Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2018-407-Hzv-1 | januari 2019

Kennis ten behoeve van de Luchtvaartnota

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

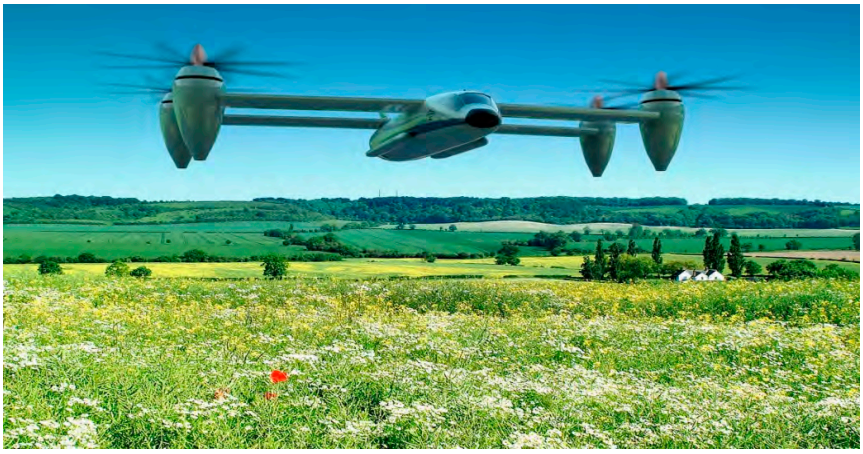
Het NLR is een toonaangevend, mondiaal opererend onderzoekscentrum voor de lucht- en ruimtevaart. Met zijn multidisciplinaire expertise en ongeëvenaarde onderzoeksfaciliteiten, levert NLR innovatieve, integrale oplossingen voor complexe uitdagingen in de aerospace sector.

De werkzaamheden van het NLR beslaan het volledige spectrum van Research Development Test & Evaluation (RDT&E). Met zijn kennis en faciliteiten kunnen bedrijven terecht bij het NLR voor validatie, verificatie, kwalificatie, simulatie en evaluatie. Zo overbrugt het NLR de kloof tussen onderzoek en toepassing in de praktijk. Het NLR werkt zowel voor overheid als industrie in binnen- en buitenland. Het NLR staat voor praktische en innovatieve oplossingen, technische expertise en een lange termijn ontwerpvisie. Hierdoor vindt NLR's cutting edge technology zijn weg naar succesvolle lucht- en ruimtevaartprogramma's van OEM's zoals Airbus, Embraer en Pilatus. Het NLR draagt bij aan (defensie)programma's zoals ESA's IXV re-entry voertuig, de F-35, de Apache-helikopter en Europese programma's als SESAR en Clean Sky 2.
Opgericht in 1919 en met 600 betrokken medewerkers, realiseerde NLR in 2017 een omzet van 76 miljoen euro. 81% hiervan is afkomstig uit contractonderzoek, het overige betreft een overheidsbijdrage.

Voor meer informatie bezoek: **www.nlr.nl**

Dedicated to innovation in aerospace

Kennis ten behoeve van de Luchtvaartnota



Probleemstelling

In het regeerakkoord staat dat er een nieuwe luchtvaartnota zal worden opgesteld. Deze luchtvaartnota zal ingaan op luchtvaart gerelateerde ontwikkelingen die naar verwachting relevant zijn in de periode van 2020 tot 2050. Vanuit het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is NLR gevraagd om bij te dragen aan de kennisbasis die van belang is voor het opstellen van de nieuwe luchtvaartnota.

Beschrijving van de werkzaamheden

Het NLR heeft op basis van een aantal door het ministerie gestelde kennisvragen een scan uitgevoerd naar de ontwikkelingen in de luchtvaart die van belang zijn voor de volgende onderwerpen:
- Klimaat
- Emissies (geluid en luchtverontreiniging)
- Veiligheid
- Governance (community engagement en participatie)

De resultaten van de scan zijn vervolgens vastgelegd in voorliggend rapport.

RAPPORTNUMMER
NLR-CR-2018-407-Hzv-1

AUTEUR(S)
J. Derei
R.H. Hogenhuis
A. Hoolhorst
H.W. Veerbeek
L.J.P. Speijker

RUBRICERING RAPPORT
ONGERUBRICEERD

DATUM
januari 2019

KENNISGEBIED(EN)
Vliegtuiggeluidseffecten op de omgeving
Luchtverontreiniging door de luchtvaart
Vliegoperaties
Luchtvaartveiligheid
Luchtverkeersmanagement (ATM) en luchthavenoperaties

TREFWOORD(EN)
Luchtvaartnota
Klimaat
Veiligheid
Kennisoverzicht

Resultaten

In het rapport is de focus gelegd op een beschrijving van de verwachte technologische ontwikkelingen in de luchtvaart tot het jaar 2050 en de impact van deze technologieën op klimaat, emissies en veiligheid. Daarnaast geeft het rapport een aantal voorbeelden van community engagement en participatie.

Het jaar 2050 ligt daarbij dusdanig ver in de toekomst dat er een groot aantal nieuwe technologieën mogelijk is, waarbij het echter voor sommige technologieën moeilijk is aan te geven of en wanneer deze precies zullen worden geïmplementeerd. Vanwege het groot aantal mogelijke technologieën en concept vliegtuig- en motorontwerpen en de beschikbare tijd voor het schrijven van dit rapport is er voor gekozen selectief te zijn in de te beschrijven technologieën en ontwikkelingen en daarbij niet te diep in technische details te treden.

Toepasbaarheid

De resultaten van de door NLR uitgevoerde kennisscan zullen worden gebruikt als basis voor de luchtvaartnota 2020-2050.

NLR
Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam
p) +31 88 511 3113
e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl

Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2018-407-Hzv-1 | januari 2019

Kennis ten behoeve van de Luchtvaartnota

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

AUTEUR(S):

J. Derei	NLR
R.H. Hogenhuis	NLR
A. Hoolhorst	NLR
H.W. Veerbeek	NLR
L.J.P. Speijker	NLR

NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de eigenaar.

OPDRACHTGEVER	**Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat**
CONTRACTNUMMER	**-----**
EIGENAAR	**NLR**
NLR DIVISIE	**Aerospace Operations**
VERSPREIDING	**Beperkt**
RUBRICERING TITEL	**ONGERUBRICEERD**

GOEDGEKEURD DOOR:		
AUTEUR	**REVIEWER**	**BEHERENDE AFDELING**
J. Derei R.H. Hogenhuis A. Hoolhorst H.W. Veerbeek L.J.P. Speijker	J. Middel M. Everdij	P.L.J. Eijssen
DATUM 16 01 19	DATUM 16 01 19	DATUM 16 01 19

Samenvatting

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het NLR gevraagd een beeld te schetsen van de verwachte ontwikkelingen in de luchtvaart die de komende drie decennia invloed zullen hebben op klimaat, geluid, luchtverontreiniging en veiligheid. Deze schets is bedoeld als bijdrage aan de kennisbasis die het ministerie opbouwt voor het opstellen van de nieuwe luchtvaartnota. Klimaat, geluid, geluidhinder, luchtverontreiniging en veiligheid zijn onderwerpen die de kwaliteit van leven van omwonenden rondom luchthavens mede bepalen. Vanwege het grote aantal mogelijke ontwikkelingen en de beschikbare tijd voor het schrijven van dit rapport is er voor gekozen selectief te zijn in de te beschrijven technologieën en mogelijke vliegtuig- en motorontwerpen en daarbij niet te diep in technische details te treden.

Uit het rapport komt naar voren dat de verwachting is dat de luchtvaart wereldwijd blijft groeien. De verwachte wereldwijde groei zal zonder extra maatregelen leiden tot een toename in CO2 emissies. De visie is dat op de langere termijn de luchtvaart klimaatneutraal zal zijn door nieuwe technische ontwikkelingen en alternatieve brandstoffen. Hierbij is er echter nog geen zicht op succes van de benodigde technische ontwikkelingen.

Ook in internationale gremia zijn er ambities uitgesproken (Flightpath2050, Parijsakkoord etc.) om juist een afname in gevolgen van genoemde groei te bewerkstelligen. Hoe groot de benodigde inspanning is om de verschillende technologieën gebruiksklaar te maken en te implementeren is afhankelijk van de technologie. Zo zullen de minder complexe technologieën als elektrisch taxiën en CDA-operaties eerder kunnen worden geïmplementeerd dan bijvoorbeeld elektrisch vliegen. Of de hierboven genoemde ambities kunnen worden gerealiseerd binnen nu en 2050 is nog niet duidelijk en afhankelijk van een groot aantal ontwikkelingen dat nog moet plaatsvinden en een onzekere uitkomst heeft.

In welke mate de groei van de luchtvaart in Nederland zal doorzetten is onder andere afhankelijk van de wereldwijde groei en overheidsbeleid. De verwachte vlootvernieuwing kan mogelijk niet alle milieu effecten door toename van het aantallen vluchten compenseren. Dit is afhankelijk van de beschouwde luchthaven en het beschouwde scenario voor wat betreft de aantallen vliegtuigbewegingen, de vliegtuigtypen, de motortypen waarmee de vliegtuigen worden uitgerust en bijvoorbeeld de vliegprocedures.

Wat betreft geluid is onderzoek gedaan naar de toepassing van geluidmetingen, al dan niet in combinatie met berekeningen. Naast onderzoek naar het vaststellen van de hoeveelheid geluid die rondom vliegvelden wordt geproduceerd, wordt ook getracht meer inzicht te krijgen in het effect dat geluid heeft op mensen in de omgeving van vliegvelden. Zo neemt NLR deel aan het Europese ANIMA project. Dit project heeft tot doel om de meest geschikte methoden voor het verlagen van de hinder in gemeenschappen nabij vliegvelden te identificeren. Hierbij wordt getracht om meer begrip te krijgen van verschillende niet akoestische factoren die geluidhinder beïnvloeden en om de kwaliteit van leven van gemeenschappen nabij vliegvelden te verbeteren.

Vliegtuigmotoren worden door de jaren heen steeds zuiniger. De trend is dat ze ook steeds schoner worden. Daarbij is er een wisselwerking tussen de uitstoot van stikstofoxiden (NO_x) en het brandstofverbruik. De certificatie regelgeving laat ruimte voor het laten toenemen van de NO_x emissies als gevolg van een verhoging van de motor drukverhouding die op zijn beurt weer bijdraagt aan een verlaging van het brandstofverbruik. Een ander aandachtspunt is de uitstoot van ultrafijnstof. Aangenomen wordt dat het inademen van ultrafijnstof mogelijk nog schadelijker is voor de gezondheid dan het inademen van de grovere PM_{10} en $PM_{2,5}$ fijnstof deeltjes. In dit licht doet het RIVM onderzoek

naar ultrafijnstof rond de luchthaven Schiphol waarbij wordt gekeken naar de blootstelling van omwonenden aan ultrafijnstof en of en in welke mate dit effect heeft op hun gezondheid.

De veiligheid van de luchtvaart vertoont wereldwijd de laatste jaren een trend van verbetering. EASA geeft aan dat de luchtvaartveiligheid, met 2 erg goede jaren (2010 en 2013), een vrijwel constant ongevalsrisico over de afgelopen 10 jaar vertoont. Om verder inzicht te krijgen in de veiligheidsrisico's heeft het NLR verschillende studies uitgevoerd. Zo is bijvoorbeeld een analyse gemaakt van ongevallen en bijna ongevallen in het kader van het Europese onderzoeksprogramma Future Sky Safety. Het rapport gaat nader in op de technologische ontwikkelingen die de veiligheid beïnvloeden, de internationale trendmatige veiligheidsontwikkelingen en de nieuwe veiligheidsrisico's die ontstaan door verdergaande digitalisering en automatisering. Ook de zogenaamde externe veiligheid is in deze van belang. Het gaat hierbij om de omwonenden van luchthavens en stedelijke gebieden, en onder andere over de mogelijke gevolgen van de complexiteit van luchthavens en de gevaren die het gebruik van drones en meer autonome luchtvaart in stedelijke gebieden met zich meebrengen.

In het rapport is er naast de technologische ontwikkelingen ook ingegaan op ervaringen van het NLR op het vlak van community engagement en participatie. NLR hecht veel belang aan het vergroten van het inzicht in wat een goed participatietraject met de omgeving van een luchthaven kenmerkt en zoekt een betere wetenschappelijke onderbouwing hiervoor. Het NLR is daarom zowel actief in Europese onderzoeksprojecten, nationale innovatietrajecten en uitvoerend in participatietrajecten in de praktijk. Uit de genoemde ervaringen zijn een aantal lessen te trekken welke kunnen worden meegenomen in toekomstige participatietrajecten. Het betrekken van omwonenden vanaf de beginfase van het beslistraject, het laten meebeslissen over de koers van het onderzoek en het beschikbaar stellen van begrijpelijke informatie vormen hierbij de basis voor een constructieve dialoog. Het luchtvaartdebat wordt echter dikwijls gedomineerd door de sector zelf en een kleine groep, actieve tegenstanders. Het vraagt extra inzet om ook omwonenden die behoren tot de categorie van de "zwijgende meerderheid" te betrekken. Het hebben van een referentiescenario kan omwonenden helpen de impact van een nieuwe situatie in te schatten. In algemene zin geldt ten slotte dat het communicatiemiddel afgestemd moet zijn op (de grootte van) het publiek. Zo is gebleken dat het hoorbaar maken van de te verwachten geluidsniveaus rondom nieuwe situaties met geluidshinder in een grote, volle, zaal niet goed werkt. Hier is een een-op-een weergave/beleving beter.

Inhoudsopgave

Afkortingen 6

1 Inleiding 9

2 Kwaliteit van leven 10

3 Klimaat 13

3.1 Klimaatimpact van de luchtvaart 13

3.1.1 CO_2 bijdrage Nederlandse luchtvaart 13

3.1.2 CO_2 standaard voor vliegtuigen 15

3.2 Impact op de luchtvaart 15

3.3 Ontwikkelingen 15

3.3.1 Alternatieve brandstoffen 16

3.3.2 Nieuwe technologieën 19

3.3.3 Optimalisatie operatie 24

4 Emissies – geluid en luchtverontreiniging 27

4.1 Luchtvaartgeluid 27

4.1.1 Geluid door de tijd 27

4.1.2 Verwachte ontwikkelingen met betrekking tot vliegtuiggeluid 28

4.2 Luchtverontreiniging door de luchtvaart 30

4.2.1 Effect emissies op omgeving 31

4.2.2 Technologische ontwikkelingen 32

4.2.3 Ontwikkeling luchtkwaliteit rondom luchthavens 35

4.2.4 Leemten in kennis 36

5 Veiligheid 37

5.1 Inleiding 37

5.2 Technologische ontwikkelingen 40

5.3 Internationale veiligheidsontwikkelingen 42

5.4 Nieuwe veiligheidsrisico’s door digitalisering en automatisering 45

6 Participatie 46

6.1 Masterclass omwonenden van luchthaven Eindhoven 46

6.2 Meting van hinderbeleving 47

6.3 Gebruik VR (VCNS) of andere technologie/technieken 48

6.4 NLR bijdrage in voorlichtingen/inspraakavonden/etc. 49

6.5 Referenties naar community engagement en participatie in andere landen 50

6.6 Conclusies 50

7 Referenties 52

Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
ACARE	Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe
ACI	Airports Council International
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance- Broadcast
ALoSP	Acceptable Level of Safety Performance
AMAN	Arrival Management
ANIMA	Aviation Noise Impact Management through Novel Approaches
APU	Auxiliary Power Unit
ASAS	Airborne Separation Assistance Systems
ASCOS	Aviation Safety and Certification of new Operations and Systems
ATM	Air Traffic Management
BLI	Boundary layer ingestion
BPR	Bypass ratio
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight
CANSO	Civil Air Navigation Services Organization
CATS	Causal model for Air Transport Safety
CDA	Continuous descent approach
CDO	Continuous Descent Operations
CFIT	Controlled Flight Into Terrain
CH_4	Methaan
Clean Sky 2	European research programme
CO	Koolstofmonoxide
CO_2	Koolstofdioxide
CTL	Coal to liquid
Doc 29	Rekenmethode voor geluid welke is vastgelegd in Europese richtlijnen
E-AMAN	Extended AMAN
EASA	European Aviation Safety Agency
ECAC	European Civil Aviation Conference
ENOVAL	EU funded aero engine (ENgine mOdule VALidators)
EPAS	European Plan for Aviation Safety
FAA	Federal Aviation Administration
FEGP	Fixed Electrical Ground Power
GBIM	Ground based interval management
GPU	Ground power unit
GSE	Ground service equipment
GTF	Geared turbofan

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
GTL	Gas to liquid
H_2O	Water
HC	Koolwaterstof
HEFA	Hydro-processed Esters and Fatty Acids
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
IM	Interval Management
iSTARS	integrated Safety Trend Analysis and Reporting System
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KvL	Kwaliteit van Leven
LVB	Luchthavenverkeersbesluit
MER	MilieuEffectRapport
NADP	Noise Abatement Departure Procedure
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NH_3	Ammoniak
NLR	Netherlands Aerospace Centre
NNHS	NIeuwe Normen- en Handhavingsstelsel (voor luchthaven Schiphol)
NO_2	Stikstofdioxode
NO_x	Stikstofoxiden
O_3	Ozon
OPR	Overall pressure ratio
PAS	Programma Aanpak Stikstof
PBN	Performance Based Navigation
PCA	Preconditioned air
PM_{10}	Fijnstof (particulate matter), deeltjes met aerodynamische diameter kleiner dan 10 µm
$PM_{2,5}$	Fijnstof (particulate matter), deeltjes met aerodynamische diameter kleiner dan 2,5 µm
PTL	Power to liquid
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems
SESAR	Single European Sky ATM Research
SMM	Safety Management Manual
SN	Smoke Number
SO_2	Zwaveldioxide
SRIA	Strategic Research and Innovation
SSPs	State Safety Programs

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
STL	Sun to liquid
TRL	Technology readyness level
UFP	Ultrafijnstof (Ultra Fine Particles)
VCNS	Virtual Community Noise Simulator
WHO	Wereld gezondheidsorganisatie
WMO	World Meteorological Organization

1 Inleiding

Ter voorbereiding van de nieuw op te stellen luchtvaartnota 2020-2050 heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) gevraagd om een kennisbasis voor de luchtvaartnota op te stellen. Op basis van een werksessie, waarbij IenW en verschillende kennisinstellingen aanwezig waren, heeft IenW vragen opgesteld ten aanzien van een aantal onderwerpen die verband houden met de luchtvaart. Deze vragen zijn door IenW verdeeld over de kennisinstellingen. De kennisvragen die aan het NLR zijn gesteld zijn de volgende:

Klimaat

- Welke technologische ontwikkelingen zijn van invloed op de effecten die de luchtvaart gaat hebben op het klimaat?
- Wat zijn de internationale trendmatige ontwikkelingen ten aanzien van vliegtuigemissies?
- Hoe snel gaat de vlootvernieuwing en waarvan is dat afhankelijk?
- Welke mogelijke disruptieve ontwikkelingen voorziet het NLR t.a.v. vliegtuigtechnologie, aandrijving en brandstoffen?
- Welke termijn zijn daarbij reëel op basis van expert judgement?

Emissies – geluid en luchtverontreinigende stoffen

- Welke technologische ontwikkelingen zijn van invloed op de effecten die de luchtvaart gaat hebben op de leefbaarheid? (geluid en emissies)
- Wat zijn de internationale trendmatige ontwikkelingen ten aanzien geluid en emissies?
- Hoe snel gaat de vlootvernieuwing en waarvan is dat afhankelijk?
- Welke lessen kan NLR meegeven over ‘meten en berekenen’ o.b.v. ervaring en expertise? (essay?)
- Overzicht en inzicht in quality of life onderzoek

Veiligheid

- Welke technologische ontwikkelingen zijn er die de veiligheid beïnvloeden?
- Wat zijn de trendmatige veiligheidsontwikkelingen internationaal (aantal (bijna) ongevallen, slachtoffers, oorzaken, …?
- Welke nieuwe veiligheidsrisico’s ontstaan door verdergaande digitalisering en automatisering?

Governance

- Community engagement en participatie- essay over kennis en ervaring van NLR?

Het NLR heeft deze vragen naar eigen inzicht beantwoord, zonder verdere sturing van IenW. Er wordt in dit document een samenvatting gegeven van relevante kennis over de luchtvaart, maar is hier zeker geen volledig overzicht van.

Leeswijzer

De hierboven genoemde onderwerpen klimaat, emissies van geluid en luchtverontreinigende stoffen, veiligheid en governance zijn alle indicatoren die mede de Kwaliteit van Leven bepalen van de omwonenden van luchthavens en degenen die onder of nabij vliegroutes wonen. Kwaliteit van Leven is daarmee een belangrijk centraal begrip dat verder wordt toegelicht in hoofdstuk 2 van dit document. Vervolgens wordt dieper ingegaan op de indicatoren klimaat, emissies – geluidshinder en luchtverontreiniging, veiligheid en governance in respectievelijk de hoofdstukken 3, 4, 5 en 6.

2 Kwaliteit van leven

Wat wordt onder Kwaliteit van Leven (KvL) verstaan en wat is het belang ervan?
Kwaliteit van leven wordt bepaald door factoren en aspecten die van invloed zijn op de algemene tevredenheid over het leven. In de literatuur[1] worden daarbij verschillende definities van kwaliteit van leven gehanteerd wat de complexiteit van het onderwerp aangeeft.

Kwaliteit van leven biedt een extra dimensie aan de informatie die noodzakelijk is voor het debat over hinder door de luchtvaart. Zo kunnen indicatoren voor kwaliteit van leven bijvoorbeeld worden gebruikt in de communicatie met omwonenden en stakeholders. Door te kijken naar indicatoren voor kwaliteit van leven kan worden gesteld dat de luchtvaart op verschillende vlakken een negatieve impact heeft op de levenskwaliteit van omwonenden. Kwaliteit van leven biedt echter ook een kader waarbinnen luchthavens op verschillende manieren een positieve impact kunnen uitoefenen. Het NLR heeft een aantal indicatoren voor kwaliteit van leven geïdentificeerd die door de luchtvaart beïnvloed kunnen worden. Deze indicatoren zijn:

- **Gezondheid**
  Indicatoren voor *gezondheid* in de luchtvaart zijn bijvoorbeeld geluid en geluidhinder. Als maat voor geluidhinder kunnen bijvoorbeeld gezondheidseffecten van vliegtuiggeluid of de hoeveelheid ernstig gehinderde mensen (dosis-responserelatie) worden gebruikt. Andere indicatoren zijn de hoeveelheid vliegbewegingen, piek-niveaus, tijdstip (ochtend/avond), de activiteit van een individu tijdens de blootstelling aan geluid en emissies van vervuilende stoffen.

