Thelle et al. (2018), 'Airport competition in Europe', *Journal of Air Transport Management* 67: 232-240.
- Tijm et al. (2018), *How large are road traffic externalities in the city. The highway tunneling in Maastricht, the Netherlands*, CPB Discussion Paper 379.

- UK Government (2013), *Aviation Policy Framework*.
- Vijver, van de (2014), *Exploring the mutual relationship between air passenger transport and economic development. A quantitative study at various spatial scales*, proefschrift.
- Wit, de & Zuidberg (2012), 'The growth limits of the Low Cost Carrier Model', *Journal of Air Transport Management* 21: 17-23.
- Wit, de, & Burghouwt (2017), *Hoe moet de steeds schaarsere capaciteit van Schiphol worden verdeeld*, TVW.
- Zuidberg en Burghouwt (2010), Luchthaventarieven en de concurrentiepositie van Schiphol, *ESB* 95(4582), 2 april 2010: 214-216
- Zuidberg & van Spijker (2016), *Benchmark luchthavengelden en overheidsheffingen voor de jaren 2003, 2008, 2013, 2015 en 2016*, SEO-rapport 2016-104.

Emissies en technologie (hoofdstuk 7)

- Albalade, Bel & Fageda (2015), 'Competition and cooperation between high-speed rail and air transportation services in Europe', *Journal of Transport Geography* 42: 166-174, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.07.003>.
- Becken & Mackey (2017), 'What role for offsetting aviation greenhouse gas emissions in a deep-cut carbon world?', *Journal of Air Transport Management* 63: 71-83, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.05.009>.
- Brasseur, et al. (2015), 'Impact of aviation on climate: FAAs Aviation Climate Change Research Initiative (ACCRI) Phase II', *Bull. Amer. Met. Soc.* 91: 461, zie: doi:10.1175/2009BAMS2850.1, 2015.
- Cames, Harthan, Füssler, Lazarus, Lee, Erickson & Spalding-Fecher (2016), *How additional is the Clean Development Mechanism? Analysis of the application of current tools and proposed alternatives*, CLIMA.B.3/SERI2013/0026r, Berlin.
- CBS-Statline (2018), *Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied. Wegverkeer*, Den Haag/Heerlen: CBS.
- CE Delft (2017a), *Overheidsmaatregelen biokerosine*, Delft: CE Delft.
- CE Delft (2017b), *Towards addressing aviations non-CO₂ climate impacts*, Delft: CE Delft.
- CE Delft (2018), *Economische en duurzaamheidseffecten vliegbelasting*, Delft: CE Delft.
- CE Delft & VU (2014), *Externe en infrastructuurkosten. Een overzicht voor Nederland in 2010*, Delft/Amsterdam: CE Delft & VU.
- Chai, Zhou, Zhou, Wang, Zhang & Liu (2018), 'Analysis on shock effect of China's high-speed railway on aviation transport', *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 108: 35-44, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.12.001>.
- Chester & Horvath (2009), 'Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains', *Environmental Research Letters* 4(2).
- CLO (2018), *Emissies naar lucht door verkeer en vervoer, 2016*, Indicator update: 5 april 2018, Den Haag/Bilthoven/Wageningen: CBS, PBL, RIVM & WUR, zie: www.clo.nl.
- Coeverden, van (2017), *De teloorgang van de nachttrei*, bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk op 23 en 24 november 2017, Gent.
- CPB & PBL (2015), *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Cahier mobiliteit*, Den Haag: PBL & CPB.