- **Veiligheid**
  De indicator *veiligheid* houdt economische stabiliteit en fysieke bescherming in, zoals weerbaarheid, baangarantie, minimumloon en fysieke bescherming tegen criminaliteit. Voor wat betreft de luchtvaart kan hier meer specifiek de kans op ongevallen en de veiligheid van omwonenden rondom luchthavens worden beschouwd.

- **Leefomgeving**
  De kwaliteit van de *leefomgeving wordt versterkt door de toegang tot* recreatief groen, voldoende groen in straten en woongebieden, variatie tussen ‘drukke’ en ‘stille’ gebieden, goede infrastructuur en een schone leefomgeving (milieukwaliteit).

- **Bestuur en grondrechten**
  Een belangrijk aspect van *bestuur en grondrechten* is het stimuleren van actief burgerschap en het betrekken van omwonenden bij besluitvorming over luchthavens. Met het opzetten en ondersteunen van transparante en oprechte *community engagement* en participatie kan het vertrouwen van individuen in de overheid of luchthaven verbeteren.

- **Algeheel welzijn**
  Onder *algeheel welzijn* wordt levensvreugde en zingeving van het leven in algemene zin verstaan. *Algeheel welzijn* heeft daarmee betrekking op de relatie en communicatie tussen burgers en luchthavens, de kwaliteit

[1] https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/qol/index_en.html; European environment agency (EEA); World Health Organization (WHO); EUROSTAT; Dutch Social and Cultural Planning Agency (SCP); British Office for National Statistics (ONS)

van de leefomgeving en de sociale en economische netwerken waar mensen onderdeel van uitmaken. Verder wordt kwaliteit van leven ook door keuzevrijheden en de voorspelbaarheid van hinder bepaald. Zo kan de mogelijkheid om keuzes te maken om te ontsnappen aan hinder een betere kwaliteit van leven betekenen.

- **Werk**
  Het hebben van een betaalde of onbetaalde baan *(werk)* is belangrijk voor kwaliteit van leven en zingeving. Een luchthaven kan hier in positieve zin aan bijdragen door werkgelegenheid te creëren.

- **Onderwijs**
  De mogelijkheid voor het volgen van *onderwijs of een opleiding* verhoogt het potentieel van een persoon om de levensstandaard te verhogen. Luchthavens kunnen het opleidingsniveau van de lokale gemeenschap verbeteren door het aanbieden van stages en opleidingsplekken en daarmee de kansen van de jeugd op zinvolle en goedbetaalde banen verhogen.

- **Materiele welvaart**
  Materiele welvaart betreft iemands bezittingen en consumptiekracht. Het inkomensniveau, armoede, verdeling van rijkdom of materiele voorwaarden zoals huisvestiging vallen hieronder. Als werkgever heeft een luchthaven een directe invloed op het inkomen en de financiële tevredenheid van de lokale gemeenschap.

- **Vrijetijdsactiviteiten en sociale contacten**
  Ook kan de kwantiteit, kwaliteit en de toegang tot sociale activiteiten in het kader van *vrijetijdsactiviteiten en sociale contacten* door de luchtvaart worden beïnvloed. Voorbeelden zijn evenementen voor bewoners, open dagen op scholen, kleuterscholen, het organiseren van wedstrijden en sponsoring van omliggende verenigingen.

Wat voor soort onderzoek heeft het NLR binnen het kader van KvL gedaan?
Kwaliteit van leven is een belangrijk kennisthema op het NLR. Daarbij worden niet alle hiervoor genoemde indicatoren door NLR in even grote mate onderzocht. Vooralsnog zet NLR vooral in op onderwerpen die gekoppeld zijn aan de volgende indicatoren: gezondheid, veiligheid, leefomgeving, bestuur en grondrechten en algemeen welzijn. In hoofdstuk 4 wordt bijvoorbeeld ingegaan op geluidhinder en luchtkwaliteit welke beide gekoppeld zijn aan de indicator gezondheid. Veiligheid is het onderwerp van hoofdstuk 5. Leefomgeving wordt mede bepaald door biodiversiteit en de hoeveelheid groen in de omgeving. Biodiversiteit is weer afhankelijk van klimaatverandering en stikstofdepositie. Luchtvaart en klimaat is onderwerp van hoofdstuk 3 en stikstofdepositie ten gevolge van de luchtvaart wordt benoemd in hoofdstuk 4.2. Bestuur en grondrechten en algemeen welzijn komen tot uitdrukking in hoofdstuk 6 dat gewijd is aan participatie.

Binnen het Europese project Aviation Noise Impact Management through Novel Approaches (ANIMA) werd door NLR een literatuuronderzoek naar bestaande indicatoren voor kwaliteit van leven uitgevoerd. De huidige KvL indicatoren zijn nog high-level. Het streven van het NLR is het om een methode te ontwikkelen waarmee de indicatoren voor KvL meetbaar kunnen worden gemaakt. Verder werden deze indicatoren kritisch beoordeeld op beschikbaarheid, kwaliteit en relevantie voor de luchtvaart en luchthavens. Daarnaast heeft het NLR case studies over de verhouding tussen kwaliteit van leven indicatoren en luchthaveninterventies uitgevoerd. Onder andere is het daarbij van belang interventies uit het verleden opnieuw te beoordelen om zeker te stellen dat de interventies nog passen bij de huidige omstandigheden.

Handelingsperspectief

Het NLR beschrijft de kwaliteit van leven op basis van een serie indicatoren van waaruit maatregelen kunnen worden voorgesteld rondom luchthavens. Hinderbeleving kan door beleid op het gebied van community engagement en participatie worden gestuurd. Dat houdt onder meer de ontwikkeling en verbetering van participatie strategieën in. Daarnaast kan kennis over kwaliteit van leven worden gebruikt om interacties of belangen te omschrijven en af te wegen. Door monitoring kan de impact van maatregelen worden gemeten en worden aangepast. Dit maakt de complexe interactie tussen luchthavens en omgeving bespreekbaar en zorgt voor meer transparantie tussen burgers en overheden.

3 Klimaat

Het World Meteorological Organization (WMO) heeft vastgesteld dat het CO_2-gehalte in de atmosfeer van 270 ppm (deeltjes per miljoen) vanaf de eerste stoommachine is gestegen naar 400 ppm [1]. Dit gas veroorzaakt, samen met andere broeikasgassen als CO, H_2O, NO_x(stikstofoxide), O_3(ozon), CH_4 (methaan), F-gassen en aerosolen (kleine stof- of vloeistofdeeltjes die in de lucht zweven) het zogenaamde broeikaseffect. Het broeikaseffect wordt voornamelijk veroorzaakt door het feit dat broeikasgassen de warmtestraling van de zon absorberen. Bij een toename van broeikasgassen in de atmosfeer zal er netto meer warmte vastgehouden worden waardoor het warmer zal worden.

Een temperatuurstijging kan mogelijk grote effecten hebben op onze omgeving [2]. Een deel van de broeikasgassen wordt uitgestoten in processen waar de mens bij betrokken is. De luchtvaart is een van de industrieën die hieraan bijdraagt en is verantwoordelijk voor ongeveer 2% van de totale, door de mens uitgestoten, CO_2 emissies [3]. In verschillende gremia zijn ambities geformuleerd voor de reductie van broeikasgasuitstoot, maar ook voor de uitstoot specifiek door de luchtvaartsector, zoals bijvoorbeeld de ACARE – flightpath 2050 ambities [4].

Om de temperatuurstijging tegen te gaan zal de hoeveelheid broeikasgassen die wordt uitgestoten moeten worden gereduceerd. In bepaalde industrieën kan een reductie gemakkelijker worden gerealiseerd dan in andere zoals de luchtvaart waarin nog innovatieve ontwikkelingen moeten plaatsvinden. In de luchtvaart zijn er verschillende manieren om uitstoot te verlagen, deze zullen in de volgende paragrafen worden besproken. Gezien het grote aantal mogelijke toekomstige ontwikkelingen is het onmogelijk om hier een compleet overzicht van te geven. Om deze reden zal een beperkt aantal ontwikkelingen worden uitgelicht en andere enkel worden benoemd.

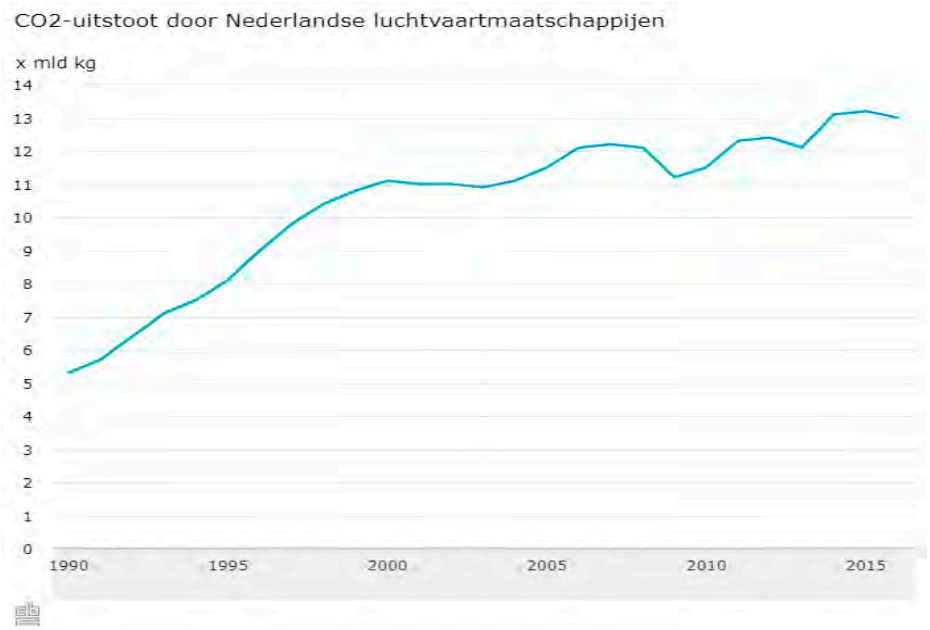
Naast dat een temperatuurstijging gevolg is van broeikasgassen o.a. afkomstig van de luchtvaart, is het de verwachting dat deze stijging ook een effect zal hebben op de luchtvaart zelf. De verwachting is dat de operatie en capaciteit op en rond luchthaven nadelige effecten kunnen ondervinden van het intensiveren van weersomstandigheden als wind, neerslag en temperatuur.

3.1 Klimaatimpact van de luchtvaart

Door de uitstoot van broeikasgassen draagt de luchtvaart bij aan de versterking van het broeikaseffect in onze atmosfeer. Bij elke kilogram kerosine die wordt verbrand komt c.a. 3,15 kg CO_2 en 1.25 kg H_2O vrij. Er ontstaat dus meer massa CO_2 dan dat er aan Jet Fuel wordt verbrand. Tijdens de verbrandingsreactie vindt een interactie plaats tussen de koolstof (C) uit de brandstof en de zuurstof (O) uit de lucht, hierdoor wordt CO_2 gemaakt. Naast CO_2 worden tijdens de verbranding van brandstof ook andere broeikasgassen gecreëerd zoals bijvoorbeeld H_2O. Ook H_2O is een belangrijk broeikasgas. De geschatte klimaatimpact van CO_2 door conventionele (kerosine) vliegtuigen is beperkt, maar daardoor niet onbelangrijk [5].

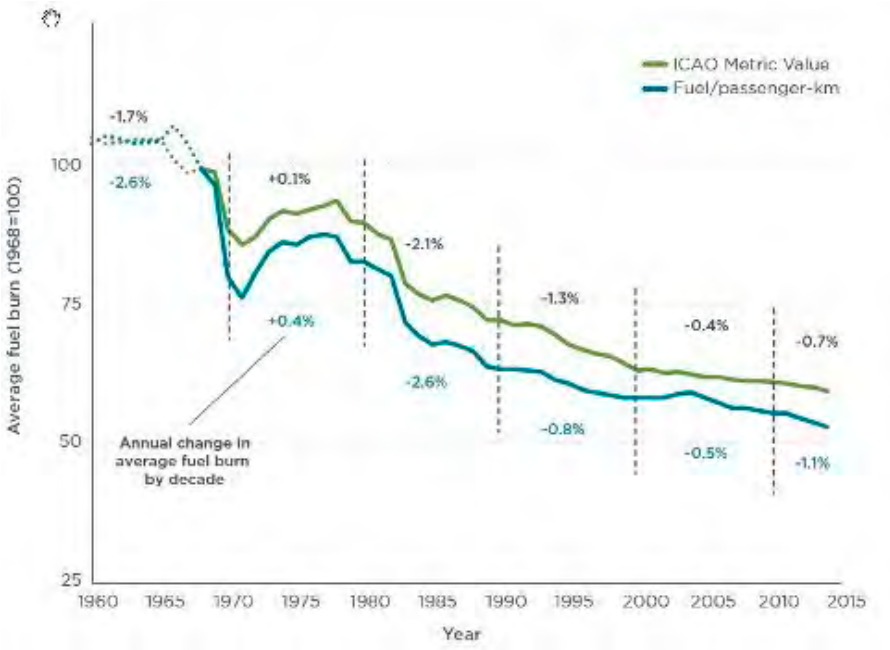
3.1.1 CO_2 bijdrage Nederlandse luchtvaart

In dit document wordt onder ‘Nederlandse luchtvaart’ verstaan; vluchten uitgevoerd door Nederlandse luchtvaartmaatschappijen, inclusief bewegingen in buitenlands luchtruim. Het totaal aan vluchten, uitgevoerd door Nederlandse luchtvaartmaatschappijen, zorgde in 2016 voor een uitstoot van circa 13 miljard kilogram CO_2.



Figuur 1: CO_2 uitstoot Nederlandse luchtvaartmaatschappijen (CBS) https://www.cbs.nl/nl-nl/faq/luchtvaart/hoeveel-uitstoot-veroorzaakt-de-nederlandse-luchtvaart-#id=undefined

In Figuur 1 is te zien dat de hoeveelheid CO_2 door Nederlandse luchtvaart sinds 1990 meer dan verdubbeld is, maar dat de afgelopen 18 jaar er een minder grote groei plaatsvindt. Een groei in CO_2 uitstoot kan voortkomen uit het uitvoeren van een groter aantal vluchten, maar ook het vliegen op bestemmingen op grotere afstanden. Voor het totale internationale vliegverkeer is volgens IATA [11] de verwachting dat jaarlijks het aantal passagiers met gemiddeld 3,6% stijgt. Echter is de tendens dat vliegtuigen door technologische ontwikkelingen steeds zuiniger worden en relatief minder CO_2 emissies genereren. Dit zorgt voor een dempend effect op de groei van CO_2 uitstoot. Incrementele veranderingen aan het ontwerp van vliegtuigen hebben er voor gezorgd dat het gemiddelde brandstofverbruik tussen 1968 en 2014 met ca 45% is gereduceerd (Figuur 2).



Figuur 2: Gemiddelde brandstofverbruik per passagiers-km door de jaren heen ten opzichte van 1968 (100%) https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Aircraft-FE-Trends_20150902.pdf

Ondanks de grote verbeteringen op het vlak van brandstofefficiëntie is de totale CO_2 uitstoot door de Nederlandse, maar ook de mondiale luchtvaart gegroeid. De verwachting is dat de komende jaren het aantal passagiers blijft groeien. Dit betekent dat als toekomstige technologische ontwikkelingen niet voldoende efficiëntie opleveren de hoeveelheid uitgestoten CO_2 ook zal blijven toenemen. Lokale beperkingen in vliegtuigaantallen, zoals het plafond van 500.000 vliegbewegingen op Schiphol, kunnen er voor zorgen dat de hoeveelheid CO_2 na het vernieuwen van de vloot lokaal gereduceerd wordt.

3.1.2 CO_2 standaard voor vliegtuigen

Om er voor te zorgen dat vliegtuigen in de toekomst niet meer CO_2 uitstoot produceren ten opzichte van de huidige generatie vliegtuigen heeft de International Civil Aviation Organization (ICAO) begin 2017 een CO_2 standaard voor nieuwe vliegtuigen aangenomen [6]. Nieuwe vliegtuigontwerpen moeten vanaf 2020 voldoen aan deze CO_2 standaard. Voor vliegtuigen die al in productie zijn genomen geldt de standaard vanaf 2023. Wanneer vliegtuigen in 2028 nog niet voldoen aan de standaard mogen deze niet meer in productie worden genomen. De CO_2 standaard schrijft voor dat nieuwe vliegtuigen in 2028 gemiddeld 4% zuiniger moeten zijn in de kruisfase ten opzichte van toenmalig nieuwe vliegtuigen uit 2015 bij gelijk maximaal startgewicht. Deze standaard, mits gehandhaafd, zal ervoor zorgen dat er geen terugval zal ontstaan ten aanzien van CO_2 uitstootniveaus. Of de standaard ook een versnelling van technologische ontwikkelingen zal induceren valt te betwisten aangezien in de afgelopen jaren de brandstofefficiëntie door technologische ontwikkelingen (zonder CO_2 standaard) al grotere winst heeft opgeleverd.

3.2 Impact op de luchtvaart

Een toename van de temperatuur zorgt voor meer energie in de atmosfeer. Als gevolg van de extra energie worden weersfenomenen als regen en wind heviger. Omdat de luchtvaart sterk afhankelijk is van het weer kan de operatie op de luchthaven en in de lucht worden gehinderd door extreme weersomstandigheden. Uit onderzoek van de FAA blijkt dat ongeveer 70% van de vertragingen in de VS extreem weer als oorzaak heeft [7]. Het gaat hierbij om onder andere onweersbuien, sneeuwbuien, veranderingen in windkracht en richting, ijsafzetting en mist. Een toename in extreme weersomstandigheden zal, als er geen maatregelen worden genomen, zorgen voor een toename in vertragingen.

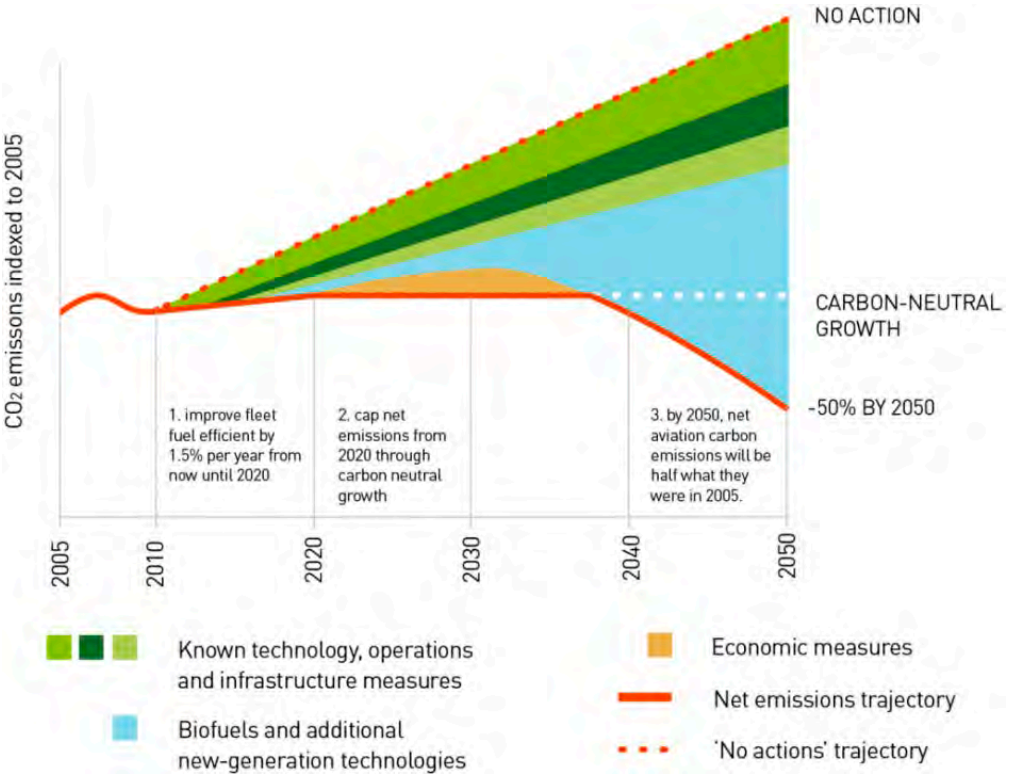
3.3 Ontwikkelingen

Sinds de tijd van de eerste vliegtuigen is er veel veranderd. De Wright brothers konden met een van hun eerste vliegtuigen 59 seconden vliegen en daarbij een daarbij 260 meter afleggen. Tegenwoordig kan uren lang worden gevlogen. Door de jaren heen zijn vliegtuigen sneller, efficiënter en veiliger geworden. De ontwikkelingen die hiervoor hebben gezorgd zijn incrementeel toegepast, waardoor de vorm van het vliegtuig de afgelopen tientallen jaren niet bijzonder veel is veranderd. Een grote verandering aan het ontwerp van het vliegtuig zou mogelijk voor grote verbeteringen kunnen zorgen, maar dit vergt enorme investeringen en brengt meer risico met zich mee voor fabrikanten.

Klimaatverandering wordt gezien als een van de grootste uitdagingen van deze tijd. Om die reden is ook de luchtvaartsector bezig met o.a.:

- technologische ontwikkeling van het vliegtuigen
- optimalisatie van de operatie/infrastructuur
- nieuwe type brandstoffen

In de ICAO roadmap (Figuur 3) zien we deze ambities terug. In het figuur wordt, zoals eerder genoemd, uitgegaan van een groeiende luchtvaart. In het geval er niets wordt ondernomen zal de uitstoot van CO_2 meegroeien. ICAO verwacht dat door het toepassen van de nu bekende mogelijkheden (technologisch, operationeel en infrastructureel) een deel van die groei in emissies kan worden afgeremd. Anderzijds zien ze de mogelijkheid om door middel van het gebruik van biofuels en nieuwe generatie technologieën in 2050 tot een CO_2 emissie reductie van 50% te behalen. Of dit daadwerkelijk wordt behaald is uiteraard sterk afhankelijk van een groot aantal factoren zoals de werkelijke groei van de luchtvaart en de mate waarin nieuwe technologieën worden ontwikkeld/geïmplementeerd in vliegtuigen en het luchtruim.



Figuur 3: Roadmap CO_2 emissies luchtvaart

3.3.1 Alternatieve brandstoffen

De afgelopen jaren zijn er grote stappen gemaakt in de ontwikkeling van alternatieve brandstoffen anders dan kerosine uit aardolie. Een subgroep van alternatieve brandstoffen worden de drop-in fuels genoemd. Deze type brandstoffen kunnen zonder aanpassingen aan de motoren of systemen gebruikt worden in plaats van kerosine. In sommige gevallen is het nodig om alternatieve brandstoffen te mengen met kerosine om ze te mogen gebruiken. Een drop-in fuel is niet intrinsiek schoner dan kerosine, maar er wordt veel onderzoek gedaan om alternatieve drop-in fuels te ontwikkelen die lage schadelijke uitstootwaarden hebben.

3.3.1.1 Biobrandstof

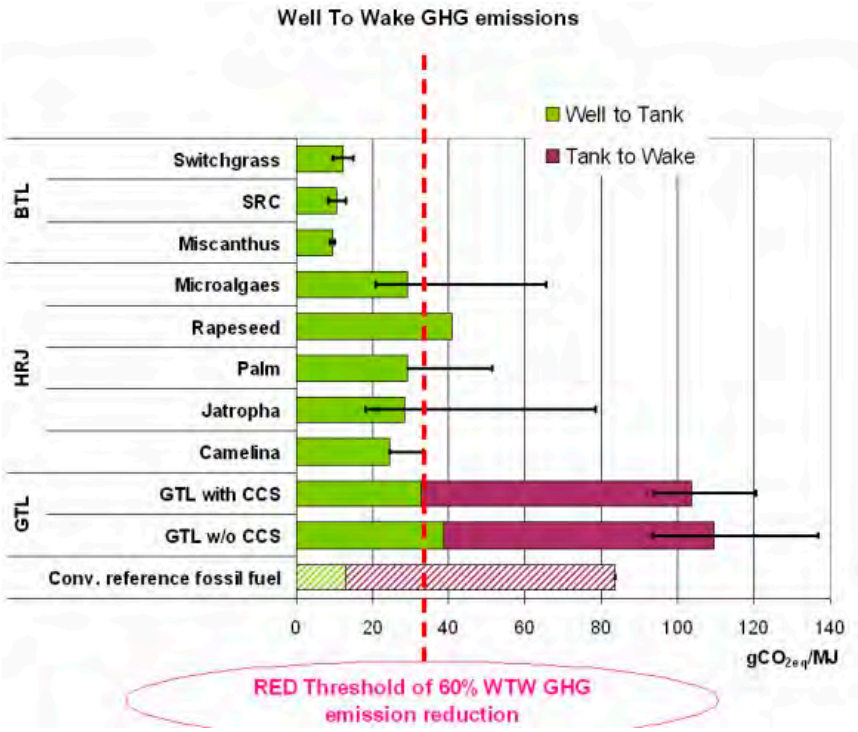
Biobrandstof is volgens de luchtvaartsector een voorziene optie als duurzame alternatieve brandstof om in de nabije toekomst substantieel bij te dragen aan de benodigde CO_2 uitstootreductie binnen de grote luchtvaart. Dit brandstoftype heeft als eigenschap dat het gemaakt is uit biomassa, welke over het algemeen een korte (CO_2)cyclus kent. Voorbeelden van biomassa met een korte cyclus zijn restmaterialen van gewassen of algen, deze groeien binnen een aantal weken/maanden tot een bruikbaar product en onttrekken tijdens het groeiproces CO_2 uit de atmosfeer. Dit vermindert de hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer. Wanneer de biobrandstof wordt gebruikt komt een zelfde hoeveelheid CO_2 weer vrij in de atmosfeer en begint de cyclus opnieuw. Echter doet CO_2 die op grote hoogte wordt uitgestoten er 100 jaar over voor het opnieuw kan worden ingevangen. De CO_2 die nu wordt gebruikt om biobrandstof van te maken is dus veelal niet afkomstig van uitstoot van vliegtuigen. Voor het produceren van biomassa en de uiteindelijke biobrandstof is in veel gevallen energie nodig, als deze energie niet van een duurzame bron afkomstig is wordt er geen CO_2-neutraliteit behaald.

Biobrandstoffen zijn ingedeeld in een aantal verschillende generaties op basis van duurzaamheid en technologie ontwikkeling. Momenteel is er sprake van de volgende generaties:

- 1e generatie: Biobrandstoffen geproduceerd uit niet duurzame biomassa (eetbare planten, plantaardige oliën en dierlijke vetten)
- 2e generatie: Biobrandstoffen geproduceerd uit duurzame biomassa, waarbij de technologie in een vergevorderd stadium van ontwikkeling is (oneetbare planten, houtresten, papier afval, etc.).
- 3e generatie: Biobrandstoffen geproduceerd uit duurzame biomassa, waarbij de technologie in een vroeg stadium van ontwikkeling is. Het verschil met 2e generatie is vooral dat dit type brandstof kan worden geproduceerd onder water, en dat deze speciaal voor het gebruik van de biobrandstofindustrie kan worden gekweekt (macroalgen/zeewier en microalgen)
- 4e generatie: Door middel van ge-engineerde gewassen wordt brandstof geproduceerd. Bij het omzetten van het gewas naar brandstof wordt de CO_2 opgevangen en onder de grond, in lege olie- of gasvelden, opgeslagen.

Een Nederlands bedrijf dat biobrandstoffen levert is SkyNRG. Deze biobrandstof is wordt gemaakt uit gebruikte frituurolie (2e generatie) via het Hydro-processed Esters and Fatty Acids (HEFA) proces. KLM heeft al meerdere vluchten uitgevoerd naar verschillende plekken over de wereld met dit type brandstof. In totaal zijn er over de wereld reeds meer dan 130.000 commerciële vluchten uitgevoerd op een mix van kerosine en biobrandstoffen, met maximaal 50% biofuels.

Er zijn verschillende mogelijke biobrandstoffen te maken en elk heeft een productieroute die zorgt voor een bepaalde CO_2 uitstoot. Er worden onderzoeken gedaan om te bepalen welke biobrandstoffen (incl. productie) de grootste CO_2 reductie geven, dit wordt gedaan in zogenaamde life-cycle analyses. In Figuur 4 is de uitkomst van een life cycle analyse [8] voor verschillende brandstoffen weergegeven. Te zien is dat niet elke brandstof een even grote CO_2 uitstoot geeft, maar dat er tot wel 90% reductie valt te behalen als het productiepad op de juiste manier wordt doorlopen. Om een zo laag mogelijke totale uitstoot te behalen is het van belang de uitstoot tijdens het productieproces te minimaliseren.



Figuur 4: Well to wake CO_2 equivalent emissies voor verschillende biofuels [8]

Biobrandstof wordt dus gezien als een middel tot verduurzaming van de luchtvaart, maar het wordt op dit moment nog niet op grote schaal geproduceerd. Dit betekent dat er niet genoeg biobrandstof beschikbaar is om alle mogelijke gebruikers te kunnen voorzien. Daarnaast is biobrandstof duurder dan kerosine, wat de transitie naar biobrandstof niet bevordert. Om het gebruik van biobrandstoffen te bevorderen zal er een schaalvergroting moeten plaatsvinden en zal het prijsverschil (natuurlijk of kunstmatig) moeten worden verkleind.

3.3.1.2 Waterstof

Waterstof als energiedrager is een voorbeeld van nieuwe technologische ontwikkelingen op het gebied van alternatieve brandstoffen. Deze brandstof kan op twee manieren in het vliegtuig worden toegepast; door middel van directe verbranding in de vliegtuigmotor, of door middel van een brandstofcel waarmee elektriciteit wordt opgewekt. Bij directe verbranding wordt waterstof gebruikt als vervanging van kerosine in de motor. In een brandstofcel wordt een elektrochemische reactie geïnduceerd tussen waterstof en zuurstof. Met behulp van deze reactie wordt een elektrische stroom opgewekt die kan worden gebruikt om bijvoorbeeld elektromotoren te voorzien van elektriciteit. Waterstof kan worden geproduceerd door water op te breken in zijn atomaire componenten zuurstof en waterstof via elektrolyse. Om dit op een CO_2-vrije manier uit te voeren zal de benodigde elektriciteit uit hernieuwbare bronnen moeten worden gebruikt.

Waterstof is een mogelijk alternatief voor kerosine, vooral omdat de hoeveelheid energie per gewichtseenheid (MJ/kg) hiervan ca. 3 keer zo groot is, het een lage prijs heeft en in zeer grote hoeveelheid beschikbaar is op aarde (in water). Echter is de hoeveelheid energie per volume-eenheid (MJ/L) ca. 4 keer lager, wat betekent dat er meer ruimte nodig is om waterstof op te slaan (op zeeniveau). Om waterstof aan boord mee te kunnen nemen zal het moeten worden opgeslagen onder hoge druk en/of lage temperatuur, wat zorgt voor extra gewicht door het toevoegen van zware componenten. Het gebruik van waterstof heeft ook als voordeel dat er geen CO_2 vrijkomt bij verbranding,

echter komt er wel waterdamp vrij, wat ook een broeikasgas is. Naast waterdamp komt ook NO_x vrij. Uit studies naar de “Cryoplane” [9] komt naar voren dat het gebruiken van waterstof als brandstof 14 tot 40% reductie kan opleveren in klimaatimpact bij verschillende invoerscenario’s.

In tegenstelling tot CO2, heeft water verschillende verschijningsvormen (en bijbehorende klimaateffecten): als gas, als vloeistof en als vaste vorm (ijskristallen). Lokale condities in de atmosfeer bepalen de verschijningsvorm en die kunnen (nog) niet goed worden voorspeld. Afhankelijk van de temperatuur, concentratie en de aanwezigheid van condensatiekernen kan waterdamp wel of geen wolkenvorming veroorzaken met additionele klimaatimpact. Een kenmerkend verschil met CO2 is dat ook de hoogte waarop waterdamp wordt uitgestoten van belang is. Waterdamp op lagere hoogte (tot ongeveer 8 km, en ruim beneden de huidige vlieghoogtes van 12 km) verdwijnt sneller dan CO2 uit de atmosfeer (in enkele maanden in plaats van tientallen jaren). Een sneller verdwijnen uit de atmosfeer van waterdamp resulteert in een lagere concentratie en daarmee een kleinere klimaatimpact.

Naast vloeibaar waterstof kan waterstof ook aan een vaste stof worden gebonden die met behulp van een derde stof de waterstof vrijgeeft wanneer dat nodig is. Of dit een potentiele oplossing is om de noodzaak van druktanks te elimineren, zal nader moeten worden onderzocht.

3.3.1.3 Synthetische brandstoffen

Synthetische brandstoffen gemaakt met stroom uit hernieuwbare bronnen als zon en wind worden gezien als een oplossing voor de luchtvaart om bij te dragen aan de klimaatdoelstellingen van Parijs. De opgewekte stroom wordt gebruikt om waterstof te produceren door middel van elektrolyse. Waterstof kan anderzijds ook worden gewonnen uit andere processen als thermochemische productie of bijvoorbeeld uit aardgas. De waterstof die uit dit proces vrij komt wordt gecombineerd met CO_2 om daar koolwaterstoffen uit te synthetiseren. Koolwaterstof kan vervolgens worden gebruikt om verschillende synthetische brandstoffen te produceren.

Er zijn verschillende manieren om synthetische kerosine te maken, zoals gas to liquid (GTL), coal to liquid (CTL), power to liquid (PTL) en sun to liquid (STL). Uit deze voorbeelden kan PTL op de meest duurzame wijze worden geproduceerd. Om dit te waarborgen is het van belang dat de elektriciteit afkomstig is van duurzame bronnen en koolstofatomen worden hergebruikt of uit de lucht worden gehaald.

3.3.2 Nieuwe technologieën

Technologische ontwikkelingen kunnen bijdragen aan het oplossen van de klimaatopgave. In de volgende paragrafen worden een aantal nieuwe technologieën besproken. De onderstaande sub-paragrafen geven geen volledig overzicht is van alle ontwikkelingen in de luchtvaart, maar er wordt een compacte weergave van een aantal belangrijke en in het oog springende technologische ontwikkelingen en inspanningen rondom het reduceren van de uitstoot van CO_2 gegeven. De term technology readyness level (TRL) zal bij verschillende technologieën worden genoemd. Dit is een maatstaaf voor technologieën om te bepalen in welk stadium van ontwikkeling de technologie zit, waarbij TRL 1 aangeeft dat het gaat om een eerste idee/principe en TRL9 een technologie die is uitgewerkt en zich in een operationele omgeving heeft bewezen goed te werken.

3.3.2.1 Incrementele voortgang

Veranderingen aan het vliegtuig zijn over het algemeen zeer incrementeel. Het ontwerp van het hedendaagse vliegtuig is niet zichtbaar radicaal veranderd ten opzichte van een aantal decennia geleden. Echter zijn telkens stapsgewijze verbeteringen toegepast op o.a. de motoren, aerodynamica en de materialen die worden gebruikt. Door de constante ontwikkelingen kan worden gesteld dat elke volgende generatie vliegtuigen zo'n 15 a 25% zuiniger is dan zijn voorganger.

3.3.2.1.1 Motoren

Motoren zijn de voortstuwingsbron van vliegtuigen en gebruiken een energiebron (e.g. kerosine) om deze voortstuwing te genereren. Ontwikkelingen in motoren zijn in veel gevallen gericht op efficiëntieverbeteringen. Efficiëntere motoren gebruiken minder brandstof en stoten daarbij dus minder CO_2 uit.

Om motoren zuiniger te maken zijn er verschillende ontwikkelingen te identificeren. Een manier om de efficiëntie van de motoren te vergroten is het toepassen van een grotere bypass ratio (BPR). Uitdaging voor een grotere BPR is dat je meer weerstand genereert vanwege vergroting van het motor oppervlak, maar beperkt ruimte hebt onder de vleugel. Daarnaast zijn er intern in de motor nog ontwikkelingen nodig om groter BPR's te kunnen gebruiken. De allernieuwste turbofan motoren hebben een BPR van ongeveer 12:1. Dit wil zeggen dat er per kg lucht die door de verbrandingskamer gaat, er 12 kg lucht omheen wordt geleid. Binnen verschillende onderzoeksprogramma's (e.g. ENOVAL) wordt er gewerkt aan het ontwikkelen van motoren met een BPR groter dan 12. Ook het vergroten van de overall pressure ratio (OPR) is een belangrijke manier om motoren efficiënter te maken. Een hogere OPR betekent een hogere drukopbouw door de compressor. (TRL 4-5)

Een andere ontwikkeling is de geared turbofan (GTF) voor grote (krachtige) motoren. Door middel van deze nieuwe technologie kunnen de lagedrukturbine en de fan met verschillende toerentallen draaien. Het voordeel hiervan is dat de verschillende onderdelen op de onafhankelijke snelheden kunnen opereren, waarmee een hogere efficiëntie wordt behaald. Het toepassen van de GTF kan volgens NASA CO_2 emissie met 15% reduceren [10]. Deze technologie is nu nog beperkt beschikbaar, maar het doorontwikkelen van deze technologie zal deze reductie mogelijk verder vergroten.

Vliegtuigen gebruiken bleed air om o.a. wordt de cabine te voorzien van luchtdruk en verwarming of koeling. Bleed air wordt verkregen door een deel van de lucht die door de motor stroomt af te tappen. Door lucht weg te nemen uit de motor gaat de efficiëntie van de motor omlaag. Elektrische systemen vervangen veel van de functies van bleed air, wat de noodzaak van bleed air reduceert. Een voorbeeld van een bleedless engine is die van de Boeing 787, deze heeft een luchtintake in de romp, maar gebruikt geen lucht meer die door de motor stroomt. Hierdoor kan deze motor meer vermogen leveren met dezelfde luchtinname, wat een verbetering in brandstofefficiëntie geeft. Deze verbetering zorgt anderzijds voor minder complexiteit en daarmee ook minder gewicht van systemen in het vliegtuig

3.3.2.1.2 Aerodynamica

De vorm van een vliegtuig bepaalt de aerodynamische eigenschappen. Het voortbewegen van een vliegtuig door de lucht zorgt voor weerstand. Door slimme ontwerpen kan de weerstand van het vliegtuig verlaagd worden. In de afgelopen jaren zien we bijvoorbeeld dat verschillende soorten winglet of wingtip-ontwerpen worden toegepast aan het uiteinde van de vleugels. Deze zijn ontworpen om voor een verbeterde aerodynamische efficiëntie te zorgen.

Het drukverloop en de wrijving die de buitenstroming ondervind door de vleugel beweegt is bepalend voor de hoeveelheid weerstand op de vleugel. Door middel van Laminar Wing technology wordt er voor gezorgd dat de

luchtstroom zo min mogelijk wordt verstoord waardoor turbulente stroming ontstaat. Verdere ontwikkeling van deze technologie kan mogelijk de weerstand verminderen en daarmee het brandstofverbruik/ CO_2 uitstoot reduceren. In dezelfde strekking wordt er onderzoek gedaan naar high- lift aerodynamics en multifunctional control surfaces, waarmee configuraties kunnen worden geoptimaliseerd voor reductie van brandstofverbruik en geluid.

De afgelopen jaren zijn er verschillende conceptontwerpen voorgesteld voor nieuwe generatie hybride elektrische vliegtuigen. Deze concepten bestaan uit andere configuraties dan conventioneel toegepast (distributed propulsion, Boundrary layer ingestion (BLI)) welke mogelijk een substantiële bijdrage kunnen leveren aan de reductie van CO_2 uitstoot en geluid.

3.3.2.1.3 Materialen

De materialen waaruit vliegtuigen en vliegtuigcomponenten bestaan bepalen in grote mate de sterkte van het vliegtuigontwerp, maar ook het gewicht hiervan. Ontwikkelingen in het veld van materialen maken het mogelijk om het gewicht van een bepaald vliegtuigontwerp aanzienlijk te verminderen, terwijl deze zijn sterkte behoudt of verbetert. Gewichtsreducties op vliegtuigniveau resulteren in minder brandstofverbruik en daarmee ook minder CO_2 uitstoot.

Ontwikkelingen vinden plaats rondom composiet materialen. Composiet materialen zijn materialen die superieure mechanische eigenschappen combineren met een laag gewicht. Vanwege deze eigenschappen kunnen structuurdelen ontworpen en geproduceerd worden die lichter (orde grootte 25%) zijn dan te tot nu toe vaak toegepaste metalen structuurdelen. Het TRL niveau van deze technologie varieert van TRL 3 t/m TRL 8.

Ontwikkelingen op het gebied van Metal Additive Manufacturing (3-D printen) maken het mogelijk om in metaal nieuwe lichtgewicht structuurdelen te ontwerpen en te produceren. Het grote voordeel van deze technologie is dat multi-functionele structuurdelen gemaakt kunnen worden (b.v. dragende delen met geïntegreerde koelcapaciteit). Vanwege deze mogelijkheid tot multifunctionele constructies kunnen constructies geoptimaliseerd worden naar minimaal gewicht. Het TRL niveau van deze technologie varieert van TRL 3 t/m TRL 5.

Met composiet fabricage technologie en Additive manufacturing (3-D printen) is het vanwege de grote vormvrijheid mogelijk om volledig nieuwe “bio-inspired” constructieve concepten te ontwikkelen voor onderdelen van vliegtuigen zoals vliegtuigrompen en vliegtuigvleugels. Deze nieuwe concepten zijn efficiënter (lichter) dan de tot nu toe gebruikte traditionele ontwerpen (gewichtsreducties tot 40% zijn in theorie mogelijk). Het TRL niveau van deze technologie varieert van TRL 1 t/m TRL 3.

3.3.2.2 Elektrisch taxiën

Vliegtuigen stoten niet alleen tijdens het vliegen CO_2 uit. Het voortbewegen van een vliegtuig op de luchthaven, ook wel taxiën genoemd, zorgt door het gebruik van de motoren of pushback trucks voor CO_2 uitstoot. Geschat wordt dat op Schiphol jaarlijks c.a. 180 á 190 miljoen kg kerosine wordt gebruikt voor de taxifase.

Een aantal verschillende bedrijven zijn apart van elkaar gestart aan de ontwikkeling van technologieën die de uitstoot tijdens het taxiën van het vliegtuig reduceert. WheelTug heeft een elektromotor ontworpen die op het neuswiel wordt gemonteerd en elektriciteit van de APU gebruikt, hierdoor kunnen de motoren op een later moment worden gestart of eerder uitgeschakeld (3 á 4 minuten voor het opstijgen/na het landen). Door deze techniek wordt de totale hoeveelheid brandstof die wordt gebruikt tijdens het taxiën gereduceerd. De verwachting is dat binnen 1 á 2 jaar, mits

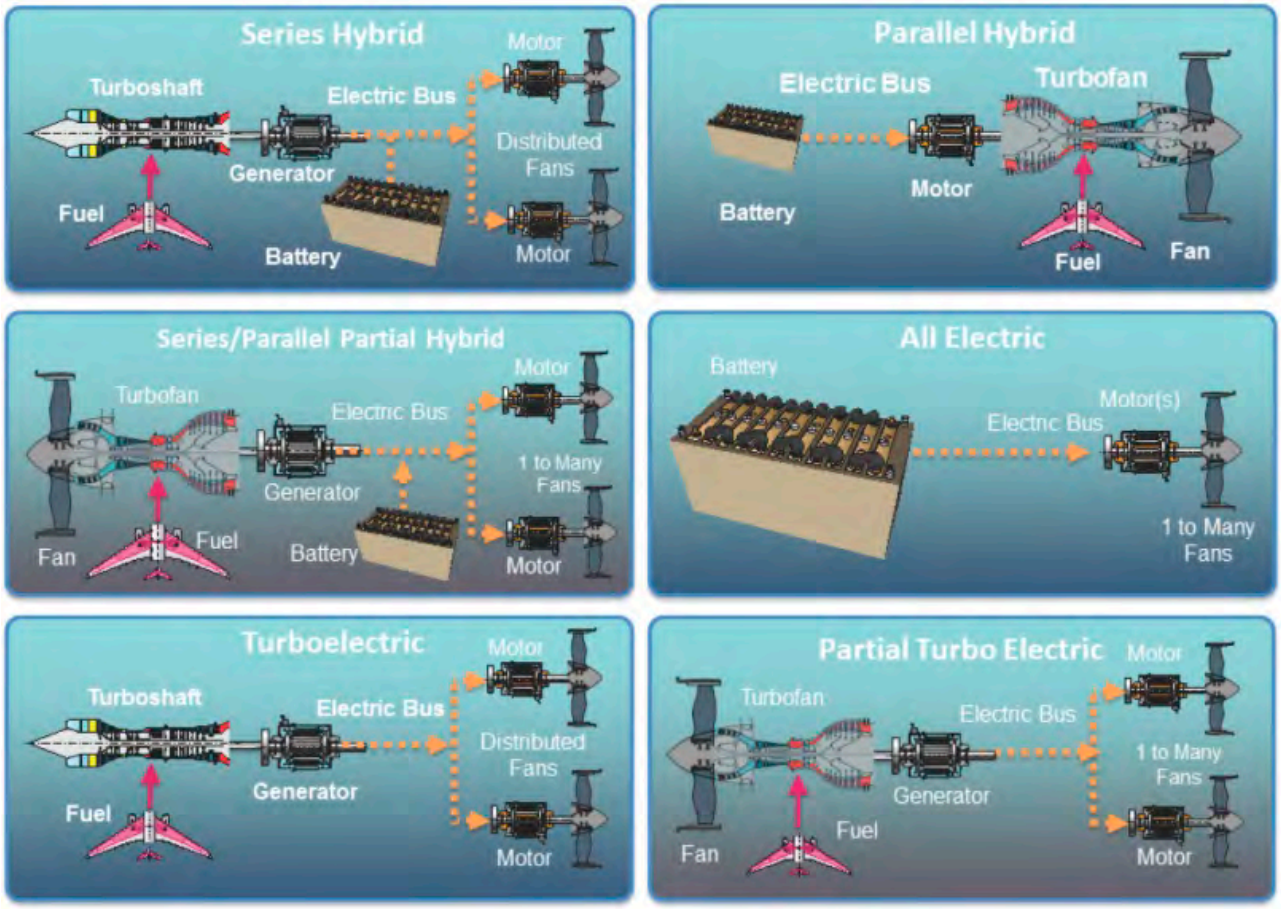
certificering succesvol wordt doorlopen, de technologie kan in de eerste instantie worden toegepast op de B737NG vliegtuigen (c.a. een derde van het verkeer op Schiphol). Ook Airbus/Safran is bezig met de ontwikkeling van een soortgelijk systeem. Hiernaast is door Israël Aerospace Industries de TaxiBot ontwikkeld, dit zijn pushback trucks die op elektriciteit werken. Ook hier wordt de totale hoeveelheid aan CO_2 uitstoot gereduceerd tijdens de taxifase, afhankelijk van de manier waarop de elektriciteit voor de TaxiBot wordt geproduceerd. De Taxibot is in 2017 door EASA en de FAA gecertificeerd voor de B737 familie en de A320 familie. De status van de ontwikkeling van een TaxiBot voor wide-body vliegtuigen zoals de A330 en de B777 is onbekend.