- CO₂-emissiefactoren (2018), zie <https://www.co2emissiefactoren.nl/liijst-emissiefactoren/>, geraadpleegd oktober 2018.
- D'Alfonso, Jiang & Bracaglia (2015), 'Would competition between air transport and high-speed rail benefit environment and social welfare?', *Transportation Research Part B: Methodological* 74: 118-137, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.01.007>.
- DOT (2016), *Hyperloop commercial feasibility analysis. High level overview*, US Department of Transportation.
- European Parliament (EP) (2015), *Emission reduction targets for international aviation and shipping*, IP/A/ENVI/2015-11, Directorate General for Internal Policies, Policy Department A: Economic and Scientific Policy.
- Eurocontrol (2018), *European aviation in 2040. Challenges of growth*.
- Faber, Koopman, Korteland & Smit (2014), *Kennisoverzicht luchtvaart en klimaat*, Delft: CE Delft.
- Federici, Ulgiati & Basosi (2009), 'Air versus terrestrial transport modalities. An energy and environmental comparison', *Energy* 34(10): 1493-1503, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.06.038>.
- Gama (2017), 'Own and cross-price elasticities of demand for domestic flights and intercity trains in the U.S', *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 54: 360-371, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.010>.
- GoEuro (2018), zie: <https://www.goeuro.nl/bussen/>, geraadpleegd oktober 2018.
- Gordijn (2015), *Determinanten van vlieggeneigdheid en luchthavenkeuze*, Den Haag: Ministerie van IenM & KIM.
- Grewe, et al. (2017), 'Feasibility of climate-optimized air traffic routing for trans-Atlantic flights', *Environmental Research Letters* 12: 1-9.
- IATA (2013), *Technology Roadmap*, zie: <https://www.iata.org/publications/pages/technology-roadmap.aspx>.
- IATA (2017), *Technology Roadmap Fact Sheet*, gedownload in juli 2017 vanaf <https://www.iata.org/publications/pages/technology-roadmap.aspx>.
- IATA (2018), *Technology Roadmap Fact Sheet*, zie: <https://www.iata.org/publications/pages/technology-roadmap.aspx>.
- ICAO (2016), *On board a sustainable future. Environmental report 2016: Aviation and climate change*, Produced by the Environment Branch of the International Civil Aviation Organization (ICAO).
- ICAO (2018), *Carbon Emissions Calculator*, zie: <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>, geraadpleegd oktober 2018.
- ICCT (2015), *Fuel efficiency trends for new commercial jet aircraft: 1960 to 2014*, International Council on Clean Transportation.
- IPCC (2018), *Global warming of 1.5°C. Summary for policymakers*.
- IenW (2018), *Kamerbrief 'Onderzoek naar de werkelijke prijs van vliegtickets'*, kenmerk 236782.
- Jiang & Zhang (2014), 'Effects of high-speed rail and airline cooperation under hub airport capacity constraint', *Transportation Research Part B: Methodological* 60: 33-49, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.trb.2013.12.002>.

- Jong, de, Hoefnagels, van Stralen, Londo, Slade, Faaij & Junginger (2017), *Renewable jet fuel in the European Union. Scenarios and preconditions for renewable jet fuel deployment towards 2030*, Utrecht: Copernicus Institute of Sustainable Development, Faculty of Geosciences, Utrecht University.
- Jong, de, Stralen, Londo, Hoefnagels, Faaij & Junginger (2018), Renewable jet fuel supply scenarios in the European Union in 2021–2030 in the context of proposed biofuel policy and competing biomass demand, *GCB Bioenergy*, 0(0), zie: doi:10.1111/gcbb.12525.
- Koetse & Rietveld (2007), 'Gevolgen van de klimaatverandering voor de transportsector. Een overzicht van literatuur', *Tijdschrift Vervoerswetenschap* 43.
- Lee, et al. (2009), 'Aviation and global climate change in the 21st century', *Atmospheric Environment* 43: 3520–3537, zie: doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.04.024.
- Lee et al. (2010), 'Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation', *Atmospheric Environment* 44: 4678–4734.
- Love, Soares & Püempel (2010), 'Climate change, climate variability and transportation', *Procedia Environmental Sciences* 1: 130-145, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.09.010>.
- Merkert, Van der Voorde & De Wit (2017), 'Editorial: Making or breaking - Key success factors in the air cargo market', *Journal of Air Transport Management* 61: 1-5.
- MTR (2016), *The unbelievable reality of the impossible hyperloop*, MIT Technology Review, zie: <https://www.technologyreview.com/s/601417/the-unbelievable-reality-of-the-impossible-Hyperloop/>.
- NLR (2012), *Duurzame luchtvaart 2050 - Een quick scan*, Amsterdam: NLR.
- NLR (2018), *Verduurzaming van de luchtvaart en de mogelijkheden van waterstof*, factsheet voor rondetafelgesprek luchtvaart in de Tweede Kamer op 15 november 2018.
- NLR (te verschijnen), *Kennis ten behoeve van de Luchtvaartnota*, NLR-CR-2018-407.
- NS Website (2018), zie: <https://www.ns.nl/over-ns/duurzaamheid/energie/groenestroom.html>. geraadpleegd in oktober 2018.
- Peeters (2016), *Mitigation aviation's long term impact on climate change*, paper voor de Greener Aviation conference: Achievements and perspectives in Brussel.
- Peeters, Higham, Kutzner, Cohen & Gössling (2016), 'Are technology myths stalling aviation climate policy?', *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 44: 30-42, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.02.004>.
- Peeters & Melkert (2018), *Factsheet Toekomst verduurzaming luchtvaart*, Parlement en Wetenschap; factsheet als reactie op parlementaire kennisvraag.
- Peeters & Middel (2007), 'Historical and future development of air transport fuel efficiency', in: Sausen et al. (eds.), *Proceedings of an international conference on transport, atmosphere and climate (TAC)*, pp. 42-47, Oxford.
- RIVM (2015), *Nader verkennend onderzoek ultrafijnstof rond Schiphol*, rapport 2015-0110, Bilthoven: RIVM.
- RHDHV (Royal HaskoningDHV) (2018), *Vergelijk vliegen met treinreizen voor korte afstanden... en hoe we vaker voor de trein kunnen kiezen*.
- Ros & Daniëls (2017), *Verkenning van klimaatdoelen*, Den Haag: PBL Planbureau voor de Leefomgeving.
- Savelberg & de Lange (2018), *Substitutiemogelijkheden van luchtvaart naar spoor*, Den Haag: KIM/Ministerie van IenW.