Het voordeel van de WheelTug technologie is dat vliegtuigen onafhankelijk van luchthavenmaterieel op een minder vervuilende manier kan taxiën, wat ook positief kan uitpakken voor de doorstroom op een luchthaven. Er wordt echter wel extra gewicht aan het vliegtuig toegevoegd aan het vliegtuig, dat ook tijdens de vlucht moet worden meegenomen. Bij de TaxiBot technologie wordt er geen gewicht toegevoegd aan het vliegtuig, echter zijn vliegtuigen afhankelijk van de beschikbaarheid van het de TaxiBot's. Daarnaast wordt er wel extra verkeer toegevoegd op de bestaande infrastructuur op de luchthaven dat impact kan hebben op de flow op de luchthaven. Het daadwerkelijke effect zal per luchthaven moeten worden bepaald.

3.3.2.3 Hybride/elektrisch vliegen

Elektrisch vliegen is op dit moment enkel beschikbaar binnen de general aviation. Zo bestaan er kleine vliegtuigen waar 1 tot 4 personen ongeveer een uur in kunnen vliegen, zoals de Pipistrel Alpha elektro en de Magnus eFusion. Er is nog geen groot aanbod voor dit soort vliegtuigen en wordt dus nog niet veel gebruikt. Een van de beperkende factoren voor elektrisch vliegen is het gewicht. Accu's hebben ten opzichte van kerosine een zeer groot gewicht voor de hoeveelheid energie die ze meedragen. De nieuwste generatie Lithium accu's zitten rond een specifieke energie 300Wh/kg terwijl kerosine een specifieke energie heeft van 11.888Wh/kg. Dit komt er op neer dat accu's per gewichtseenheid 40 keer minder energie dragen dan kerosine. Als je het gehele voortstuwingssysteem bekijkt, inclusief de omzetting van de energie in de kerosine of accu naar bewegingsenergie, zien we dat elektromotoren veel efficiënter zijn dan straalmotoren. Het rendement van conventionele motoren ligt tussen de 30% en 40%, wat betekent dat van de 11.888Wh/kg minder dan 5.000Wh/kg daadwerkelijk wordt omgezet naar bewegingsenergie. Voor elektrische motoren ligt het rendement een stuk hoger, namelijk ongeveer 85% tot 90%. Om dezelfde afstanden af te kunnen leggen en hoeveelheden passagiers te vervoeren moeten batterijen dus nog 10-20 keer meer energie per kg dragen. Een lagere specifieke energie betekent dus praktisch gezien minder passagiers of minder ver vliegen. Door onder andere de ontwikkelingen in de elektrische auto-industrie zijn batterijen steeds beter geworden en de verwachting is dat deze groei zal doorzetten, maar het is nog niet goed te voorspellen hoe snel deze ontwikkeling zal doorzetten. De vraag is hierbij wel of de te ontwikkelen batterijen op een duurzame wijze kunnen worden geproduceerd en geen grote impact hebben op het milieu.

De verwachting is dat er de komende decennia steeds meer kleine elektrische vliegtuigen (1 tot 50 passagiers) zullen worden ontwikkeld met een nog zeer beperkte range en capaciteit, maar voor grote vliegtuigtypen zal deze trend langer op zich laten wachten. Voor grote vliegtuigen zullen de eerste stappen naar elektrificeren liggen in het domein van more-electric en hybride. Bij more-electric kunnen verschillende pneumatische, hydraulische en mechanische vliegtuigsystemen worden geëlektrificeerd om zo het vliegtuig lichter te maken. Bij hybride systemen zal een combinatie worden ontworpen van brandstof-aangedreven motoren en elektrisch aangedreven motoren of een motor die deels op elektriciteit als brandstof werkt. In Figuur 5 zien we verschillende hybride/elektrische configuraties. Deze zullen waarschijnlijk eerst worden toegepast in het kleinere segment van de grote luchtvaartuigen (regionale jets).



Figuur 5: Hybride/elektrische configuraties https://www.nap.edu/read/23490/chapter/7#52

Naast de nog lage specifieke energie zijn er ook andere technologische uitdagingen , zoals grote elektrische vermogens, warmteontwikkeling in batterijen, levensduur van batterijen, etc.. Hoe groot deze uitdagingen zijn en hoe deze te overkomen moet verder worden onderzocht. Om vliegtuigen van de enorme hoeveelheden benodigde elektriciteit te voorzien zal er infrastructuur (kabels, oplaadpunten, transformatoren, etc.) en opwekkingsystemen (zonnepanelen, windmolens, etc.) moeten worden aangelegd.

Met de opkomst van kleine elektrische vliegtuigjes (of urban air vehicles/passenger drones) rijst tegelijkertijd de vraag of deze kunnen worden toegepast ter vervanging van wegvervoer (pakketbezorging, passagiersvervoer, etc.). Op dit moment zijn bedrijven als Airbus, Uber en Lilium bezig met de ontwikkeling van Urban Air Taxi's, deze verwachten allen binnen 10 jaar hun taxi's te kunnen verkopen. Of dit realistisch is valt op dit moment nog niet goed in te schatten. Voordat deze technologie beschikbaar komt zal er moeten worden onderzocht of dit op een veilige manier kan worden geïmplementeerd. Een andere belangrijke factor is het effect van deze technologie op de leefomgeving, in de vorm van geluidshinder en zicht(vervuiling).

3.3.2.4 Vlootvernieuwing

Voor radicaal nieuwe ontwerpen is het doorgaans moeilijker en kostbaarder om gecertificeerd en geïmplementeerd te worden dan vliegtuigen waaraan incrementele aanpassingen zijn toegepast. Als nieuwe technologieën beschikbaar

worden in vliegtuigen op de markt kunnen luchtvaartmaatschappijen (als mogelijk) hun oudere, minder efficiënte vliegtuigen uit te faseren en over te gaan op nieuwere typen. KLM voerde in 2017 bijna 50% van de vliegbewegingen uit op Schiphol, om die reden is de vloot van KLM een bepalende factor voor de totale vlootefficiëntie. Onlangs heeft KLM cityhopper hun Fokkervloot uitgefaseerd en vervangen voor de nieuwe Embraer 175 en 190. Daarnaast heeft KLM ook andere nieuwe vliegtuigtypen in gebruik genomen zoals de B787-9. Luchtvaartmaatschappijen kunnen er voor kiezen om een nieuwer vliegtuigtype aan te schaffen (en daarmee een ouder type vervangen), hier kunnen ze verschillende redenen voor hebben:

- De vraag is toegenomen en er kan een extra toestel worden ingezet
- Een vliegtuig is duurder in operatie en/of onderhoud dan een nieuwer vliegtuig, waarbij vervanging netto meer winst kan opleveren
- Een vliegtuig wordt geweerd door regelgeving op vliegvelden (obv bijv. geluidsnormen)

Hoe snel vlootvernieuwing plaatsvindt, is afhankelijk van de bovenstaande factoren en is niet voor alle gevallen te veralgemeniseren. De levensduur van een vliegtuig is doorgaans zo'n 20 tot 25 jaar. De leeftijd van een vliegtuig op bijvoorbeeld Schiphol ligt gemiddeld echter ruim onder deze waarden. De gemiddelde leeftijd van bijvoorbeeld de KLM vloot ligt rond de 11 à 12 jaar (afhankelijk van de gebruikte bron en jaar van beschouwing).

3.3.3 Optimalisatie operatie

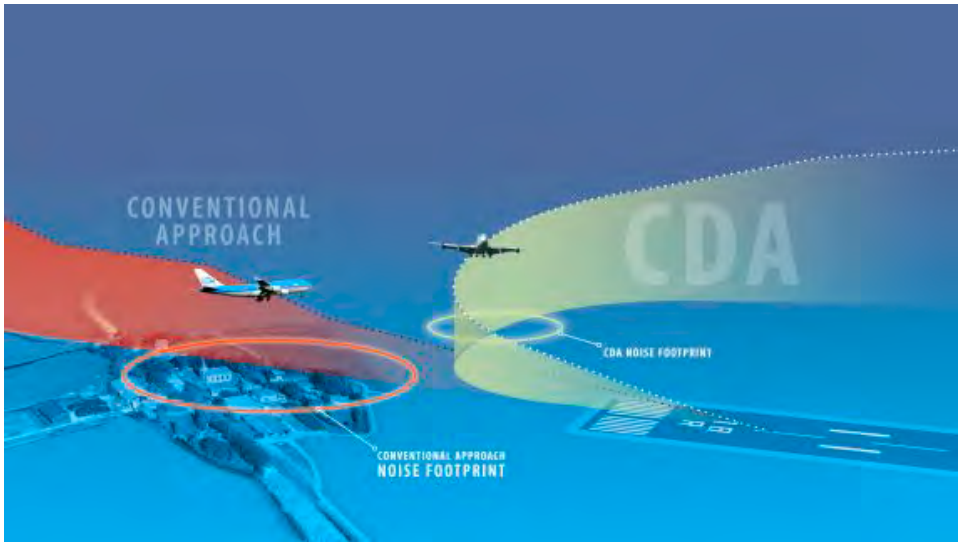
Naast fysieke aanpassingen aan het vliegtuig zit een deel van de potentiele CO_2 reductie in het optimaliseren van de vliegoperatie. De procedures die worden gebruikt om van een luchthaven naar een andere luchthaven te vliegen zijn zeer bepalend voor de hoeveelheid kerosine die benodigd is en dus hoeveel CO_2 wordt uitgestoten. Er zijn veel verschillende soorten optimalisaties van de operatie, in de onderstaande paragrafen wordt op een aantal optimalisaties ingegaan.

3.3.3.1 Algemene operationele verbeteringen

Op verschillende manieren kan een operatie efficiënter worden ingericht. Zo kunnen routes en start- en landingsprocedures worden geoptimaliseerd. De efficiëntie van een operatie is afhankelijk van een groot aantal factoren als hoogte waarop gevlogen wordt, afstand, snelheid, klim en daalprofielen, weersomstandigheden etc.. Om te bepalen welke operatie het meest (brandstof)efficiënt is kan gebruik worden gemaakt van simulatiemodellen. Omdat luchthavens en/of luchtruimen lokale restricties hanteren (e.g. hoogte, snelheid, no-fly zones) zal de meest efficiënt mogelijke procedure, o.b.v. de gestelde restricties, moeten worden bepaald.

3.3.3.2 CDA's

Een continuous descent approach (CDA) is een procedure waarbij het vliegtuig vanaf grote hoogte een continue daling inzet. Het overgrote deel van vluchten dat op Schiphol land vliegt na de kruisvlucht ook op lagere hoogtes (>2000ft) verticaal. Een CDA procedure kan worden ingezet om de totale energie (kerosine) die het vliegtuig nodig heeft voor een landing te verminderen. Het is namelijk efficiënter om het vliegtuig langer op grote hoogte, met minder weerstand, te laten vliegen.



Figuur 6: Continuous descent approach vs conventional approach

Door middel van het uitvoeren van een CDA kan brandstof worden bespaard ten opzichte van een gemiddelde conventionele landing. Om optimaal geluid te reduceren worden CDA's met vaste naderingsroutes gecombineerd. Dit betekent dat een luchtverkeersleider beperkt wordt in zijn separatieopties en alleen nog op snelheid kan sturen en niet meer op hoogte en richting. Om de veiligheid te waarborgen bij een operatie met CDA en vaste naderingsroutes moet de luchtverkeersleiding de afstand tussen twee vliegtuigen vergroten. Het effect hiervan is dat de capaciteit op de luchthaven afneemt. Omdat luchthavens niet op capaciteit willen inleveren worden oplossingen ontworpen die voor een veilige afhandeling zorgen met behoud van capaciteit. Een voorbeeld van zo'n technologie is Interval Management (IM). IM laat vliegtuigen automatisch met elkaar communiceren en afstemmen welke snelheid ze moeten vliegen om op veilige afstand van elkaar te blijven. Het grootschalig kunnen gebruiken van IM kan nog jaren duren en is afhankelijk van implementatie van het IM-algoritme in vliegtuigen en ADS-B. Vorig jaar is een onderzoek gedaan naar ground based interval management (GBIM). Dit is ongeveer hetzelfde systeem als IM, maar met een grondstation dat vliegtuiginformatie ophaalt, dit gebruikt om een geschikte snelheid te berekenen en dit aan de luchtverkeersleider voorlegt. De eerste resultaten van dit onderzoek lieten zien dat GBIM potentie heeft, maar er is meer onderzoek nodig voordat het kan worden geïmplementeerd.

3.3.3.3 Directer vliegen

Voor een vlucht vertrekt wordt er een route uitgestippeld langs verschillende waypoints. Omdat er een beperkt aantal waypoints bestaat zijn er dus afwijkingen t.o.v. een directe route. Dit betekent dat er meer brandstof wordt verbruikt dan in een optimale situatie nodig zou zijn. Eurocontrol is de laatste jaren bezig om het luchtruim beter te benutten en vliegtuigen directer te laten vliegen. Echter zijn niet alle luchtruimen operationeel perfect op elkaar aangesloten, waardoor het nog steeds niet altijd mogelijk is om optimaal te vliegen.

De afgelopen jaren is in het SESAR project onder andere gewerkt aan mogelijk maken van free routing, wat inhoudt dat luchtvaartmaatschappijen de meest efficiënte route mag plannen. Hiermee zou een reductie kunnen worden gehaald van 6% tot 12% aan brandstofverbruik. Dit principe wordt reeds toegepast binnen enkele minder drukke gebieden. In centraal Europa, waar de grootste verkeersdichtheid voorkomt wordt dit nog niet toegepast.

3.3.3.4 Arrival management

Vliegtuigen worden door de luchtverkeersleiding afgehandeld. Wanneer een vliegtuig een ander luchtruim binnenvliegt wordt deze overgedragen aan de daarvoor verantwoordelijke luchtverkeersleiding. De vliegtuigen komen ongestructureerd binnen en de luchtverkeersleider moet er voor zorgen dat de vliegtuigen netjes achter elkaar worden gezet om bijvoorbeeld te landen. Om de doorstroom van vliegtuigen tot aan de baan te bevorderen is binnen SESAR gewerkt aan Arrival Management (AMAN) en Extended AMAN (E-AMAN). Dit systeem zorg er voor dat vliegtuigen al ver van te voren op basis van de bestemming worden gesequentiëerd, zodat bij aankomst op de luchthaven de luchtverkeersleiding minder werk heeft om de separatie tussen vliegtuigen te bereiken. Doordat deze systemen congestie in het luchtruim rondom de luchthaven voorkomen kunnen vertragingen worden gereduceerd en daarmee de benodigde hoeveelheid brandstof.

3.3.3.5 Steilere daalhoek

Binnen SESAR is ook gekeken naar het gebruiken van een steilere daalhoek tijdens de landing. Over de wereld wordt een 3 graden daalhoek bij het laatste deel van de landing gehanteerd, maar deze hoek kan mogelijk verhoogd worden. Dit heeft als bedoeld effect het reduceren van geluid in de omgeving, echter is er ook een afname in brandstofverbruik waargenomen [12]. In Londen is reeds geëxperimenteerd met een steilere daalhoek en in Frankfurt wordt dit toegepast. Welk effect deze maatregel zou hebben op de specifieke gevallen van de Nederlandse luchthavens is nog niet eerder onderzocht.

4 Emissies – geluid en luchtverontreiniging

Startend, landend en overvliegend vliegverkeer zorgt in de leefomgeving voor dagelijkse hinder, maar kan ook op de langere termijn tot gezondheidsklachten leiden. Deze hinder en gezondheidsklachten worden met name veroorzaakt door geluid en luchtverontreiniging door vliegverkeer. Onderzoeken en berekeningen die de afgelopen decennia zijn uitgevoerd hebben inzicht geleverd in de ontwikkeling van het geluid, de emissies van luchtverontreinigende gassen en fijnstof en de hinderbeleving rondom luchthavens. Dit hoofdstuk zal een beeld schetsen van de ontwikkelingen en de huidige situatie rondom geluid en emissies.

Zoals eerder genoemd wordt met de huidige kennis uitgegaan van circa 3,6% jaarlijkse groei van de globale luchtvaart, voor Europa ligt de verwachte groei rond de 2,3% [11]. Deze groei kan mogelijkerwijs, als deze trend ook op de Nederlandse markt doorzet, zorgen voor een afname van de leefbaarheid rondom luchthavens. De verwachte vlootvernieuwing kan mogelijk niet alle milieu effecten door toename van het aantallen vluchten compenseren. Dit is afhankelijk van de beschouwde luchthaven en het beschouwde scenario voor wat betreft de aantallen vliegtuigbewegingen, de vliegtuigtypen, de motortypen waarmee de vliegtuigen worden uitgerust en bijvoorbeeld de vliegprocedures.

4.1 Luchtvaartgeluid

4.1.1 Geluid door de tijd

In de afgelopen jaren hebben verschillende ontwikkelingen plaatsgevonden met betrekking tot vliegtuiggeluid en -hinder. Een in het oog springende ontwikkeling is dat voor Schiphol geluidberekeningen zijn uitgevoerd volgens het ECAC Doc.29 voorschrift. Dit is een voorschrift dat in Europa ontwikkeld wordt, waarbij gebruik wordt gemaakt van de laatste inzichten met betrekking tot het modelleren van vliegtuiggeluid rondom vliegvelden.

Bij deze berekeningen is gewerkt met een rekenmodel op basis van de meest recente editie van Doc.29 en zijn invoergegevens vastgesteld volgens de huidige inzichten en in een aantal gevallen zelfs gedetailleerder dan volgens de huidige inzichten nodig is [13].

Een andere ontwikkeling is dat onderzoek is gedaan naar de toepassing van geluidmetingen. Er is reeds onderzoek gedaan naar verschillende manieren waarop metingen gebruikt kunnen worden, al dan niet in combinatie met berekeningen. In referentie [14] staat algemene informatie over geluidberekeningen, metingen en de combinatie van beide. In het verleden is onder andere onderzoek gedaan naar de mogelijke toepassing van metingen voor handhaving en zijn metingen gebruikt zijn om rekenresultaten te valideren. Deze twee voorbeelden worden hierna kort toegelicht.

In 2008 is onderzoek gedaan naar de vraag of, en zo ja hoe, een geluidmeetpost in het buitengebied kan worden gebruikt als ‘flitspaal’ om te hoge geluidniveaus te meten en eventueel actie te nemen naar aanleiding van deze te hoge geluidniveaus [15]. In deze context is een flitspaalsysteem onderzocht, waarmee wordt geconstateerd of tijdens een vliegtuigpassage een vooraf vastgestelde grenswaarde wordt overschreden. Als wordt geconstateerd dat een grenswaarde is overschreden dan krijgt de overtreder een boete. Op het gemeten vliegtuiggeluid moet een meetmarge worden toegepast vanwege de onnauwkeurigheden bij het meten van vliegtuiggeluid. De meetmarge

wordt afgetrokken van het gemeten geluid, voordat toetsing aan de grenswaarde plaatsvindt (dit is vergelijkbaar met flitspalen voor het meten van snelheden voor wegverkeer). De toe te passen meetmarge is afhankelijk van de vereiste juridische betrouwbaarheid en was met de toenmalige inzichten dusdanig hoog, dat het systeem geen boetes zou genereren in het buitengebied. De gevraagde flitspalen systematiek is daardoor nutteloos gebleken.

Daarnaast is in de afgelopen jaren tweemaal op basis van metingen een validatie van geluidberekeningen uitgevoerd voor geluid in de omgeving van vliegbasis Geilenkirchen en nabij Schiphol [16 en 17]. Deze validaties zijn uitgevoerd in respectievelijk 2013 en 2018 en hierbij is onderzocht in hoeverre de berekende geluidbelasting dezelfde trends laat zien als de geluidbelasting op basis van geluidmetingen.

Naast onderzoek naar het vaststellen van de hoeveelheid geluid die rondom vliegvelden wordt geproduceerd, wordt ook getracht meer inzicht te krijgen in het effect dat geluid heeft op mensen in de omgeving van vliegvelden. Zo doen momenteel verschillende partijen onderzoek in het ANIMA project [18]. Dit project heeft tot doel om de meest geschikte methoden voor het verlagen van de hinder in gemeenschappen nabij vliegvelden te identificeren. Hierbij wordt getracht om meer begrip te krijgen van verschillende niet akoestische factoren die geluidhinder beïnvloeden en om de kwaliteit van leven van gemeenschappen nabij vliegvelden te verbeteren. Aangezien dit een Europees project is waaraan 22 partijen uit 11 landen meewerken geeft het project een breed beeld van internationale inzichten en ontwikkelingen op het gebied van de impact van vliegtuiggeluid.

De effecten van geluid op gezondheid worden onder andere onderzocht door de wereld gezondheidsorganisatie (WHO). Op 10 oktober 2018 heeft de WHO een document gepubliceerd [19] waarin men ingaat op verschillende effecten die vliegtuiggeluid kan hebben op de gezondheid. Hierbij gaat het bijvoorbeeld over hartaandoeningen, een verhoogde bloeddruk, maar ook over de invloed op de leesvaardigheid van kinderen. Het document geeft echter ook aan dat in veel gevallen het bewijs voor de gedane aanbevelingen niet sterk is, waardoor aanvullend onderzoek wenselijk is.

4.1.2 Verwachte ontwikkelingen met betrekking tot vliegtuiggeluid

Vliegtuiggeluid is een onderwerp dat continue aandacht heeft van omwonenden en de politiek. Om te kunnen voldoen aan de wensen vanuit de maatschappij zullen de komende jaren ontwikkelingen plaats gaan vinden in relatie tot het vaststellen van de hoeveelheid vliegtuiggeluid en het in kaart brengen van de effecten daarvan.

Een belangrijke ontwikkeling is dat in de toekomst meer gebruik gemaakt zal gaan worden van geluidmetingen. Deze ontwikkeling is al enige tijd gaande, zoals onder andere blijkt uit de eerder genoemde studies naar het gebruik van metingen voor handhaving en de trendvalidaties voor Geilenkirchen en Schiphol. In een brief aan de Tweede Kamer van oktober 2018 heeft de Minister van Infrastructuur en Waterstaat kenbaar gemaakt dat gewerkt gaat worden aan een landelijke programmatische aanpak voor het meten van vliegtuiggeluid in samenwerking met het RIVM, het KNMI en het NLR [20]. Hierbij wordt onderzoek gedaan naar het verbeteren van zowel berekeningen als metingen en het onderling versterken van beide methodes. De aanpak moet er toe leiden dat voor iedereen betrouwbare en herkenbare gegevens beschikbaar worden gemaakt. Deze gegevens dienen zowel ter informatie van burgers als voor het maken van weloverwogen beleidskeuzes. Bij het opzetten van de aanpak dient rekening gehouden te worden met verschillen tussen het meten en berekenen van vliegtuiggeluid, die bijvoorbeeld ontstaan doordat de uitkomsten van metingen worden beïnvloed door de continu veranderende atmosfeer en doordat berekeningen kunnen afwijken van de werkelijk waargenomen geluidniveaus ten gevolge van aannames in de modellering.

Een trend is dat de hoeveelheid geluid die vliegtuigen per vliegbeweging produceren in de loop van de tijd afneemt. De verwachting is dat deze ontwikkeling zich voortzet, mede doordat in het grote Europese onderzoeksprogramma Clean Sky 2 onderzoek wordt gedaan naar nieuwe technologieën om de milieu-impact van vliegtuigen terug te dringen. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om het ontwikkelen van stillere motoren, maar ook om aerodynamische verbeteringen. Naast het ontwikkelen van deze technologieën wordt binnen het project ook inzichtelijk gemaakt wat de verwachtte effecten zijn op de hoeveelheid geluid die rondom luchthavens wordt geproduceerd. Een afname van het geluid per vliegtuigbeweging wil overigens niet zeggen dat de hoeveelheid hinder per definitie ook afneemt. Dit komt doordat de hinder van meerdere factoren afhangt, waaronder bijvoorbeeld de hoeveelheid vliegbewegingen.

Een andere ontwikkeling die de komende jaren aandacht verdient is elektrisch vliegen. Weliswaar zal dit in de komende jaren slechts aan de orde zijn voor relatief kleine vliegtuigen, maar ook met die vliegtuigen kan inzicht verkregen worden in de geluidproductie bij elektrisch vliegen. Een elektrische motor zal aanzienlijk stiller zijn dan de huidige generatie motoren, maar ander onderdelen van elektrische vliegtuigen zullen wel geluid produceren. Met reeds bestaande elektrische vliegtuigen kan in de praktijk onderzoek gedaan worden naar de geluidproductie van dergelijke vliegtuigen. Daarnaast kunnen theoretische studies al een doorkijk geven naar de verwachte geluidproductie van grotere elektrische toestellen.

Veel concepten die uitgaan van elektrische voortstuwing, maken gebruik van *distributed propulsion*. Dit wil zeggen dat de stuwkracht geleverd wordt door een groot aantal motoren die over een groot deel van het vliegtuig verdeeld zitten. Dit in tegenstelling tot conventionele vliegtuigen die meestal met twee motoren zijn uitgerust. Het toepassen van distributed propulsion kan de geluidproductie van een vliegtuig verminderen.

Andere ontwikkelingen die de geluidproductie van vliegtuigen kunnen beïnvloeden zijn bijvoorbeeld:

- de ontwikkeling van supersone vliegtuigen
- nieuwe types motoren zoals het open rotor concept (zie Figuur 7)
- de introductie van drones en vliegende taxi's.

Deze onderwerpen worden in de volgende alinea's besproken.

De open rotor is een motortype waarmee naar verwachting zuiniger gevlogen kan worden dan met bestaande straalmotoren. Een nadeel van dit motortype is dat de vliegsnelheid voor toestellen met deze motoren wat lager ligt dan bij straalvliegtuigen en een ander punt van aandacht is de geluidproductie. Binnen Clean Sky 2 wordt onderzoek gedaan naar dit motortype en de verwachting is dat het mogelijk is om dit motortype te ontwikkelen binnen de normen van certificatiestandaarden voor vliegtuiggeluid [46].



Figuur 7: Open rotor (bron: http://www.cleansky.eu/sustainable-and-green-engines-sage)

Daarnaast wordt momenteel met name in de Verenigde Staten onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van supersoon vliegen. Bij deze toestellen is niet alleen het geluid van de motoren een punt van aandacht, maar ook het geluid van de supersonische schokgolf dat ontstaat doordat het toestel sneller dan het geluid vliegt. Om te zorgen dat dergelijke vliegtuigen ook boven land sneller dan het geluid mogen vliegen wordt onderzoek gedaan naar methoden om de geluidniveaus van de supersonische schokgolf te reduceren.

In de komende jaren zal het gebruik van drones naar verwachting toenemen. Daarbij gaat het zowel om gebruik door particulieren als om commercieel gebruik, bijvoorbeeld voor het vervoeren van pakketjes. Hierbij is het geluid dat deze drones produceren een van de punten van aandacht. Ook zijn verschillende bedrijven, zoals Volocopter en Lilium, bezig met de ontwikkeling van elektrische luchttaxi's. Hierbij gaat het om relatief kleine elektrische vliegtuigen, die doorgaans verticaal kunnen starten en landen. Met name in drukke stedelijke gebieden kan dit een middel zijn om het drukke wegverkeer te omzeilen. Dit betekend wel dat een nieuwe geluidbron in de lucht wordt geïntroduceerd waarvoor onderzocht moet worden hoeveel geluid deze produceert en welke regelgeving nodig is voor het gebruik van dergelijke toestellen.

4.2 Luchtverontreiniging door de luchtvaart

Inleiding

Bij de verbranding van zowel fossiele als alternatieve brandstoffen ontstaan gassen en fijnstof waaraan in het kader van de luchtkwaliteit grenswaarden zijn gesteld in wet en regelgeving. Fijnstof bestaat per definitie uit deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer. Deze deeltjes ontstaan zowel in de motor als in de uitlaatstraal van vliegtuigmotoren. Welke en hoeveel deeltjes[2] bij de verbranding ontstaan, hangt af van zaken als de chemische samenstelling van de brandstof, de stand der techniek in het motorontwerp, de gashandelstand en de operationele condities. Daarnaast kan fijnstof ook vrij komen bij bijvoorbeeld de landing van vliegtuigen waarbij er slijtage van remmen, banden en asfalt optreedt.

Leeswijzer

In hoofdstuk 4.2.1 wordt ingegaan op de emissies van de relevante luchtverontreinigende stoffen afkomstig van het vliegverkeer en het effect daarvan op de gezondheid, de lokale luchtkwaliteit en de depositie nabij luchthavens. Het effect van de technologische ontwikkelingen in de luchtvaart op de emissies wordt besproken in hoofdstuk 4.2.2. De technologische ontwikkelingen die worden geadresseerd zijn o.a. vlootvernieuwing, de introductie van alternatieve brandstoffen en het effect dat ontwikkelingen t.a.v. afhandeling van vliegtuigen op de platformen op de emissies hebben. Hoofdstuk 4.2.3 gaat in op het effect van de groei van de luchtvaart in combinatie met het effect van de technologische ontwikkelingen op de luchtkwaliteit rondom luchthavens. Ten slotte wordt in hoofdstuk 4.2.4 ingegaan op de leemten in kennis die bestaan ten aanzien van het effect van een deel van de emissies, het zogenaamde ultrafijnstof, op de gezondheid.

[2] Fijnstof bestaat uit zowel een niet-vluchtig deel als een vluchtig deel. Het niet-vluchtige deel ontstaat in de verbrandingskamer en bestaat vooral uit (koolstof-houdend) roet, maar kan daarnaast ook metalen en keramische deeltjes bevatten. Het vluchtige deel ontstaat stroomafwaarts van de verbrandingskamer in de koeler wordende stroming rondom gasvormige en de niet-vluchtige deeltjes komend uit de verbrandingskamer.

4.2.1 Effect emissies op omgeving

Alle nieuwe grote[3] (burgerluchtvaart) vliegtuigmotoren moeten voldoen aan motoremissiecertificatie eisen welke door ICAO zijn opgesteld voor de gassen NO_x, CO, HC en het zogenaamde Smoke Number. Hierbij is het Smoke Number een maat voor de hoeveelheid roet in de uitlaatgassen. Met behulp van dit Smoke Number kan een schatting worden gemaakt van het zogenaamde PM_{10} (deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer). Voor moderne vliegtuigmotoren geldt dat bijna alle PM_{10} bestaat uit $PM_{2,5}$ (deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 2,5 micrometer). Behalve dit PM_{10} en $PM_{2,5}$ wordt ook ultrafijnstof (UFP) onderscheiden. Ultrafijnstof is het bestanddeel van fijnstof met de allerkleinste afmeting: kleiner dan 0,1 micrometer. Recent heeft ICAO [45] ook een standaard opgesteld voor de uitstoot van (niet-vluchtig) fijnstof welke van toepassing zal zijn voor de certificatie van vliegtuigmotoren geproduceerd vanaf 1 januari 2020.

Zoals eerder aangegeven hebben deze emissies effect op de luchtkwaliteit en stikstofdepositie. Deze worden hierna besproken.

Luchtkwaliteit

Luchtkwaliteit wordt bepaald door de concentraties op leefniveau[4] (immissies) van stoffen in de atmosfeer die de gezondheid en het milieu negatief kunnen beïnvloeden in relatie tot de maximum toegestane waarden die wet en regelgeving aan deze concentraties stellen. De concentraties zijn de som van:

- de achtergrondconcentraties
- de bijdragen door emissies van luchtvaart bronnen op en nabij de luchthaven
- het wegverkeer nabij de luchthaven
- eventueel andere (qua grootte) relevante emissiebronnen nabij de luchthaven.

<u>Bescherming</u>

De omwonenden van luchthavens worden – net als alle andere inwoners van Nederland - met wet- en regelgeving beschermd tegen de schadelijke gevolgen van luchtverontreiniging. De belangrijkste wet daarbij is de Wet milieubeheer die grenswaarden stelt aan de concentraties van verschillende luchtverontreinigende stoffen (gassen en deeltjes). Hierbij kunnen in Nederland met name de stikstofdioxide (NO_2) en fijn stof (PM_{10}) concentraties nog problematisch zijn. Van overige stoffen zoals CO, SO_2 en benzeen is bekend dat deze de gestelde grenswaarden in recente jaren (vrijwel) nooit hebben overschreden zoals blijkt uit de jaarlijkse rapportages vanuit het Landelijk Meetnet Luchtverontreiniging van RIVM. Voor ultrafijnstof wordt nog onderzocht dat dit potentieel het meest gevaarlijk is voor de gezondheid. Voor dit ultrafijnstof bestaan dergelijke normen echter (nog) niet. In hoofdstuk 4.2.4 wordt nader ingegaan op het verband tussen ultrafijnstof en gezondheid.

Stikstofdepositie

Stikstofdepositie betreft het neerslaan van stikstofhoudend gas of deeltjes op de bodem of een wateroppervlak. Stikstof is een voedingstof voor planten. De ene plant gedijt beter bij kleine hoeveelheden stikstof, de andere plant juist bij grotere hoeveelheden. Bij een toename van de stikstofdepositie in het milieu zouden daarmee de planten die floreren bij lage depositieniveaus worden verdrongen door planten die het goed doen bij hogere depositieniveaus. Als gevolg hiervan kan de biodiversiteit van planten en dieren afnemen en kunnen ecosystemen op ingrijpende wijze worden beïnvloed.

[3] De motorcertificatie eisen gelden voor alle turbojet and turbofan motoren met een statische stuwkracht groter dan 26.7 kN.
[4] 1,5 meter boven de grond

De landelijk gemiddelde stikstofdepositie was in 2016 met 40% gedaald t.o.v. het niveau van 1990. Deze lange termijn daling in de stikstofdepositie is het gevolg van lagere emissies van zowel stikstofoxiden als van ammoniak. De verwachting is dat de daling in emissies van NO_x en NH_3 in de periode tot 2030 doorzet. Dit is het gevolg van vastgesteld en voorgenomen beleid. Omdat de huidige niveaus, ondanks de forse genoemde daling nog steeds heel hoog zijn dient bij elke uitbreiding van luchthaven activiteiten nog wel te blijven worden onderzocht hoe dit past in de de bescherming van habitats in natuurgebieden.

Bescherming

Om de soortenrijkdom in natuurgebieden te behouden dient de stikstofdepositie dus te voldoen aan bepaalde beschermingsniveaus. De wet die deze natuurgebieden beschermt, is de Wet Natuurbescherming. Sinds 2015 is in Nederland het zogenaamde PAS (Programma Aanpak Stikstof) van kracht. Het PAS is gekoppeld aan de Wet Natuurbescherming en is een gezamenlijke, samenhangende aanpak van alle betrokken overheden op provinciaal en rijksniveau. Het PAS bevat maatregelen die leiden tot een afname van stikstofdepositie en maatregelen die leiden tot een versterking van de natuurwaarden in de Natura 2000-gebieden. Op 7 november 2018 heeft het Europese Hof vraagtekens gezet bij de PAS. Wat dit precies betekent voor het PAS is op het moment van dit schrijven nog niet duidelijk.

4.2.2 Technologische ontwikkelingen

4.2.2.1 Luchtverontreinigende emissies (fossiele brandstof)

Vliegtuigoperaties relevant voor lokale luchtkwaliteit

Voor wat betreft het effect van luchtvaart emissies op de luchtkwaliteit was tot voor kort de veronderstelling dat alleen de emissies op de grond (tijdens warmdraaien, proefdraaien en taxiën) en in de onderste laag van de atmosfeer (take-off en landing) van belang zijn. Dit betekent dat een andere gashandelstand op de startbaan en tijdens het eerste deel van de klim een relatief grote impact op de lokale luchtkwaliteit heeft, maar dat een verandering van bijvoorbeeld een vliegprocedure vanaf een hoogte van bijvoorbeeld 800 ft nauwelijks effect zou hebben op de luchtkwaliteit. Er zijn echter indicaties dat de grote uitlaatsnelheden bij de klim van het vliegtuig ook emissies van boven de 800ft dusdanig ver omlaag verplaatsen dat ook deze van belang voor de luchtkwaliteit kunnen zijn.

Hoofdstuk 3.3.2.2 beschrijft de mogelijke introductie van elektrische systemen als de WheelTug en de Taxibot voor gebruik bij het taxiën van de vliegtuigen op de platforms en de taxibanen. De WheelTug wordt aangedreven door de APU welke in vergelijking met de hoofdmotoren van de vliegtuigen aanzienlijk minder brandstof verbruikt tijdens het taxiën. Het gebruik van de WheelTug leidt daarmee tot een reductie in CO_2 emissies. Het is echter de vraag of de APU bij WheelTug gebruik minder stikstofoxiden en fijnstof uitstoot dan de hoofdmotoren tijdens het taxiën. Dit hangt af de grootte en de tijdsduur van power/thrust settings, het brandstofverbruik en de emissie gegevens van de beschouwde APU en die van de beschouwde hoofdmotoren tijdens het taxiën. Het gebruik van elektrische grondsystemen als de TaxiBot in plaats van de hoofmotoren leidt wel zeker tot minder lokale emissies van luchtverontreinigende stoffen, maar is wel complexer in de operatie dan de WheelTug omdat er meer voertuigen over de platforms en taxibanen bewegen.

Vlootvernieuwing

Zoals aangegeven in hoofdstuk 3 zijn vliegtuigen door de jaren heen significant zuiniger geworden door gebruik van nieuwere motoren (verhoging bypass ratio, ontwikkeling geared turbofan etc), verbeterde aerodynamica en toepassing van lichtere materialen in vliegtuigen. Door vlootvernieuwing, de invoering van nieuwere vliegtuigtypen, is het brandstofverbruik per passagier-kilometer over de laatste 50 jaar gemiddeld met ongeveer 50% gedaald. Omdat de CO_2 uitstoot evenredig is met het brandstofverbruik is ook de CO_2 uitstoot per passagier-kilometer met ongeveer 50% gedaald over de aangegeven periode. De verwachting is dat deze trend de komende jaren door zal zetten. Met het mogelijk gebruik van de open rotor techniek (zie hoofdstuk 4.1.2), de ontwikkeling van hybride voorstuwing, gevolgd door elektrische voortstuwing (voor eerst de kleinere vliegtuigen) zijn naar verwachting ook in de wat verdere toekomst significante brandstof besparingen en daarmee CO_2 reducties mogelijk (zie hoofdstuk 3).

Voor wat betreft de emissies van de gassen HC, CO en NO_x en het zogeheten Smoke Number welke worden bepaald in de eerder genoemde motorcertificatie geldt het volgende. Voor de modernste motoren geldt dat de uitstoot van HC en het Smoke Number ruimschoots voldoen aan de certificatie eisen. Voor de NO_x uitstoot van motoren gaat de verlaging in emissies minder snel omdat gelijktijdig met de brandstof efficiency verbetering de hoeveelheid uitgestoten NO_x per kg brandstof – door verhoging van ‘de motordrukverhouding’ – enigszins kan toenemen, zoals ook is toegestaan in de motorcertificatie standaards van ICAO. Voor motorfabrikanten ligt ‘hierin’ een behoorlijke uitdaging naar de toekomst toe.

Door vlootvernieuwing zullen de genoemde verlagingen in emissies ook tot uiting komen tijdens taxiën, take-off en landing van de vliegtuigen en daarmee aan een vermindering van de uitstoot van deze emissies op de grond en op lage hoogte wat een verbetering van de luchtkwaliteit oplevert.

4.2.2.2 Luchtverontreingende emissies (alternatieve brandstoffen)

Biofuels (zie H3.3.1.1)

Meetresultaten [39] geven aan dat de verbranding van biobrandstof kan leiden tot een substantiële fijnstof reductie in vergelijking met de verbranding van fossiele brandstof. De belangrijkste verklaring hiervoor ligt in het verschil in chemische samenstelling tussen beide soorten brandstoffen. Het lagere zwavel- en aromatengehalte in biobrandstof draagt bij aan de lagere fijnstof uitstoot. Echter ook de waterstof/koolstof verhouding, de hoeveelheid naftaleen en andere aan de brandstof toegevoegde stoffen (additieven) zijn van belang.

Ook bij het gebruik van biobrandstof is de fijnstof uitstoot echter niet naar nul te reduceren. Dit wordt onder andere veroorzaakt door het aromatengehalte in drop-in brandstof. Deze aromaten leiden tot fijnstof uitstoot. Volgens (de huidige) internationale specificaties dient de hoeveelheid aromaten in een vliegtuigbrandstof tenminste acht (volume) procent te zijn. Dit minimum gehalte is nodig voor het behoud van het afdichtingsmateriaal in de vliegtuigmotor en daarmee is de uitstoot van fijnstof bij gebruik van drop-in brandstof onontkoombaar. Ook de aanwezigheid van zwavel in brandstof leidt tot fijnstof uitstoot. Fossiele brandstof bevat een klein percentage zwavel, biobrandstof bevat daarentegen in het algemeen geen of nauwelijks zwavel. Samenvattend kan worden gesteld dat het gebruik van biobrandstof in het algemeen leidt tot minder fijnstof uitstoot dan gebruik van fossiele brandstof, maar dat dit zeer sterk afhankelijk is van de chemische samenstelling van de brandstof, zo kunnen reducties tot wel enkele tientallen procenten worden behaald.

Synthetische brandstoffen (zie H3.3.1.3)
Synthetische brandstoffen kunnen worden geproduceerd met behulp van verschillende productieprocessen en vanuit verschillende bron. Hierbij valt te denken aan productieprocessen als (syn)gas to liquid (GTL), coal to liquid (CTL), power to liquid (PTL) en sun to liquid (STL) [40]. Net als bij biobrandstof is de hoeveelheid fijnstof emissies welke ontstaat bij verbranding van alternatieve brandstof, afhankelijk van het aromatengehalte, de waterstof/koolstof verhouding en andere aan de brandstof toegevoegde stoffen.

4.2.2.3 Platform activiteiten

Op de platforms van de luchthavens vinden diverse activiteiten plaats die kunnen leiden tot emissies van luchtverontreinigende stoffen. Dit betreft activiteiten als het leveren van elektriciteit voor de vliegtuig boordsystemen, de airconditioning van de vliegtuigcabines, het starten van de straalmotoren van de vliegtuigen en het gebruik van ground service equipment bij de afhandeling van vracht- en passagiersvliegtuigen.

Elektriciteitsvoorziening boordsystemen
De elektriciteit benodigd voor de vliegtuig boordsystemen kan geleverd worden door de vliegtuig auxiliary power unit (APU), door een ground power unit (GPU) of door een zogenaamde Fixed Electrical Ground Power (FEGP) 400Hz aansluiting nabij de vliegtuig afhandelingsplaats. De APU gebruikt daarbij als brandstof kerosine. De GPU's betreffen met name dieselmotoren, maar sinds kort zijn er ook elektrische aangedreven versies beschikbaar. Het gebruik van de APU leidt gemiddeld tot veel meer emissies dan de een diesel GPU, waarbij de GPU's door de jaren heen ook steeds schoner worden. Gebruik van Fixed Electrical Ground Power levert lokaal op de platforms geen emissies op omdat de stroom voor dit systeem elders wordt opgewekt.