- Scheelhaase, Dahlmann, Jung, Keimel, Nieße, Sausen, Schaefer & Wolters (2016), 'How to best address aviation's full climate impact from an economic policy point of view? – Main results from AviClim research project', *Transportation Research Part D* 45:112–125.
- Scheelhaase, Maertens, Grimme & Jung (2018), 'EU ETS versus CORSIA – A critical assessment of two approaches to limit air transport's CO₂ emissions by market-based measures', *Journal of Air Transport Management* 67: 55–62.
- Scheelhaase (2018), *Limiting air transport's full climate impact in the European Union - General approach, cost and competitive impacts*, presentatie op de European Transport Conference, Dublin, oktober 2018.
- Schmidt & Weindorf (2016), *Power-to-liquids. Potentials and perspectives for the future supply of renewable aviation fuel*, Dessau-Roßlau.
- Schmidt, Batteiger, Roth, Weindorf & Raksha (2018), 'Power-to-liquids as renewable fuel option for aviation: A review', *Chemie Ingenieur Technik* 90(1-2): 127-140, zie: doi:10.1002/cite.201700129.
- Terwel & Kerkhoven (2017), *Climate-neutral aviation with current engine technology: The take-off of synthetic kerosene production in the Netherlands*.
- Tillema, Gelauff, van der Waard, Baveling & Moorman (2017), *Paden naar een zelfrijdende toekomst*, Den Haag: KiM/Ministerie van IenW.
- Tuchschnid (2009), *Carbon footprint of high-speed railway infrastructure (pre-study). Methodology and application of high speed railway operation of European railways*, Zürich.
- TNO (2017), *Main report: Hyperloop in the Netherlands*, TNO-rapport R10715
- Uitbeijerse & Hilbers (2018), *Ontwikkeling luchtvaart en CO₂-emissies in Nederland. Factsheet voor Omgevingsraad Schiphol*, Den Haag: PBL.
- Van Velthoven (2013), *Luchtvaart en klimaatverandering*, presentatie bij ministerie van I&M, sept 2013. KNMI.
- Vuuren, van, Stehfest, Gernaat, Doelman, van den Berg, Harmsen & Tabeau (2017), 'Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm', *Global Environmental Change* 42: 237-250, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.008>
- Williams & Joshi (2013), 'Intensification of winter transatlantic aviation turbulence in response to climate change', *Nature Climate Change* 3: 644, zie: doi:10.1038/nclimate1866.
- Zhang, Graham & Wong (2018), 'Quantifying the substitutability and complementarity between high-speed rail and air transport', *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 118: 191-215, zie: doi:<https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.004>.
- Zijlstra & Huibrechtse (2018), *Factsheet De Vliegende Hollander. Hoeveel Nederlanders vliegen en de keuzes die ze maken bij een vliegtuig*, Den Haag: KiM/Ministerie van IenW.

Geluid, wonen en vliegen (hoofdstuk 8)

- AAS (2017), *Gebruiksprognose 2018*, Amsterdam Airport Schiphol.
- AT Osborne (2013), *Beleidsbeoordeling GIS-3. Eindrapportage*, Baarn: AT Osborne Consultants.
- BAS (2017), *Jaarrapportage 2016*, Bewoners Aanspreekpunt Schiphol.

- Berkhout (2003), *Dossier Schiphol. Relas van een falend democratisch proces*, Den Haag.
- Berkhout (2018), *Schiphol, een visie op de toekomst. Zoektocht naar balans tussen welvaart en welzijn*, Den Haag: Birch Wood R & D.
- Boucein, Christiaanse, Kasioumi & Salewski (2017), *Noise landscape. A spatial exploration of airports and cities*, Rotterdam: nai010 publishers.
- Brugelmans (2005), *De relatie tussen vliegtuiggeluid en zelfgerapporteerde ernstige hinder en ernstige slaapverstoring in Nederland. Uitkomst van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol*, Bilthoven: RIVM.
- Brugelmans, van Wiechen, van Kamp, Heisterkamp & Houthuijs (2004), *Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002. Tussenrapportage Monitoring Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol*, RIVM-rapport 630100001/2004, Bilthoven: RIVM.
- Brugelmans et al. (2015), *Relatie vliegverkeergeluid en geluidhinder rondom vliegveld Eindhoven. Blootstelling-responsrelatie*, RIVM-briefrapport 2015-0108, Bilthoven: RIVM.
- CLO (2017), *Klachten vliegtuig geluidhinder Schiphol 2000–2016*, Compendium voor de Leefomgeving, zie: www.clo.nl/indicatoren/nl0338.
- CLO (2018), *Ontwikkeling woningen in beperkingengebieden Luchthavenindelingbesluit Schiphol, 2004-2016*, Compendium voor de Leefomgeving, zie: www.clo.nl/indicatoren/nl2160.
- CROL (2009), *Mainport 2.0*, Advies van de Commissie Ruimtelijke Ontwikkeling Luchthavens.
- ECAC (2016) *ECAC.CEAC Doc 29. Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports* (Fourth edition, adopted by DGCA/147 on 7 December 2016).
- EU (2002), *Richtlijn 2002/49/EG van het Europees parlement en de Raad van 25 juni 2002 inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai*.
- Franssen, Staatsen, Vrijkotte & Lebrecht (1996), *Klachten over vliegtuiglawaai in kaart*, Bilthoven: RIVM..
- Kroesen (2011), *Human response to aircraft noise*, proefschrift Technische Universiteit Delft.
- Lugten (2018), *Urban development near airports*, presentatie bij Brainstormsessie Wonen/Vliegen (IenW) op 20 september 2018.
- Luchthaven Schiphol (2017), *Evaluatie Gebruiksprognose 2016*.
- MIR (2018), *Monitor Infrastructuur en Ruimte 2018, Zicht op de effecten van de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte*, Den Haag: PBL.
- MNP (2005), *Het milieu rond Schiphol, 1990–2010*, Bilthoven: MNP.
- Natuur & Milieu Noord-Holland (2018), *Werkelijke geluidhinder Schiphol. Hinderbelevingsonderzoek versus het berekenen van geluidsoverlast*.
- NLR (2014), *Het meten van vliegtuiggeluid. Wat is mogelijk en wat doen we ermee?*, Rapportnummer NLR-TP-2014-037, Amsterdam: Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum.
- NLR (2018), *Trendvalidatie van Doc.29 berekeningen*, Rapportnummer NLR-CR-2017-371, Amsterdam: Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum.
- PBL (2018), *Tellingen van het PBL op basis van geluidcontouren van het NLR en het WoON-bestand van het CBS*, Den Haag: PBL.
- RIVM & UvA (2017), *Kennissessie gezondheidseffecten van geluidhinder*, Omgevingsraad Schiphol, 3 juli 2017.

Rli (2013), *Sturen op samenhang. Governance in de metropolitane regio Schiphol/Amsterdam*, Den Haag: Rli.

WHO (2018), Environmental Noise Guidelines for the European Region, World Health Organisation, Regional Office for Europe, zie: <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>.

Governance (hoofdstuk 9)

Berkhout (2003), *Dossier Schiphol. Relas van een falend democratisch proces*, Den Haag.

CROL (2009), *Mainport 2.0. Advies van de Commissie Ruimtelijke ontwikkeling Luchthavens*.

IenW (2018), *Media-stakeholdersanalyse Luchtvaartnota 2020-2050*, periode 21 december 2017-7 juli 2018, Den Haag: Ministerie van IenW.

Hajer (2011), *De energieke samenleving. Op zoek naar een sturingsfilosofie voor een schone economie*, Den Haag: PBL.

NSOB & PBL (2014), *Leren door doen. Overheidsparticipatie in een energieke samenleving*, Den Haag: NSOB & PBL.

Rli (2013), *Sturen op samenhang. Governance in de metropolitane regio Schiphol/Amsterdam*, Den Haag: Rli.

RMNO (2009), *Duurzame ontwikkeling en Schiphol. Naar een creatieve confrontatie*, RMNO-advies nr. A.14, Raad voor Ruimtelijk, Milieu- en Natuuronderzoek (RMNO).

Weggeman & van Buuren (2005), 'Forum-shoppen in de beleidsvorming', *Beleids-wetenschap* 19(2): 24-38.