Airconditioning
De APU kan ook de airconditioning aan boord van de vliegtuigen verzorgen. Daarbij komen weer relatief veel emissies vrij. Een alternatief is dat de luchthaven op de opstelplaatsen preconditioned air (PCA) aanbiedt. Net als de FEGP levert dit geen lokale emissies omdat de benodigde energie voor dit proces elders wordt gegenereerd.

Starten straalmotoren
Voor het starten van de straalmotoren van de grote civiele vliegtuigen moet nog gebruik worden gemaakt van de APU's, omdat de vaste stroomaansluiting daar niet voldoende capaciteit voor heeft.

Schiphol
Op luchthaven Schiphol zijn er sinds 2016 67 afhandelingsplaatsen voorzien van een vaste stroomaansluiting [41] en een voorziening voor PCA. Hierdoor bedraagt de verwachte NO_x reductie volgens de berekening van Schiphol 6,8% meer dan de NO_x reductiedoelstelling van 50% van het LVB (dus een reductie van 53,4%) op basis van de 61 afhandelingsplaatsen zoals aangegeven in bijlage 4 van het LVB. Bij de afhandeling van een vliegtuig aan de afhandelingsplaats draagt de vliegtuig gezagvoerder er zorg voor dat, voor de stroomvoorziening en airconditioning, geen gebruik gemaakt wordt van de in het vliegtuig aanwezige Auxiliary Power Unit of van een Ground Power Unit voor zover vervangende voorzieningen beschikbaar zijn.

Electrische GPU
Op afhandelingsplaatsen waar geen FEGP beschikbaar is wordt gebruik gemaakt van GPU's. In de loop der tijd zijn dit steeds schonere diesels geworden, waarbij recent op RTHA de eerste elektrische GPU is afgeleverd.

GSE

Het afhandelen, laden en lossen van de vliegtuigen gebeurt met ground service equipment (GSE). Soms worden ook bussen ingezet voor het transport van passagiers van en naar de vliegtuigen. Meer en meer worden hierbij op Nederlandse luchthavens (deels) elektrisch aangedreven GSE en elektrische bussen in plaats van hun respectievelijke diesel varianten ingezet waardoor de emissies afnemen hetgeen de luchtkwaliteit op de platforms ten goede komt.

4.2.3 Ontwikkeling luchtkwaliteit rondom luchthavens

Zoals in paragraaf 4.2.1 genoemd wordt de lokale luchtkwaliteit op en nabij de luchthaven bepaald door achtergrondconcentraties, vliegverkeer en andere lokale luchtvaart bronnen en het wegverkeer nabij de luchthaven.

Hoewel de bijdrage van de verschillende bronnen aan de luchtkwaliteit direct rondom een luchthaven afhankelijk zal zijn van specifiek lokale omstandigheden (aanwezigheid van snelwegen e.d.) kan in het algemeen gesteld worden dat de luchtkwaliteit grotendeels wordt bepaald door de achtergrondconcentraties van stoffen als NO_2 en PM_{10}. De bijdrage van achtergrondconcentratie is over het algemeen een orde groter dan de bijdragen van het vliegverkeer, andere luchtvaart gebonden bronnen op de platforms en het wegverkeer. Voor luchthaven Schiphol geldt verder dat gemiddeld op de grens van de luchthaven de bijdrage van het vliegverkeer en het wegverkeer voor wat betreft NO_2 direct rondom de luchthaven vergelijkbaar zijn, en voor wat betreft PM_{10} het vliegverkeer minder bijdraagt dan het wegverkeer [37]. Voor andere luchthavens in Nederland geldt dat de bijdrage van het vliegverkeer aan de luchtkwaliteit een orde kleiner is dan die van het vliegverkeer op Schiphol.

De verwachting is dat in het komend decennium de achtergrond concentraties van NO_2, PM_{10} en $PM_{2,5}$ aanzienlijk zullen dalen, mede door de voortschrijdende elektrificatie van het wegverkeer en het gebruik van meer en meer schone energie bronnen. Rondom luchthaven Schiphol wordt in vergelijking met de rest van Nederland in 2030 nog wel steeds een relatief hoge NO_2 achtergrondconcentratie verwacht [38].

<u>Vliegverkeer</u>

Zoals in H.4.2.2.1 aangegeven worden vliegtuigmotoren wel steeds schoner, maar doordat vliegtuigen een relatief lange levensduur hebben worden deze motoren slechts geleidelijk ingevoerd door vlootvernieuwing en zal de luchtkwaliteit hierdoor dus relatief slechts langzaam verbeteren. Als daarnaast sprake is van een groei in het aantal vliegtuigbewegingen of de inzet van steeds grotere vliegtuigtypen dan zal de verbetering in luchtkwaliteit door vlootvernieuwing minder snel gaan. Mocht het effect van groei en/of inzet van grotere vliegtuigtypen groter zijn dan het effect van het schoner worden van de vliegtuigmotoren dan is het totale effect van het vliegverkeer aan de luchtkwaliteit negatief in de zin dat de bijdrage aan de concentraties van verontreinigende stoffen door het vliegverkeer toenemen. Hierbij is dus van belang te weten tot welk aantal vliegtuigbewegingen een luchthaven als Schiphol mag groeien. De vlootvernieuwing wordt mede gedreven door vraag en aanbod op de markt. Mogelijk dat het gebruik van alternatieve brandstoffen nog een positieve bijdrage levert aan de luchtkwaliteit, maar momenteel is moeilijk in te schatten hoe groot deze bijdrage zal zijn tot het jaar 2030. Wel mag worden verwacht dat door de inzet van steeds schoner wordende equipment op de platformen de emissies t.g.v. APU, GPU en GSE gebruik minder zullen worden.

4.2.4 Leemten in kennis

Fijnstof en gezondheid

Zoals de World Health Organization [44] aangeeft worden PM_{10} en $PM_{2,5}$ geassocieerd met negatieve effecten op het ademhalingssysteem en hart en bloedvaten. Vliegtuigmotoren en wegverkeer stoten naast PM_{10} en $PM_{2,5}$ ook fijnstof uit dat kleiner is dan $PM_{2,5.}$ Aangenomen wordt dat het inademen van dit ultrafijnstof mogelijk nog schadelijker is voor de gezondheid dan het inademen van PM_{10} en $PM_{2,5}$ deeltjes. Het afgelopen decennium zijn er internationaal dan ook op en nabij verschillende luchthavens metingen aan ultrafijnstof verricht [43]. In dit licht heeft het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) aan het RIVM [42] gevraagd om onderzoek te doen naar ultrafijnstof rond de luchthaven Schiphol. Daarbij wordt gekeken naar de blootstelling van omwonenden aan ultrafijnstof en of en in welke mate dit effect heeft op hun gezondheid. In de RIVM studie wordt ook een vergelijking gemaakt tussen de effecten van ultrafijnstof van luchtvaart met die van ultrafijnstof afkomstig van andere bronnen (met name wegverkeer).

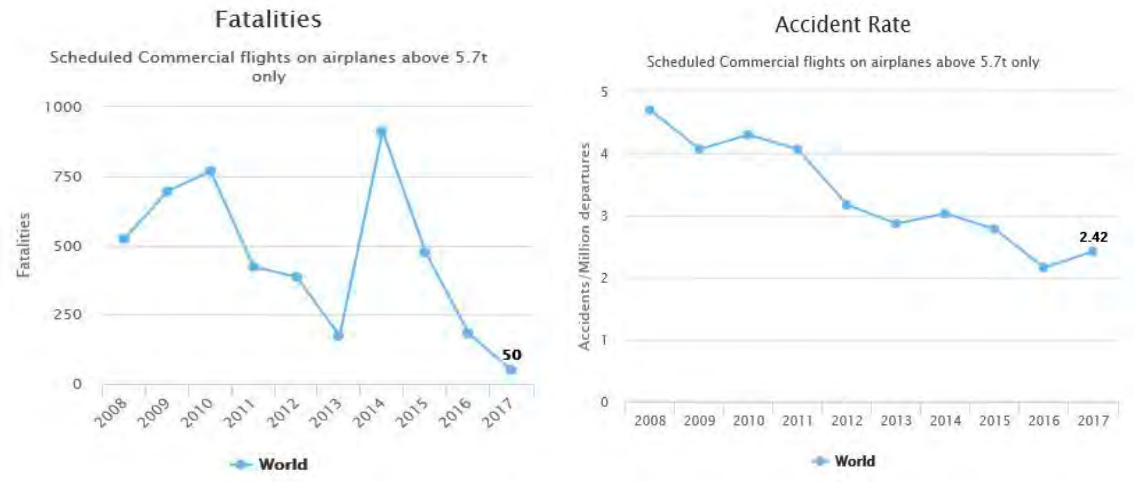
Mitigerende maatregelen (ultra)fijnstof

Gezien de potentiele risico's van (ultra)fijnstof van vliegtuigen voor de gezondheid van omwonenden van luchthavens lijkt het verstandig om - vooruitlopend op de uitslag van het gezondheidsonderzoek – een zo volledig mogelijk overzicht te verkrijgen van mogelijke mitigerende maatregelen om de concentraties van (ultra)fijnstof bij omwonenden zo ver als nodig te verlagen. Dit overzicht zou ook specifieke luchtvaart gerichte maatregelen moeten bevatten. Hierbij valt te denken aan bronmaatregelen, maatregelen voor afvang van deeltjes bij atmosferisch transport en maatregelen in de directe omgeving van omwonenden.

5 Veiligheid

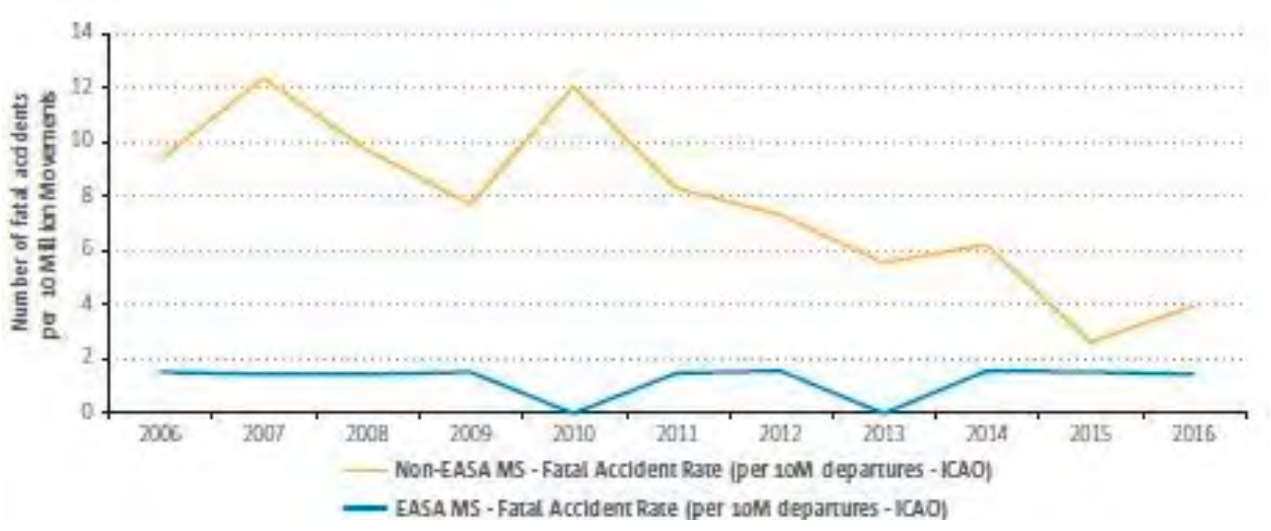
5.1 Inleiding

De veiligheid van de luchtvaart vertoont wereldwijd de laatste jaren een trend van verbetering. ICAO stelt wereldwijde ongeval-statistieken beschikbaar via ICAO's *integrated Safety Trend Analysis and Reporting System (iSTARS)*. Ongeval statistieken verkregen via iSTARS zijn weergegeven in Figuur 8. Zowel het aantal ongevallen als dodelijke slachtoffers voor *scheduled commercial flights* op vliegtuigen boven 5700 kg is de afgelopen 10 jaar vrijwel gehalveerd. Figuur 9 geeft inzicht in het ongevalsrisico van de EASA Member States versus het wereldwijde ongevalsrisico zoals beschikbaar gesteld via ICAO.



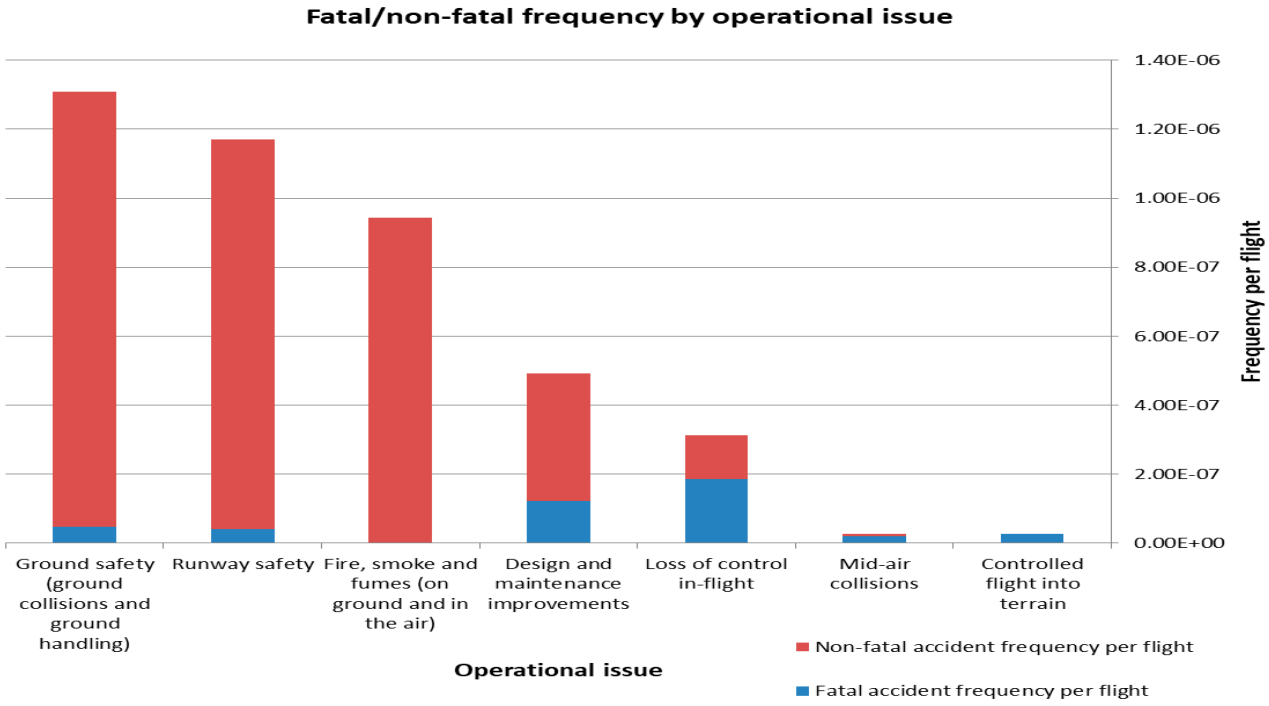
Figuur 8: Accident rate en fatalities voor scheduled commercial flights op vliegtuigen boven 5700 kg

EASA's Annual Safety Reviews over de luchtvaartveiligheid in EASA's Member States vertonen, met 2 erg goede jaren (2010 en 2013), een vrijwel constant ongevalsrisico over de afgelopen 10 jaar.



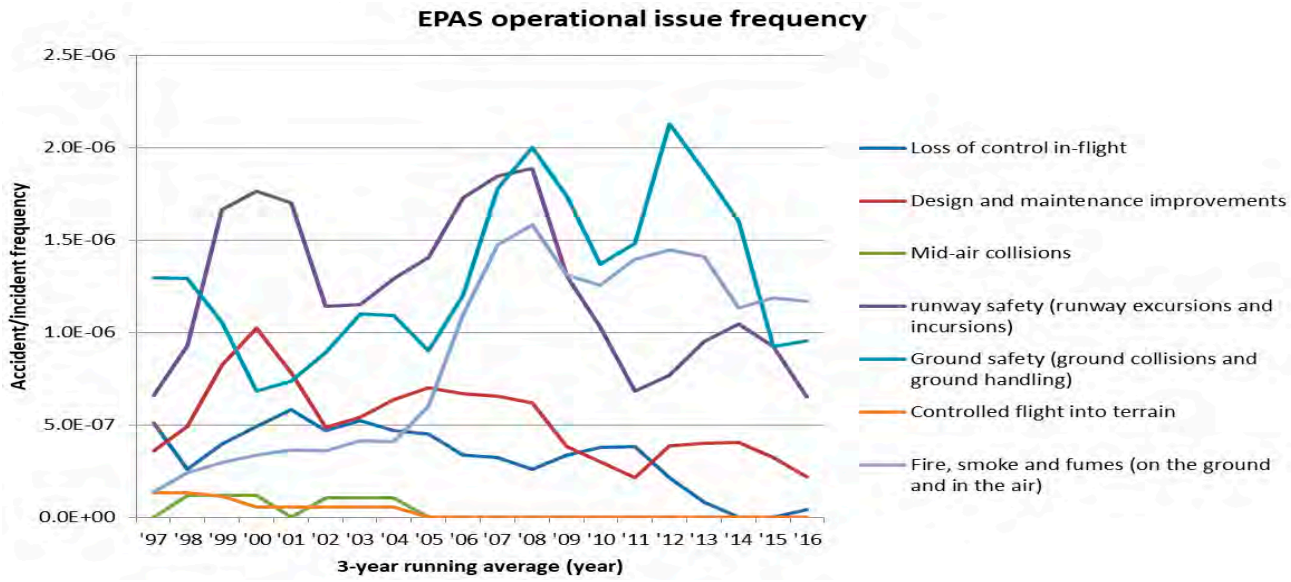
Figuur 9: Fatal accident rate in EASA Member States versus on-EASA Member States [23]

EASA onderscheidt de volgende operationele veiligheidscategorieën in de commerciële burgerluchtvaart: loss of control in-flight, design and maintenance issues, mid-air collisions, runway safety (runway excursions and runway incursions), ground safety (ground collisions and ground handling), Controlled Flight Into Terrain (CFIT), en fire, smoke en fumes (op de grond en tijdens de vlucht) [23]. Deze veiligheidscategorieën worden ook door EASA gebruikt in het European Plan for Aviation Safety [24].



Figuur 10: Fatal/non-fatal frequency by operational issue [25]

Om verder inzicht te krijgen in de veiligheidsrisico's heeft het NLR verschillende studies uitgevoerd. Zo is bijvoorbeeld een analyse gemaakt van ongevallen en bijna ongevallen in het kader van het Europese onderzoeksprogramma Future Sky Safety [25]. De analyse is uitgevoerd met behulp van een methode die initieel ontwikkeld is in de *Causal model for Air Transport Safety (CATS)* studie voor het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Deze methode is daarna door NLR is gevalideerd in het Europese onderzoeksproject ASCOS [26]. Figuur 10 geeft inzicht in het ongevalsrisico voor EASA's 7 operationele veiligheidscategorieën.



Figuur 11 Accident/serious incident frequency per operational safety issue als running average in 3-year intervals

Figuur 11 geeft het verloop van het accident/serious incident risico per operationele veiligheidscategorie over de afgelopen twintig jaar als een 'running average' over 3-year intervals.

Vrijwel alle operationele veiligheidscategorieën vertonen verbetering in de afgelopen 8 jaar. Opvallend is wel de stijging in Ground safety and Fire, smoke and fumes accidents and serious incidents over de periode 2001-2008. Mogelijk is dit een gevolg van de invoering van Directive 2003/42/EC over de rapportering, analyse en follow-up van voorvallen in de burgerluchtvaart in 2003. Voor de andere operationele veiligheidscategorieën was ook voor 2004 voorvallen rapportering verplicht voor landen in Europa.

De Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol [35], die door het NLR in 2018 is uitgevoerd voor IenW, geeft aan dat de wereldwijde kans op een ongeval per vlucht over de periode 1995 – 2016 met gemiddeld meer dan 4 procent per jaar is afgenomen, terwijl de luchtvaart met gemiddeld 2 procent per jaar is gegroeid. Dit is mede resultaat van autonome veiligheidsverbeteringen door de luchtvaartindustrie en de overheden. Ook is er sprake geweest van specifieke veiligheidsinitiatieven gericht op vermindering van het aantal ongevallen. De toekomstige autonome verbetering van de ongevalskans per vliegbeweging op Schiphol wordt geschat op gemiddeld ongeveer 3 procent per jaar [35].

De Integrale Veiligheidsanalyse stelt ook dat maatregelen nodig zijn voor 9 ongevalscategorieën om de effecten van een groei van Schiphol op de vliegveiligheid te beheersen. Deze categorieën zijn:

- Abnormal Runway Contact (ARC)
- Runway Excursion (RE)
- Undershoot/overshoot (USOS)
- Airprox/TCAS Alert/Loss of Separation/Near Midair Collisions/Midair Collisions (MAC)
- Controlled Flight Into Terrain (CFIT)
- Loss of Control – In-flight (LOC-I)
- Ground Handling (GROUND)
- Ground Collision (GCOL)
- Runway Incursion (RI)

Voor elk van deze ongevalscategorieën worden een of meerdere concrete beheersmaatregelen voorgesteld [35]. Het verdient aanbeveling om, gezien het belang hiervan voor Schiphol, ook aandacht te blijven besteden aan nieuwe technologische ontwikkelingen die de ongevalskans voor deze categorieën kunnen beïnvloeden. Dit zou kunnen leiden tot andere of aanvullende maatregelen, of tot de conclusie dat bepaalde maatregelen niet meer nodig zijn.

Verder is het van belang blijvend aandacht te besteden aan externe veiligheid ('third party risk'). Het externe veiligheidsrisico in de omgeving van een luchthaven is de weerslag van

- De omvang en aard van het vliegverkeer
- De veiligheid van de luchtvaart
- De ruimtelijke inrichting van de omgeving

De in dit document beschreven stand van zaken en ontwikkelingen t.a.v. vliegverkeer en ongevalsrisico hebben daarom direct betrekking op de externe veiligheid. Het gaat hierbij om de omwonenden van luchthavens en stedelijke gebieden, en onder andere over de mogelijke gevolgen van de complexiteit van luchthavens en de gevaren die het gebruik van drones en meer autonome luchtvaart in stedelijke gebieden met zich meebrengen.

De veiligheidsdata die beschikbaar is bij ICAO, EASA en ook NLR's eigen Air Safety Database is van groot belang voor analyse naar de oorzaken en causale factoren van vliegtuigongevallen/incidenten. Hierbij is het wel van belang te realiseren dat voor nieuwe toekomstige technologie en operaties, er nauwelijks tot geen veiligheidsdata aanwezig is. Het NLR heeft rekenmodellen en simulatiemodellen voor het ondersteunen van veiligheidsanalyses voor complexe (toekomstige) scenario's, die lastig te overzien zijn. Dit is bijvoorbeeld nodig voor de integratie van drones, de mogelijke ontwikkeling van een nieuw vliegveld in zee, of de gevolgen van digitalisering en automatisering.

De kennisvragen die in het kader van de luchtvaartveiligheid aan het NLR zijn gesteld, zijn de volgende:

- Welke technologische ontwikkelingen zijn er die de veiligheid beïnvloeden?
- Wat zijn de trendmatige veiligheidsontwikkelingen internationaal?
- Welke nieuwe veiligheidsrisico's ontstaan door verdergaande digitalisering en automatisering?

Deze drie vragen worden achtereenvolgens geadresseerd in de hoofdstukken 5.2, 5.3 en 5.4.

5.2 Technologische ontwikkelingen

Het Europese Air Traffic Management (ATM) onderzoek vindt grotendeels plaats in het Single European Sky ATM Research (SESAR) programma van de Europese Commissie. Hierbij worden operationele concepten ten behoeve van hogere capaciteit, betere efficiency, en milieu (minder geluid en emissies) onderzocht en gevalideerd. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om Performance Based Navigation (PBN), CDO (Continuous Descent Operations) en Airborne Separation Assistance Systems (ASAS). Alvorens deze technologische ontwikkelingen in het Nederlandse luchtruim kunnen worden ingevoerd, dient een veiligheidsstudie aan te tonen dat dit afdoende veilig plaats kan vinden. SESAR ontwikkelingen zijn relevant voor Schiphol, waar de sector de wens heeft geuit tot verminderen van bijvoorbeeld runway incursions en de risico's van baancombinatiewisselingen en baankruisingen.

Op veel terreinen rondom drones is er volop ontwikkeling: zowel in de technologie als de regelgeving. Verwacht wordt gebruik van grotere drones, Beyond Visual Line Of Sight (BVLOS) operaties, de introductie van U-Space (UAS traffic management). Dit zal impact hebben op de veiligheid, niet alleen van andere luchtruim-gebruikers en mensen op de grond, maar ook van kwetsbare objecten of (economisch) belangrijke infrastructuren als luchthavens. Interessant is

verder ook de mogelijke spin-off die het gebruik van drones kan hebben ter vergroting van de veiligheid van andere transport modes (weg, spoor, water), bijvoorbeeld voor inspectie van kritische infrastructuren zoals stormvloedkeringen, maar ook ter ondersteuning van de afhandeling van incidenten en ongevallen.
De toename van het gebruik van meer complexe communicatie netwerken in de luchtvaart brengt zowel positieve als negatieve effecten met zich mee. Positief zijn bijvoorbeeld de ondersteuning van autonoom vliegen en accommodatie van drones in het Europese U-Space luchtruim, de mogelijke vermindering van de gevolgen van menselijke fouten en effectiever gebruik van het luchtruim. Het risico op cyberaanvallen en verstoringen in het netwerk van luchthavens en verkeersleiding zou echter groter kunnen worden. Hiervoor dienen geschikte oplossingen nog te worden ontwikkeld.

Ook klimaatverandering kan mogelijk invloed hebben op de luchtvaartveiligheid. Als gevolg van de verandering in ons klimaat krijgt Nederland mogelijk vaker te maken hevige regenval of ernstige storm. Hierdoor zou de kans op een voorval als runway excursion door een (te) natte baan verhoogd kunnen worden. NLR heeft flight test-onderzoek gedaan van landingen op een landingsbaan met daarop een waterbak [30]. De waterhoeveelheid in deze bak komt overeen met wat er tijdens hevige regenval kan ontstaan op een landingsbaan. Deze test laat de remprestaties van een vliegtuig zien onder deze extreme omstandigheden. De opgebouwde ervaringen worden toegepast in het verbeteren van de operationele veiligheid en in het verfijnen van de onderzoeksmethodieken in de baanstroefheid. Het onderzoeksprogramma Future Sky Safety besteedt hier aandacht aan, en gaat ook in op mogelijke nieuwe technologische ontwikkelingen die de ongevalskans op een runway excursion zouden kunnen verminderen [22].

De klimaatimpact van vliegen kan worden verminderd door meer gebruik te maken van elektrische/ hybride aangedreven vliegtuigen. Hier wordt bijvoorbeeld onderzoek naar gedaan in het Europese CleanSky programma. Het NLR onderzoekt toekomstige toepassingen op zijn Pipistrel Alpha Electro.

Van oudsher is het luchtruim het domein van de luchtvaart. Nieuwe technologische ontwikkelingen, vooral in het kader van het realiseren van de klimaatdoelstellingen, leiden er echter toe dat er in toenemende mate een claim wordt gelegd op luchtruim voor andere doeleinden. Er moet gedacht worden aan zeer grote windturbines of draadgebonden vliegtuigen of vliegers voor het opwekken van duurzame energie. Deze installaties dringen, met een hoogte groter dan 500 voet, door in het luchtruim waar normaliter alleen luchtvaartuigen opereren. Dit betekent dat deze installaties een risico kunnen opleveren voor het luchtverkeer. Hierbij speelt niet alleen het botsingsrisico een rol maar ook het risico van heftige turbulentie en windverstoringen, dat mogelijk een gevaar kan opleveren voor de bestuurbaarheid van vliegtuigen die dergelijke installaties passeren. Er bestaan op dit moment geen nationale of internationale criteria om deze risico’s te kunnen beoordelen. Nader onderzoek, zowel theoretisch als experimenteel, is nodig om deze risico’s goed in kaart te brengen en te kunnen beoordelen. Dergelijk onderzoek is van groot belang om een veilige integratie van installaties voor het opwekken van duurzame energie in het bestaande luchtruim mogelijk te maken.

Er is een aantal ontwikkelingen aan het rekenmodel voor de berekening van externe veiligheidsrisico’s die het mogelijk moeten gaan maken het risico realistischer in kaart te gaan brengen. Een belangrijke ontwikkeling hierbij is een nieuwe wijze van bepaling van de ongevalkansen uit historische ongevaldata. Bij het NLR zijn er in de afgelopen jaren modellen ontwikkeld die de kans op een ongeval kunnen voorspellen met in achtneming van de aanwezigheid van risicofactoren op een luchthaven. Deze wijze is toegepast in de NLR-Ecorys studie voor EASA [36] om de runway end safety areas (RESA) te bepalen. Door de risicofactoren aan te wijzen die horen bij een bepaalde luchthaven of zelfs een bepaalde baan van die luchthaven kunnen specifieke ongevalkansen worden afgeleid in plaats van generieke. Dit biedt een belangrijke mogelijkheid om het lokale risico correcter in kaart te brengen. De toepassing hiervan is bij NLR in onderzoek.

Een andere verbetermogelijkheid voor het externe veiligheidsrekenmodel is het toevoegen van typen luchtverkeer die nog niet in het model zijn opgenomen, zoals generatie-4 vliegtuigen, very light jets en, later, drones en elektrische vliegtuigen. Verder is het gebruik van de werkelijke radartracks van elke vlucht een verbetering.

5.3 Internationale veiligheidsontwikkelingen

In Juli 2016 heeft ICAO de tweede editie van Annex 19 Safety Management uitgebracht [21]. Deze bevat een aantal nieuwe verplichtingen, die vanaf november 2019 van toepassing zijn. Het betreft bijvoorbeeld de verplichting voor de vliegtuigbouw industrie om een veiligheidsmanagement systeem in te voeren. De verwachting is dat in de toekomst ook operators van Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), voor het uitvoeren van meer risicovolle operaties, verplicht een door de overheid goedgekeurd veiligheidsmanagement systeem dienen te hebben. Annex 19 bevat ook nieuwe en aangepaste standaarden voor de omgang met, en bescherming van, safety data en safety informatie. Een nieuwe leidraad voor de implementatie door Staten en Service Providers is door ICAO recent uitgebracht via de vierde editie van de ICAO Safety Management Manual (SMM). De gerelateerde activiteiten gericht op nationale veiligheidsverbetering zijn opgenomen in State Safety Programs (SSPs).

Als onderdeel van het SSP, moet de Staat vaststellen wat het minimaal acceptabele veiligheidsniveau is dat bereikt moet worden. Dit dient te gebeuren via toepassing van het relatief nieuwe concept van Acceptable Level of Safety Performance (ALoSP). Het is nodig te verkennen welke mogelijkheden er zijn om het ALoSP concept in te vullen en met name om aan te geven op welke onderwerpen er verbeterd moet worden. Hiervoor is het verzamelen en analyseren van veiligheidsdata cruciaal. Dit vraagt om methoden en tools voor het verwerken van grote hoeveelheden veiligheidsdata (big data). In Europa heeft EASA deze noodzaak herkend, en is gestart met het zogenaamde ‘Data4Safety’ initiatief. Het is voor Nederland van belang zich bij deze internationale ontwikkelingen aan te sluiten. Hierbij kan goed gebruikt gemaakt worden van methoden/tools ontwikkeld door NLR in het Project P4 *Total system risk assessment* van het Future Sky Safety Programma [27]. Er wordt een prototype Risk Observatory ontwikkeld om veiligheidsrisico’s in het gehele luchtvaartsysteem te monitoren.

Door de Nederlandse luchtvaartsector wordt geïnvesteerd in veranderingen aan de infrastructuur en procedures op luchthavens met als doel om veiligheidsverbeteringen te bereiken. Door het routinematig verzamelen van operationele data en het uitvoeren van analyses, kunnen veranderingen gedetecteerd worden welke terug te voeren zijn op veranderingen aan infrastructuur of procedures. Doel van het onderzoek is om de sector te ondersteunen, door algoritmes beschikbaar te maken alsmede door het beschikbaar maken van gekoppelde databronnen en visualisatie van de resultaten.

Op dit moment worden risico’s over het algemeen door bedrijven binnen het eigen domein beheerst (bijv. veiligheid, beveiliging, milieu, gezondheid). Er vindt geen/beperkte afstemming met andere domeinen plaats, en neveneffecten of onderlinge verbanden tussen domeinen blijven onderbelicht. Afstemming met andere partijen en andermans risicomanagementsysteem is lastig. Het idee (ook geïnitieerd door ICAO) is dat er mogelijk voordeel te behalen is door in gebruik zijnde systemen voor veiligheidsmanagement verder te integreren. Dit brengt een behoefte aan ontwikkeling van nieuwe methoden en technieken die bijdragen aan een geïntegreerde aanpak voor risicobeheersing met zich mee. Hierbij is het van belang om de organisatorische aspecten en ‘just culture’ goed mee te nemen.

Hierbij kan goed gebruik gemaakt worden van resultaten uit het Project P5 *Resolving the organisational accident* van het Future Sky Safety Programma [27]. Dit project is gericht op het effect van organisatiestructuren, processen en

cultuur in de luchtvaart op de veiligheid. De uitgevoerde *safety culture assessments* hebben veel inzicht opgeleverd in hoe safety verbetering te realiseren is.

Een gezonde veiligheidscultuur is essentieel voor een goed functionerend veiligheidsmanagement systeem. NLR heeft in het verleden een tool ontwikkeld (ASC-IT) waarmee veiligheidscultuur inzichtelijk gemaakt kan worden. Een volgende stap is het verder ontwikkelen van dit instrument m.b.v. de resultaten uit het Future Sky Safety Project P5, ter ondersteuning van luchtvaart organisaties om de benodigde stappen te kunnen zetten om hun veiligheidscultuur te verbeteren.

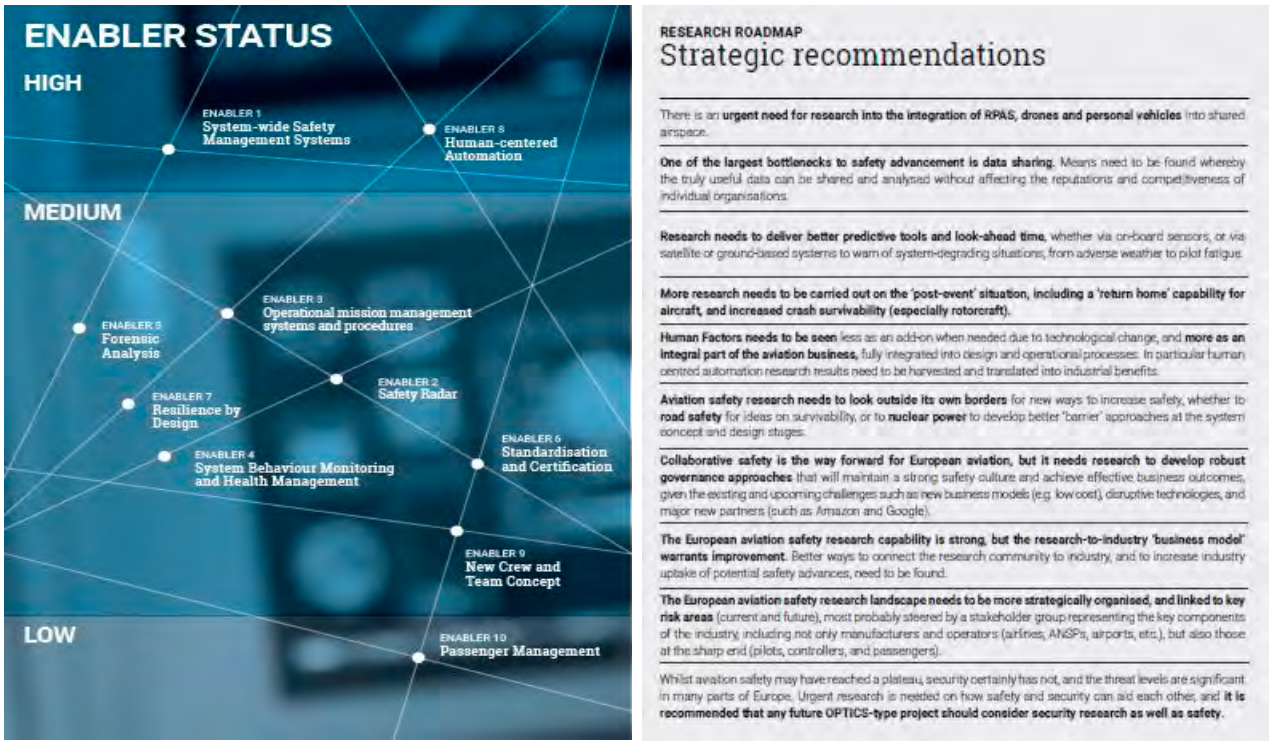
Op 11 september 2018 is de nieuwe EASA Basic Regulation No 1139/2018 ingevoerd. Deze formaliseert een rol voor EASA in de ontwikkeling van regelgeving en harmonisatie van standaarden voor civiele drones alsmede urban air mobility. EASA krijgt een coördinerende rol voor luchtvaart cybersecurity. Bovendien realiseert EASA jaarlijks een European Plan for Aviation Safety (EPAS).

Deze internationale veiligheidsontwikkelingen zullen naar verwachting op relatief korte termijn een positieve impact hebben op de luchtvaartveiligheid, ook in Nederland. Als we kijken naar de onderzoeksbehoefte op de langere termijn, dan zijn de Europese roadmap voor onderzoek in de luchtvaart (Flight Path 2050) [28] alsmede strategische aanbevelingen van het EU Project OPTICS [29] relevant.

De lange termijn visie voor de luchtvaart, uitgebracht door de Europese Commission als Flight Path 2050 herkent en bevestigt veiligheid als belangrijke European prioriteit: *to achieve the highest levels of safety and security to ensure that passengers and freight as well as the air transport system and its infrastructure are protected*. De specifieke Flight Path 2050 doelstellingen voor veiligheid zijn:

- *The European ATS has less than one accident per ten million commercial aircraft flights.*
- *Weather and other hazards from the environment are precisely evaluated and risks are properly mitigated.*
- *The European ATS operates seamlessly through interoperable and networked systems allowing manned and unmanned air vehicles to safely operate in the same airspace.*

ACARE heeft via zijn Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA) onderzocht welke *enablers* nodig zijn om de strategische doelstellingen voor safety te realiseren. Het EC Project OPTICS heeft vervolgens onderzocht wat de hoeveelheid aan EU onderzoek is die wordt besteed aan elke SRIA enabler. De daaruit volgende bevindingen en strategische aanbevelingen zijn samengevat in Figuur 12: Enablers en strategische aanbevelingen ten behoeve van Flightpath 2050 [28]. Van zeer groot belang zijn de enablers *System-wide Safety Management Systems* en *Human-centered automation*. Ook dient voldoende aandacht besteed te worden aan *Forensic Analysis*, *Operational mission management systems and procedures*, *resilience by design*, *standardisation and certification* en *new crew and team concept*. In mindere mate is de enabler *Passenger Management* van belang.



Figuur 12: Enablers en strategische aanbevelingen ten behoeve van Flightpath 2050 [28]

Opvallend is ook hier de urgentie van onderzoek naar de veilige integratie van RPAS, drones en *personal vehicles* alsmede de noodzaak voor het delen van data voor veiligheidsverbetering. Er is ook behoefte aan methoden en tools om de impact van veranderingen goed te kunnen voorspellen.

Het NLR is verdere stappen hierin aan het maken binnen het vervolgproject OPTICS 2, waarin wordt gekeken hoe het landschap van het Europese veiligheidsonderzoek eruit ziet in relatie tot de recente update van Flight Path 2050, en waar ook gekeken wordt naar hoe deze landscape eruit ziet voor Europees Security onderzoek.

Internationaal is er nauwelijks externe veiligheidsbeleid voor luchtvaart en worden de bijbehorende externe veiligheidsrisico's beperkt in kaart gebracht. Daardoor is niet zonder meer duidelijk hoe zich het externe veiligheidsrisico ontwikkeld bijvoorbeeld ten opzichte van Nederland. Cijfers over de luchtvaart in de Verenigde Staten tot het jaar 1996 laten eerst een afname zien van het aantal dodelijke slachtoffers op de grond ten gevolge van vliegtuigongevallen en vervolgens een stabilisering. De trend daarna is niet gerapporteerd. Voor veel met Nederland vergelijkbare landen geldt net als in Nederland groei in luchtvaart, verbetering van luchtvaartveiligheid en ook groei van het aantal omwonenden van de luchthaven. Hoe dit lokaal per saldo uitpakt is niet geanalyseerd, maar gezien de sterke groei van de stedelijke bevolking en dat zich juist daar de luchthavens bevinden en andersom, is het mogelijk dat in sommige landen het aantal mensen met een verhoogd risico toeneemt. Dat de luchtvaart (drones, vliegtaxi's) de stedelijke omgeving binnen zal dringen, gaat daar negatief aan bijdragen.

Wereldwijd gezien heeft Nederland naast het Verenigd Koninkrijk een geavanceerd en transparant beleid voor het externe veiligheidsrisico rond luchthavens. Nederland heeft zelfs het instrumentarium, GEVERS genaamd, waarmee het risico van de omwonenden van een luchthaven wordt berekend en geanalyseerd, publiek beschikbaar gesteld. Op Europees niveau krijgt externe veiligheid rond luchthavens langzamerhand meer aandacht. Externe veiligheid werd onlangs door Eurocontrol bestempeld als één van de belangrijke (milieu)impacts voor omwonenden van een luchthaven. In 2015 wil Eurocontrol kennis opdoen over welke bestaande tools voor externe veiligheid er op dit

moment beschikbaar zijn. Om die reden heeft Envisa voor Eurocontrol een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de mogelijkheid om het Eurocontrol's IMPACT rekenpakket uit te breiden met een externe veiligheid-rekentool. Met de medewerking van NLR is een rapportage opgesteld over de gewenste methodiek om 'third party risk' te bepalen. De beoogde methodiek zou gebaseerd kunnen zijn op een combinatie van de bestaande methodes van NLR en NATS UK. Het resultaat is vastgelegd in het rapport: 'Feasibility study on the integration of third party risk near airports into IMPACT' (2015).

5.4 Nieuwe veiligheidsrisico's door digitalisering en automatisering

Digitalisering en automatisering hebben een merkbare impact op alle facetten in het dagelijkse leven en deze ontwikkelingen beginnen nu ook door te dringen in de luchtvaart. Zo is er sprake van nieuwe operationele en technologische ontwikkelingen, waarbij er een toename zal zijn van meer autonome luchtvaartuigen (inclusief middelgrote tot grote/zware) drones, zo mogelijk zelfs voor vervoer van passagiers). Vooral waar deze operaties in, of in de nabijheid van, stedelijke gebieden ('smart city' omgeving) worden beoogd, is het de vraag hoe de veiligheid gewaarborgd kan worden. Het gaat hierbij dan tevens om de externe veiligheid van personen en kritische infrastructuren op de grond.

Performance-based regelgeving, die veiligheids- en prestatie-eisen stelt aan functies van autonome systemen, wordt voorzien door ICAO en ook EASA. De vraag hierbij is hoe concepten van autonome vliegtuig systemen gecertificeerd kunnen worden tegen performance-based regelgeving. Het NLR beschikt over een set van veiligheidsmodellen, waarmee de beantwoording van deze vraag kan worden ondersteund. Deze is echter nog niet gericht op de, in ontwikkeling zijnde, regelgeving van EASA. Ook is nog onduidelijk hoe een en ander past in ICAO's Annex 19 ALoSP principe. Doorontwikkeling is dan ook hoog nodig. Mogelijk dat de ervaring en kennis met betrekking tot autonomie, zoals aanwezig in andere transport modes (zoals weg, spoor en water), nuttig kan zijn voor het verder toepassen van aanwezige veiligheidsmethoden. Het meetbaar maken van de veiligheid van autonome systemen (via safety performance indicators) kan mogelijk door vergelijking met andere modaliteiten (via aantal ongelukken, reiziger km's, etcetera).

Autonome systemen maken gebruik van software die de beslissingen neemt (decision making) die normaal gesproken door de menselijke bestuurder worden genomen. Hoe kan de correctheid en compleetheid van de softwarespecificatie binnen een autonoom systeem worden aangetoond? De software dient rekening te houden met te nemen beslissingen tijdens de operatie in alle omstandigheden die zich kunnen voordoen. Hoe is het gebruik en de supervisie van autonome systemen door de mens te optimaliseren (zogeheten *human centered automation*)?

De luchtvaart maakt steeds meer gebruik van toepassingen van 'big data'. Hierbij worden op sterk automatische wijze, bijvoorbeeld met Artificial Intelligence en/of Machine Learning technieken, grote hoeveelheden data verwerkt en geanalyseerd. Een voorbeeld is EASA's Data4Safety initiatief. De resultaten gaan gebruikt worden voor beslissingen voor de veiligheid. Veel data sets zijn echter onvolledig, of deels incorrect, zodat fouten ongemerkt door gaan werken in het eindresultaat en de advisering. Hoe hiermee om te gaan is nog volstrekt niet helder.

6 Participatie

Dit hoofdstuk beschrijft aan de hand van een aantal voorbeelden de kennis en ervaring die het NLR heeft op het gebied van community engagement en participatie in het kader van de door IenW gestelde kennisvraag inzake governance (zie hoofdstuk 1). Hinderbeleving en kwaliteit van leven zijn belangrijke thema's voor de omgeving waarmee geparticipeerd wordt. Onderzoek hiernaar staat beschreven in hoofdstuk 2.

6.1 Masterclass omwonenden van luchthaven Eindhoven

In de werkgroep Innovatie van de Uitvoeringstafel van de luchthaven Eindhoven is gesproken over het beter betrekken van de omwonenden. De Koninklijke Luchtmacht heeft vervolgens het idee ontwikkeld om de "Masterclass Redesigning Eindhoven Air Traffic" te organiseren.

Begin 2018 is de vliegbasis, ondersteund door de Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant, begonnen met de organisatie. Het doel van de Masterclass was om samen met omwonenden op zoek te gaan naar mogelijkheden om geluidshinder te verminderen. Het uitgangspunt voor de Masterclass was primair om te focussen op onderwerpen die binnen de invloed van de vliegbasis vallen, namelijk: hoe wordt het vliegverkeer afgehandeld en welke mogelijkheden zijn er om het beter te doen.

De masterclass bestond uit drie delen:

1. Op dag 1 vond de eigenlijke Masterclass plaats. Hierbij zijn omwonenden van de luchthaven Eindhoven, die zich hadden aangemeld, door de verkeersleiding van Eindhoven Airport, geïnformeerd over de technische afhandeling van het vliegverkeer en welke mogelijkheden er zijn om geluidhinder tegen te gaan of anders te verdelen. Aan het einde van deze dag kregen de omwonenden twee vragen mee om verder uit te werken:
   - hoe wordt het vliegverkeer in hun (sociale) omgeving ervaren?
   - welke kansen zien zij op basis van de aangereikte technische informatie?
2. Deze vragen vormden de input voor dag 2. In vier sessies is in kleine groepen, bestaande uit omwonenden en experts, onder leiding van social designers gezocht naar kansen, inzichten en ideeën om de geluidshinder van de vliegbasis te beperken. Iedere deelnemer heeft tijdens dag 2 zijn of haar favoriete idee zo concreet mogelijk uitgewerkt en gepresenteerd.
3. De ideeën van omwonenden zijn vervolgens door experts beoordeeld op uitvoerbaarheid. Op dag 3 zijn de resultaten daarvan teruggekoppeld aan de deelnemers van de masterclass.

Tijdens de masterclass zijn een groot aantal inzichten, kansen en ideeën naar voren gekomen die onderverdeeld zijn in enkele brede thema's. Deze overkoepelende thema's zijn: spreiding, beleving, cumulatie & bronaanpak en communicatie en betrokkenheid. Per thema is beschreven welke ideeën en verbeteringen zijn voorgesteld.

De masterclass is volgens de verkeersleiding van Eindhoven Airport goed verlopen. Er was sprake van constructief overleg waarbij veel ideeën gegenereerd zijn. De deelnemende omwonenden spraken hun waardering uit voor deze aanpak en waren positief over de gedeelde informatie.

Lessons learned: door de opzet werden ook omwonenden bereikt die normaal tot de zwijgende meerderheid behoren. Hierdoor was sprake van een goede balans in de groep en was constructief overleg mogelijk. De interactie met experts

uit het luchtvaartdomein werd gewaardeerd en leverde antwoorden op voor vragen die leefden onder de omwonenden. Dit draagt bij aan een goede dialoog tussen luchthaven en omgeving.
De sessies in kleine groepen (dag 2) droegen zeker bij aan het goede verloop. Nadeel hiervan is wel dat het relatief veel tijd vraagt om grotere groepen omwonenden op deze manier te benaderen.

6.2 Meting van hinderbeleving

F-35 belevingsvlucht Leeuwarden en Volkel

De F-35's landden 23 mei 2016 op Vliegbasis Leewarden en waren 3 weken in Nederland. De nieuwe Nederlandse jachtvliegtuigen maakten 26 mei zogenoemde belevingsvluchten in de omgeving van de Vliegbases Leeuwarden en Volkel [33]. Het hoofddoel van dit onderzoek was het meten van het verschil in de geluidsbeleving van de omwonenden tussen de F-35 en de F-16 tijdens de belevingsvluchten, en aanvullend het meten van de piekniveaus op een aantal locaties in de omgeving van vliegbases Leeuwarden en Volkel tijdens de belevingsvluchten.

De omwonenden van beide vliegbases wilden het geluid van de F-35 vergelijken met dat van de F-16. Tijdens de belevingsvlucht vlogen beide toestellen daarom kort na elkaar de aankomst- en vertrekroutes. Omwonenden konden zo kennismaken met het toestel en het geluid ervaren in hun eigen omgeving. Ter ondersteuning van de geluidsbeleving richtte het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) per vliegbasis 5 meetpunten in. Hiermee werden piekwaarden gemeten op plekken zoals woonkernen en fietspaden. De locaties zijn in overleg met de omwonenden vertegenwoordigers gekozen.

Voorafgaand aan de komst van de F-35's zijn er voor omwonenden informatieavonden georganiseerd. Daarnaast konden zij hun ervaringen delen via een enquête.

De resultaten uit dit onderzoek [34] gaven omwonenden, bestuurders en Defensie inzage in de beleving van de F-35. Ook geven de metingen inzicht in lokale piekniveaus van beide toestellen.

Pilot klimprofielen Eindhoven Airport

De pilot klimprofielen komt voort uit de Masterclass Redesigning Eindhoven Air Traffic. Ryanair-vliegtuigen vlogen tijdens de pilot twee verschillende klimprofielen: NADP1 en NADP2. NADP (Noise Abatement Departure Procedure) is een startprocedure om de ervaren hinder te beperken. De procedures richtten zich op het verminderen van de geluidniveaus:

- dichtbij de luchthaven, onder de vliegroute (NADP1), door sneller te klimmen maar wat langzamer te vliegen;
- of juist wat verder weg, onder de vliegroute (NADP2), door eerst snelheid te maken en langzamer te klimmen. Dit is voor Ryanair de gebruikelijke procedure bij een start vanaf de luchthaven Eindhoven.

Doordat een vertrekkend vliegtuig hoger of lager passeert, of vliegt met meer of minder stuwkracht, kan sprake zijn van een andere geluidsbeleving. Dit zal afhangen van de locatie van de waarnemer ten opzichte van het passerende vliegtuig. Tijdens een pilot van een week is informatie verzameld over de geluidbeleving van omwonenden tijdens passages van starts met de bestaande startprocedure (NADP2) en volgens een afwijkende startprocedure (NADP1).

Tijdens de pilot is de geluidsbeleving van omwonenden tijdens de passages van vertrekkende vliegtuigen gemeten. Dat gebeurde door feed-back te vragen via een web-formulier. Hierbij was niet bekend gemaakt welke startprocedure door welk vliegtuig gevolgd werd.

De positiever resultaten van de F35 belevingsvluchten en de pilot klimprofielen Eindhoven tonen het belang van een gedegen voorbereiding aan. Om omwonenden een mening te laten vormen helpt het als er wat te vergelijken valt. Het inschatten van de impact van een toekomstige operatie is lastig zonder een herkenbaar referentiescenario om mee te vergelijken. Bijvoorbeeld een nieuw type jachtvliegtuig versus diens voorganger of verschillende varianten van een vertrekprocedure.

6.3 Gebruik VR (VCNS) of andere technologie/technieken

Luchthaven Lelystad

Tijdens meerdere informatieavonden rondom de uitbreiding van de luchthaven Lelystad en het ontwerp van nieuwe vliegroutes is NLR's Virtual Community Noise Simulator (VCNS) ingezet. Door middel van deze simulaties werd voor de aanwezigen hoorbaar en zichtbaar gemaakt hoe passages van toekomstige vliegbewegingen er uit komen te zien.

Voor de simulaties waren voor meerdere locaties een groot aantal scenarios ontwikkeld die inzicht gaven in passerende vliegtuigen op verschillende hoogtes en afstanden; dit voor zowel starts, landingen als horizontale vluchtfases.



De ervaring leerde dat de simulaties gewaardeerd werden en het gevraagde inzicht konden geven. Omdat op grotere afstand van de luchthaven sprake is van relatief lage geluidsniveaus, was bij sommige aanwezigen wel enige scepsis over de hoogte (juistheid) van gepresenteerde geluidsniveaus. Dit wordt mede ingegeven door eerdere ervaring met verkeer van Schiphol welke bestaat uit grotere (en luidere) toestellen opererend op een hogere vlieghoogte.

Naast de presentatie van de simulaties zelf, bood de interactie met omwonenden een goed platform om ook andere vragen te kunnen beantwoorden. Deze één-op-één interacties werden positief gewaardeerd.

Arlanda Airport

Met behulp van NLR's Virtual Community Noise Simulator (VCNS) heeft Swedavia voor de luchthaven van Arlanda invulling gegeven aan onderzoek naar de te verwachten effecten van een stijlere naderingsprocedure. Swedavia wilde met deze wijze van informatie voorziening, naast de gebruikelijke resultaten uit geluidbelastingsberekeningen, een stap zetten om te komen tot betere samenwerking met de omwonenden van de luchthaven.

Gestart is met een eerste introductie van de VCNS voor een werkgroep met omwonenden. Samen met de werkgroepleden zijn vervolgens twee scenario's uitgewerkt waarvoor VCNS simulaties gewenst waren:

1. Gekozen is voor een locatie in de plaats Upplands Väsby; hier passeren vliegtuigen die uit zuidelijke richting de luchthaven van Arlanda naderen.
2. Scenario 1 toont een vliegtuig dat passeert op een hoogte die hoort bij het huidige glijpad van 3 graden.
3. Scenario 2 toont een mogelijke alternatieve nadering op iets grotere hoogte, passend bij een glijpad met een hoek van 3.2 graden.

Nadat de VCNS simulaties gemaakt waren zijn de resultaten als eerste door de werkgroep beoordeeld en vervolgens op een later tijdstip gepresenteerd tijdens een openbare informatieavond.

De meer interactieve wijze van de opzet van de informatieavond werd door de aanwezigen positief gewaardeerd. Inhoudelijk werden de scenario's positief beoordeeld. Dit gold ook voor de herkenbaarheid van het scenario met de huidige naderingsprocedure dat ter vergelijking met de nieuwe, stijlere, naderingsprocedure werd aangeboden.

Uit de reacties tijdens de informatieavond was verder op te maken dat:

- de inzet van VCNS werd gewaardeerd door de aanwezigen;
- deze communicatiewijze als een goede aanvulling voor rekenresultaten gezien werd;
- dit zeker geldt voor gebieden waar omwonenden nu nog niet zijn blootgesteld aan vliegtuiggeluid.

6.4 NLR bijdrage in voorlichtingen/inspraakavonden/etc.

In deze paragraaf is puntsgewijs een overzicht gegeven van NLR activiteiten die een relatie hebben met informatievoorziening naar burgers die bij luchthavens, of onder aan- en uitvliegroutes, wonen.

De NLR bijdragen bestaan gobaal gezien uit de volgende activiteiten:

- Presenteren van onderzoeksresultaten.
- Voorlichten en onze kennis delen; omwonenden inzicht geven in wat ze kunnen verwachten.
- Zorgen dat (vertegenwoordigers van) omwonenden voldoende kennis hebben: voorbeelden hiervan zijn de ondersteuning van een auditteam rond de luchthaven Eindhoven en de "cursus geluid" voor bewonersgroep die betrokken is bij meetnetten Leeuwarden en Volkel.

Algemene observaties van zaken die goed gaan, of belangrijk zijn om te adresseren:

- Presentaties van onderzoeksresultaten in begrijpelijke taal brengen is vaak een uitdaging; wanneer dit bewust wordt opgepakt, worden de resultaten gewaardeerd.
- De één-op-één gesprekken met geïnteresseerde omwonenden; vaak zijn dit omwonenden die vallen in de categorie van de "zwijgende meerderheid".
- Het vroegtijdig meenemen van (vertegenwoordigers van) omwonenden in bijvoorbeeld het opzetten van onderzoekstrajecten of informatie-avonden en in de keuzes die gemaakt worden is erg belangrijk om draagvlak te creëren.
- Het is belangrijk om een juiste match te maken tussen (de grootte van) het publiek en het middel dat gehanteerd word om informatie te verstrekken. Zo is gebleken dat het hoorbaar maken van de te verwachten geluidsniveaus rondom nieuwe situaties met geluidshinder in een grote, volle, zaal niet goed werkt. Hier is een een-op-een weergave/beleving beter.

6.5 Referenties naar community engagement en participatie in andere landen

Door de Civil Air Navigation Services Organization (CANSO) en Airports Council International (ACI) is een document over het het managen van Luchtvaartgeluid uitgebracht [31]. Naast best-practice richtlijnen zijn in dit document voorbeelden van community engagement activiteiten rond diverse luchthavens opgenomen, in de vorm van een beschrijving van case-studies:

1. Use of noise modelling tools
2. Stakeholder collaboration – Airbus, Heathrow and NATS partner for quieter flight
3. Continuous descent operations campaign in the UK
4. Using PBN to reduce airport to reduce noise – Greener Skies of Seattle
5. “Smart Tracking” at Gold Coast Airport
6. Changing a standard departure to reduce noise
7. Community collaboration to reduce departure noise – Melbourne Airport early turns
8. Heathrow, Gatwick, and Stansted quota count system
9. WebTrak – an aircraft noise website
10. Noise respite trials in the UK
11. Working with a community to adjust noise – Roleystone arrival flight path trial.

Verdere voorbeelden van community engagement activiteiten zijn beschreven door ICAO in [ref. 32, hoofdstuk 2]:

1. COMMUNITY ENGAGEMENT (CAEP studies mbt community engagement).
2. 10 YEARS MEDIATION CONTRACT – 10 YEARS DIALOGUE FORUM (Wenen Airport).
3. MOVING TOWARDS A 4TH GENERATION IN AIRCRAFT NOISE MANAGEMENT (Heathrow Airport).

6.6 Conclusies

NLR hecht veel belang aan het vergroten van het inzicht in wat een goed participatietraject met de omgeving van een luchthaven kenmerkt en zoekt een betere wetenschappelijke onderbouwing hiervoor. Het NLR is daarom zowel actief in Europese onderzoeksprojecten zoals ANIMA (zie hoofdstuk 2 en 4), nationale innovatietrajecten zoals Masterclass Eindhoven (zie sectie 6.1) en uitvoerend in participatietrajecten in de praktijk.

Uit de genoemde ervaringen zijn een aantal lessen te trekken welke kunnen worden meegenomen in toekomstige participatietrajecten:

- Betrek omwonenden vanaf het begin bij wezenlijke beslistrajecten. Wees hierbij transparant en deel informatie en onderzoeksresultaten al tijdens de onderzoekstrajecten. Ook tijdens de dagelijkse operaties is het delen van informatie, zoals bijvoorbeeld gehanteerde keuzecriteria, belangrijk.
- Laat omwonenden meebeslissingen over de uitvoer van het onderzoek. Bijvoorbeeld over waar er gemeten moet worden, wat er wordt gemeten, etc. Dit zorgt voor draagvlak en betrokkenheid bij de uitkomsten van het onderzoek.
- Vaak is de materie over bijvoorbeeld geluid, emissies, etc erg complex en moeilijk te vatten voor buitenstaanders. Dit leidt tot wantrouwen bij omwonenden richting overheid en luchthaven. Zonder kennis van zaken zijn omwonenden niet in staat om constructief deel te nemen aan het besluitvormingstraject. Begrijpelijk taal, hulpmiddelen zoals VCNS en het beschikbaar stellen van experts en expertise dragen bij aan

het vertrouwen van omwonenden en stellen hen in staat als serieuze gesprekspartner te kunnen deelnemen aan discussies met een luchthaven of de overheid.

- Het inschatten van de impact van een toekomstige operatie is lastig zonder een herkenbaar referentiescenario om mee te vergelijken. Bijvoorbeeld de bestaande naderingsprocedure versus een alternatief daalpad of een nieuw type jachtvliegtuig versus diens voorganger.
- Het luchtvaartdebat wordt gedomineerd door de sector zelf en een kleine groep, actieve tegenstanders. Het vraagt extra inzet om ook omwonenden die behoren tot de categorie van de “zwijgende meerderheid” te betrekken.
- Het is belangrijk om een juiste match te maken tussen (de grootte van) het publiek en het middel dat gehanteerd word om informatie te verstrekken. Zo is gebleken dat het hoorbaar maken van de te verwachten geluidsniveaus rondom nieuwe situaties met geluidshinder in een grote, volle, zaal niet goed werkt. Hier is een een-op-een weergave/beleving beter.

7 Referenties

1. https://public.wmo.int/en/media/press-release/globally-averaged-co2- levels-reach-400-parts-million-2015 , geraadpleegd op 18-10-2018.
2. http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/12825/7/esd-7-327-2016.pdf , geraadpleegd op 15-10-2018.
3. https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-climate-change.pdf , geraadpleegd op 15-10-2018.
4. https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/doc/flightpath2050.pdf geraadpleegd op 27-11-2018.
5. https://www.dlr.de/pa/en/Portaldata/33/Resources/dokumente/mitarbeiter/Schumann_Encyclopedia_Aircraft_Emissions_c4 15-_o.pdf , geraadpleegd op 18-10-2018.
6. https://www.icao.int/newsroom/pages/icao-council-adopts-new-co2-emissions-standard-for-aircraft.aspx , geraadpleegd op 12-11-2018.
7. https://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story.cfm?newsId=23074 , geraadpleegd op 18-10-2018.
8. https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Documents/SW_WP6_D.6.2_Environmental%20analysis_Onera_28Mar2011.pdf , geraadpleegd op 22-10-2018.
9. Ponater, M & Marquart, S & Ström, L & Sausen, R & Gierens, K & Hüttig, G. (2003). On the Potential of the Cryoplane Technology to Reduce Aircraft Climate Impact.
10. https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2015/t_1.html , geraadpleegd op 01-11-2018.
11. https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2017-10-24-01.aspx , geraadpleegd op 16-10-2018.
12. https://www.sesarju.eu/newsroom/all-news/addressing-noise-through-enhanced-arrival-procedures , geraadpleegd op 05-11-2018.
13. D. Rhodes, Peer Review of Noise Modelling using ECAC Doc. 29 for Amsterdam Schiphol Airport, UK Civil Aviation Authority, oktober 2018.
14. R.H. Hogenhuis, M.P.G. van Miltenburg en S.J. Heblij, Beantwoording vragen met betrekking tot de motie Eijsink, NLR-CR-2015-186, Februari 2016.
15. D.H.T. Bergmans, H.M.M. van der Wal, H.W. Veerbeek, Technische mogelijkheden van 'Flitspalen' voor vliegtuigen rond Schiphol, NLR-CR-2007-767.
16. R.H. Hogenhuis, Validatie van geluidreductie Geilenkirchen, Beschrijving en uitkomsten van validatie met behulp van metingen, NLR-CR-2013-198, mei 2013.
17. R.H. Hogenhuis en S.J. Heblij, Trendvalidatie van Doc.29 berekeningen, NLR-CR-2017-371, oktober 2018.
18. https://anima-project.eu/, geraadpleegd op 12-11-2018.
19. World Health Organisation, Environmental Noise Guidelines for the European Region, oktober 2018.
20. https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2018/10/18/meten-van-vliegtuiggeluid-en-reactie-op-de-evaluatie-van-de-regiegroep-belevingsvlucht, geraadpleegd op 10-12-2018.

21. ICAO Annex 19, Edition 2, juli 2016.
22. ICAO Safety Management Manual.
23. EASA; Annual Safety Review 2017.
24. EASA; European Plan for Aviation Safety (EPAS) 2016-2020.
25. A.D. Balk (NLR) et al.; Total aviation system risk picture 2017, Future Sky Safety D4.6, 2018.
26. Aviation Safety and Certification of new Operations and Systems; https://www.ascos-project.eu.
27. Future Sky Safety; https://www.futuresky-safety.eu.
28. European Commission ACARE SRIA – Flightpath 2050.
29. Observation Platform for Technological and Institutional Consolidation of research in Safety (OPTICS) Final Report; http://www.optics-project.eu/.
30. https://www.twente-airport.nl/nieuws/airbus-en-nlr-doen-waterbaktesten-met-A400M-op-twente-airport/.
31. https://www.canso.org/managing-impacts-aviation-noise, geraadpleegd op 31-10-2018.
32. https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf, geraadpleegd op 31-10-2018.
33. https://www.defensie.nl/onderwerpen/f-35-naar-nederland/belevingsvluchten-f-35-voor-omwonenden, geraadpleegd op 26-11-2018.
34. https://www.belevingsvluchten.nl/; eindrapport NLR, geraadpleegd op 26-11-2018.
35. J.G. Verstraeten, P.J. van der Geest, G.W.H. van Es, M.K.H. Giesberts, B. Klein Obbink, A.L.C. Roelen; Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol, NLR-CR-2017-313, Februari 2018.
36. Study on models and methodology for safety assessment of Runway End Safety Areas (RESA), 2014.
37. Luchtkwaliteit en stikstofdepositie rond luchthaven Schiphol – voor het MER NNHS -, A. Hoolhorst, J.J.Erbrink en E.Kokmeijer, NLR-CR-2016-110.
38. http://geodata.rivm.nl/gcn/.
39. Forum-AE Final Conference - Paris 15th June 2017 – Alternative Fuels.
40. https://www.bauhaus-luftfahrt.net/en/topthema/solar-fuels/.
41. https://www.omgevingsraadschiphol.nl/wp-content/uploads/2018/03/Handhavingsrapportage-Schiphol-2017.pdf.
42. Plan van aanpak meerjarig onderzoeksprogramma "Gezondheidsrisico's ultrafijn stof rond Schiphol, Versie 21-4-2017, RIVM.
43. Ultrafine Particles at Airports – Current understanding of ultrafine particle emissions and concentrations at airports in 2018, ACI Europe, 2018.
44. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, global update 2005, summary of risk assessment, World Health Organization.
45. ICAO, Annex 16, Volume II, Aircraft Engine Emissions, Fourth Edition, July 2017.
46. http://www.cleansky.eu/sustainable-and-green-engines-sage (geraadpleegd op 31-01-2019).

Deze pagina is opzettelijk blanco.

NLR

Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam, The Netherlands
p) +31 88 511 3113
e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl