



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2020-348 | september 2020

Stiller en Schoner Maastricht Aachen Airport

Onderzoek hinderbeperkende maatregelen voor Maastricht Aachen Airport en omgeving

OPDRACHTGEVER: Dhr. Pieter van Geel



NLR – Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Stiller en Schoner Maastricht Aachen Airport

Onderzoek hinderbeperkende maatregelen voor Maastricht Aachen Airport en omgeving

Probleemstelling

Gedeputeerde Staten hebben de heer Pieter van Geel opdracht gegeven de provinciale vertaling van de Luchtvaartnota voor Maastricht Aachen Airport (MAA) op innovatieve wijze met de regio via participatie en overleg met de omgeving te doen. Tevens dient dit traject als voorbereiding op het proces tot de aanvraag van een nieuw luchthavenbesluit. In het kader van dit traject is er behoefte aan een uitwerking van hinderbeperkende maatregelen voor de luchthaven Maastricht Aachen Airport. Het Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum heeft in opdracht van Pieter van Geel onderzoek gedaan naar mogelijke hinderbeperkende maatregelen.

Beschrijving van de werkzaamheden

Er is een inventarisatie gemaakt van mogelijke hinderbeperkende maatregelen. Van deze maatregelen is globaal onderzocht wat de effecten zijn op geluid, emissies en veiligheid. Een indicatie is gegeven van kosten, implementatietermijn en sturing. Naast de hinderbeperkende maatregelen wordt ook kort ingegaan op cumulatie van geluid rondom de luchthaven. Tot slot wordt beschreven welke (niet-akoestische) aspecten een rol spelen bij hinderbeleving en hoe hierop kan worden geacteerd.

Resultaten en conclusies

De conclusies van het onderzoek zijn als volgt:

- Vlootvernieuwing wordt op de korte termijn als het meest kansrijk gezien; aanzienlijke geluidsreductie en emissiereductie worden daarbij verwacht door de nieuwe types vliegtuigen die luchtvaartmaatschappijen van plan zijn te gaan inzetten of al hebben ingezet.

RAPPORTNUMMER

NLR-CR-2020-348

AUTEUR(S)

M.E. Hak
R.H. Hogenhuis
H.W. Veerbeek
N.D.K. Sutopo
R.J. Roosien
G.W.H. van Es
B.A. Ohlenforst

RUBRICERING RAPPORT

ONGERUBRICEERD

DATUM

september 2020

KENNISGEBIED(EN)

Duurzame
luchtvaartoperaties
Luchtvaartveiligheid
Vliegoperaties

TREFWOORD(EN)

Geluid
Emissies
Veiligheid
Geluidhinder
Luchthavens

- Kansrijke operationele maatregelen zijn routeoptimalisaties en creëren van rustperiodes door alternerend baan- en routegebruik. Daarover (voorspelbare) afspraken maken is hierbij essentieel.
- Minder vliegen in specifieke periodes kan aanzienlijk bijdragen in de hinderreductie.
- Voor grondgeluid is het reduceren van APU- en GPU-gebruik een kansrijke maatregel. Dit is al in gang gezet door de luchthaven door te investeren in pre-conditioned air en walstroom. Aanpassingen aan de baan lay-out bieden ook mogelijkheden tot hinderreductie dichtbij de luchthaven.
- Wanneer slim wordt omgegaan met oriëntatie van nieuw te realiseren woongebouwen en het aanbrengen van gewassen en zichtbaar groen, kan geluidhinder lokaal worden gereduceerd.
- Een uitwerking is gegeven van de niet-akoestische factoren van hinderbeleving. Niet-akoestische factoren zoals geluidsgevoeligheid, houding ten opzichte van de luchthaven en voorspelbaarheid spelen mee in de perceptie van geluidhinder en zijn van belang om mee te nemen in hinderbeperking. Daarnaast is het van belang om cumulatie-effecten mee te nemen binnen afwegingskaders.

Toepasbaarheid

De hinderbeperkende maatregelen die staan beschreven zijn toegespitst op de situatie van Maastricht Aachen Airport en omgeving. De toepasbaarheid van hinderbeperkende maatregelen is per luchthaven verschillend; hoewel hinderbeperkende maatregelen gegeneraliseerd kunnen worden blijft de toepassing daarvan afhankelijk van de lokale situatie, het type vliegveld, het verkeerspatroon, klimatologische omstandigheden en de wensen van de verschillende stakeholders.

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-2020-348 | september 2020

Stiller en Schoner Maastricht Aachen Airport

Onderzoek hinderbeperkende maatregelen voor Maastricht Aachen Airport en omgeving

OPDRACHTGEVER: Dhr. Pieter van Geel

AUTEUR(S):

M.E. Hak	NLR
R.H. Hogenhuis	NLR
H.W. Veerbeek	NLR
N.D.K. Sutopo	NLR
R.J. Roosien	NLR
G.W.H. van Es	NLR
B.A. Ohlenforst	NLR

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

OPDRACHTGEVER	Dhr. Pieter van Geel
CONTRACTNUMMER	1490198
EIGENAAR	Maastricht Aachen Airport Beheer en Infrastructuur B.V.
NLR DIVISIE	Aerospace Operations
VERSPREIDING	Beperkt
RUBRICERING TITEL	ONGERUBRICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:																		
AUTEUR							REVIEWER							BEHERENDE AFDELING				
M.E. Hak 							B. Peerlings  Bram Peerlings 2020.09.30 14:23:29 +02'00'							M.H. Nagelsmit  Digitally signed by M.H. Nagelsmit Date: 2020.10.01 11:47:02 +02'00'				
A.B. Dolderman 							A.B. Dolderman 2020.10.01 10:16:08 +02'00'											
DATUM	0	1	1	0	2	0	DATUM							DATUM				

Samenvatting

Gedeputeerde Staten hebben de heer Pieter van Geel opdracht gegeven de provinciale vertaling van de Luchtvaartnota voor Maastricht Aachen Airport (MAA) op innovatieve wijze met de regio, via participatie en overleg met de omgeving (omwonenden en maatschappelijke organisaties, experts, bedrijven en overheden), te doen. Tevens dient dit traject als voorbereiding op het proces tot de aanvraag van een nieuw luchthavenbesluit. In het kader van dit traject is er behoefte aan een uitwerking van hinderbeperkende maatregelen voor de luchthaven Maastricht Aachen Airport.

Opdracht

Het Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum heeft in opdracht van Pieter van Geel onderzoek gedaan naar mogelijke hinderbeperkende maatregelen. De onderzochte maatregelen worden in dit rapport beschreven. Naast de hinderbeperkende maatregelen wordt ook kort ingegaan op cumulatie van geluid rondom de luchthaven. Tot slot wordt beschreven welke (niet-akoestische) aspecten een rol spelen bij hinderbeleving en hoe hierop kan worden geacteerd.

Hinderbeperkende maatregelen

Diverse hinderbeperkende maatregelen zijn in kaart gebracht. Bij het inventariseren van de maatregelen zijn suggesties vanuit de omwonenden en andere betrokken partijen, vertegenwoordigd in de werkgroep hinderreductie, meegenomen. De onderzochte hinderbeperkende maatregelen zijn opgedeeld in vier categorieën:

1. Maatregelen grondgeluid;
2. Operationele maatregelen;
3. Maatregelen in de omgeving;
4. Overige maatregelen.

De effecten van de maatregelen op geluid, emissies en veiligheid zijn per maatregel beschreven. Ook is een indicatie gegeven van kosten, implementatietermijn en de wijze hoe op de maatregel kan worden gestuurd.

Resultaten

De resultaten van het onderzoek naar hinderbeperkende maatregelen zijn samengevat in één tabel. Voor elk van de parameters is – voor zover dat mogelijk was – een indicatieve score gegeven voor elke maatregel. Bij sommige parameters wordt er gedifferentieerd in het aantal ‘plussen’ en ‘minnen’ om de onderlinge bandbreedte van effect te weergeven.

Tot slot is een aantal maatregelen gemarkeerd die naar verwachting een bijdrage leveren aan het behalen van een 50% reductie van het aantal ernstig gehinderden. In de tabel zijn die maatregelen gemarkeerd waarvan verwacht wordt dat ze de grootste bijdrage leveren aan de hinderreductie. Hierbij is alleen gekozen voor maatregelen die meegenomen worden in het rekenmodel dat gebruikt wordt om de hinderreductie te berekenen. Tot welke reductie de maatregelen uiteindelijk leiden hangt mede af van de mate waarin de maatregelen doorgevoerd worden (bijvoorbeeld voor welk percentage van de vloot vlootvernieuwing plaatsvindt). In een separate studie zal een scenario doorgerekend worden om te bepalen welke reductie daadwerkelijk behaald wordt; daarom komt dit niet aan de orde in dit rapport.

Tabel 1 - Indicatieve score hinderbeperkende maatregelen. (NB: deze evaluatie van maatregelen heeft alleen betrekking op toepassing op de luchthaven Maastricht Aachen Airport en is niet zonder meer toepasbaar bij andere luchthavens)

Reikwijdte Geluid, emissies Termijn Kosten									Bijdrage 50% reductie scenario
Geluid, emissies Veiligheid Sturing		Reikwijdte	Geluid	Emissies	Veiligheid	Termijn	Kosten	Sturing	
Overall Regionaal Op/nabij luchthaventerrein Kort (2020 tot 2024) Middellang (2024 tot 2030) Lang (2030 en later) 0-100k€ 100-1000k€ > 1000 k€									
+ Draagt bij aan hinder/emissiereductie 0 Marginale tot geen hinder/emissiereductie - Negatief effect op hinder/emissiereductie + Vergroot veiligheid 0 Marginaal tot geen effect op veiligheid - Negatief effect op veiligheid 0 Niet tot nauwelijks nodig, eenvoudig te realiseren 1 Vereist enige overleggen en afstemming 2 Complex, belemmeringen, regelgeving									
Maatregel									
3.1 Maatregelen grondgeluid									
3.1.1 Gereduceerd gebruik straalomkeerders		L	+	0	0	K	€	0	
3.1.2 Aanpassingen lay-out baan t.b.v. taxiën		L	+	+	+	K	€€€	1	
3.1.3 Waterinjectie bij proefdraaien		L	+	+	0	M	€€	1	
3.1.4 Elektrisch taxiën		L	+	+	0	K	€€	1	
3.1.5 Taxiën met minder motoren		L	+	+	0	K	€	0	
3.1.6 Gereduceerd APU- en GPU-gebruik		L	++	+++	0	K	€€	0	
3.2 Operationele maatregelen									
3.2.1 Verleggen van vliegroutes		R	+	0	0	K	€	1	
3.2.2 Routeoptimalisatie voor bestaande routes		R	++	0	0	K	€	1	
3.2.3 Spreiden van startend en landend verkeer		R	+	0	0	K	€	1	
3.2.4 Rustperiodes door alternerend routegebruik		R	++	0	0	K	€	1	
3.2.5 Minder vliegen in specifieke periodes		O	++	0	0	K	€	1	v
3.2.6 Baanpreferentie		O	+	-	0	K	€	1	v
3.2.7 Vertrekprocedures		R	+	0	0	K	€	1	
3.2.8 CDO		R	+	+	0	K	€	0	v
3.2.9 Aangepaste baanlengte en steilere naderingen		R	0	0	0	K	€	2	
3.2.10 Lage weerstand nadering		R	+	+	0	K	€	0	v
3.2.11 AMAN/DMAN		O	+	+	0	M	€	2	
3.3 Maatregelen in de omgeving									
3.3.1 Barrières		L	+	0	0	K	€€	1	
3.3.2 Beplanting (olifantsgras) en bodemgebruik		L	+	+	0	K	€€	1	
3.3.3 Oriëntatie en vorm van gebouwen en stille zijden		L	+	0	0	M	0	0	
3.3.4 Gevelmaterialisatie, 'groene' muren, geluidwerende ramen		L	+	+	0	K	€€	1	
3.3.5 Geluidsabsorberende voorzieningen binnenshuis		L	+	0	0	K	€€	1	
3.3.6 Zichtbaar groen en maskerende geluiden		L	+	+	0	K	€	1	
3.4 Overige maatregelen									
3.4.1 Stimuleren van vlootvernieuwing		O	+++	++	0	K	€€	1	v
3.4.2 Retrofitting		O	+	+	0	K	0	1	
3.4.3 Hybride-elektrische voortstuwing		O	+	+++	0	L	€€	1	

Conclusies

Maatregelen grondgeluid

De effecten van de maatregelen op gebied van grondgeluid worden voornamelijk op lokale schaal verwacht. Van het reduceren van APU- en GPU-gebruik wordt het meest verwacht wat betreft hinderreductie. Deze maatregel is al in gang gezet door de luchthaven door te investeren in pre-conditioned air en walstroom. Aanpassingen aan de baan lay-out bieden ook mogelijkheden tot hinderreductie. Afhankelijk van de gekozen aanpassingen kan dit lokaal voor verbeteringen zorgen. Van de andere maatregelen zijn het gereduceerd gebruik straalomkeerders het meest kansrijk op de korte termijn, tegen relatief lage kosten. Met betrekking tot elektrisch taxiën en taxiën op één motor is de verwachting dat hier geringe winst te behalen valt wat betreft geluidhinder, in verband met de benodigde tijd voor warming-up en cooling-down van de motoren.

Hoewel de geïnventariseerde maatregelen kunnen leiden tot geluid- en hinderreductie, zullen ze geen effect hebben op de berekeningen voor het 50% reductie scenario, omdat dergelijke bronnen niet meegenomen worden in het wettelijk voorgeschreven model voor het berekenen van vliegtuiggeluid rondom luchthavens.

Operationele maatregelen

Het gros van de operationele maatregelen heeft op regionaal niveau effect; hierbij zijn de effecten voor de dorpen dicht bij de luchthaven beperkt, maar verder weg van de luchthaven worden die groter.

De meest kansrijke maatregelen zijn routeoptimalisaties en rustperiodes door alternerend baan- en routegebruik. Daarnaast biedt het benutten van de vrijheden in toekenning van de baanrichting en daarover (voorspelbare) afspraken maken mogelijkheden tot hinderreductie. Ook het minder vliegen in specifieke periodes kan aanzienlijk bijdragen in de hinderreductie. Dat geldt vooral voor de vroege ochtendvluchten. Daarnaast zijn voor landingen de CDO-procedure en lage weerstand nadering aantrekkelijke maatregelen om door te voeren, voor zowel geluid- als emissiereductie. Kanttekening die hierbij moet worden geplaatst is dat dit niet altijd voor alle type vliegtuigen mogelijk is; dat hangt onder meer af van het type vliegtuig maar ook bijvoorbeeld van het actuele gewicht van het vliegtuig. Voor een deel van deze maatregelen moet onder andere de luchtverkeersleiding worden betrokken en ook de luchtvaartmaatschappijen. De implementatiekosten voor deze maatregelen worden relatief laag geschat.

Voor minder vliegen in specifieke periodes, baanpreferentie, CDO en lage weerstand nadering is te verwachten dat het effect hiervan ook wordt teruggezien in het 50% reductie scenario. De maatregel die zich richt op rustperiodes door alternerend routegebruik zal niet zichtbaar zijn in jaargemiddelde berekeningen, maar wel degelijk lokaal de hinder kunnen verminderen.

Maatregelen in de omgeving

De maatregelen in de omgeving richten zich op aanpassingen in het landschap of aan gebouwen. Het aanbrengen van barrières, in de vorm van een wand of bijvoorbeeld een gebouw, kan helpen om te zorgen dat omwonenden in de directe omgeving van de luchthaven minder gehinderd worden door grondgeluid. Wanneer slim wordt omgegaan met oriëntatie van nieuw te realiseren woongebouwen, het aanbrengen van gewassen en zichtbaar groen, kan geluidhinder worden gereduceerd. Onderzocht kan worden of olifantsgras tussen de luchthaven en Meerssen en bij Ulestraten een reductie kan opleveren van geluidsniveaus van startende of taxiënde vliegtuigen. Tegelijkertijd geeft groen, wanneer correct toegepast, de mogelijkheid voor het (beperkt) invangen van fijnstof en CO₂. Het zicht op groen en natuurlijke geluiden kunnen een positief effect hebben op hinderbeleving. De meeste maatregelen kunnen worden meegenomen in (nieuw)bouwprojecten.

Overige maatregelen

Vlootvernieuwing wordt op de korte termijn als het meest kansrijk gezien; aanzienlijke geluidsreductie en emissiereductie worden daarbij verwacht door de nieuwe types vliegtuigen die luchtvaartmaatschappijen van plan zijn te gaan inzetten of al hebben ingezet. Hiervan zullen de effecten ook terug te zien zijn in het 50% reductie scenario.

Naast deze ontwikkelingen is momenteel ook (hybride-)elektrisch vliegen volop in ontwikkeling. De effecten op geluid zijn nog niet volledig duidelijk. Geschat wordt dat dit type vliegtuigen een stuk stiller zijn, maar dat de frequentie van vliegbewegingen toe al nemen omdat deze vliegtuigen kleiner zijn. Wat dat doet met de hinder is nog niet bekend. Afhankelijk van het type vliegtuig hybride of volledig elektrisch, zal het vliegen (bijna) emissievrij zijn. De luchthaven zou al op korte termijn kunnen beginnen met het aantrekken van kleine elektrische (sport)vliegtuigen, door het aanleggen van laadinfrastructuur.

Cumulatie van geluid

Geluidhinder wordt niet alleen veroorzaakt door het vliegverkeer van MAA. Cumulatie van geluid treedt in Zuid-Limburg op. Nabijgelegen velden zoals vliegbasis Geilenkirchen en Luik zorgen voor extra geluidhinder. Daarnaast is de hinder door geluid van (snel)wegen ook aanwezig. Het is van belang om binnen afwegingskaders met alle vormen van hinder rekening te houden en niet alleen die veroorzaakt door de luchthaven.

Hinderbeleving

Een uitwerking is gegeven van de niet-akoestische factoren van hinderbeleving. Hierin kwam naar voren dat goede communicatie en participatie essentieel zijn in het creëren van vertrouwen bij de omgeving. Niet-akoestische factoren zoals geluidsgevoeligheid, houding ten opzichte van de luchthaven en voorspelbaarheid spelen mee in de perceptie van geluidhinder. Die voorspelbaarheid komt ten dele ook terug in de hinderbeperkende maatregelen; als omwonenden bijvoorbeeld weten op welke baanverdeling ze kunnen rekenen dan kan dat positief bijdragen aan de hinderbeleving.

Inhoudsopgave

Afkortingen	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding onderzoek	11
1.2 Scope	11
1.3 Leeswijzer	12
2 Geluid, emissies en veiligheid	13
2.1 Geluid	13
2.1.1 Gezondheidseffecten van geluid	15
2.1.2 Geluidhinder	16
2.1.3 Slaapverstoring	17
2.1.4 Cumulatie	18
2.2 Emissies	21
2.2.1 Luchtkwaliteit en de effecten van emissies op de gezondheid	22
2.2.2 Effecten van emissies op het klimaat	22
2.2.3 Effecten van emissies op de natuur	23
2.2.4 Geurhinder	25
2.3 Veiligheid	26
2.4 Huidige situatie MAA	26
2.4.1 Milieugebruiksruimte	27
2.4.2 Gebiedskenmerken MAA in relatie tot geluidbelasting	28
2.4.3 Geluidhinderonderzoek	28
2.4.4 Luchtkwaliteit in de omgeving van MAA	30
3 Hinderbeperkende maatregelen	33
3.1 Maatregelen grondgeluid	33
3.1.1 Gereduceerd gebruik straalomkeerders	33
3.1.2 Aanpassingen lay-out baan t.b.v. taxiën	36
3.1.3 Waterinjectie bij proefdraaien	39
3.1.4 Elektrisch taxiën	42
3.1.5 Taxiën met minder motoren	48
3.1.6 Gereduceerd APU- en GPU-gebruik	51
3.1.7 Conclusies maatregelen grondgeluid	53
3.2 Operationele maatregelen	54
3.2.1 Verleggen van vliegroutes	54
3.2.2 Routeoptimalisatie voor bestaande routes	57
3.2.3 Spreiden van startend en landend verkeer	61
3.2.4 Rustperiodes door alternerend routegebruik	64
3.2.5 Minder vliegen in specifieke periodes	65
3.2.6 Baanpreferentie	68
3.2.7 Vertrekprocedures	73

3.2.8	CDO	78
3.2.9	Aangepaste baanlengte en steilere naderingen	82
3.2.10	Lage weerstand nadering	85
3.2.11	AMAN/DMAN	88
3.2.12	Conclusies operationele maatregelen	90
3.3	Maatregelen in de omgeving	91
3.3.1	Barrières	91
3.3.2	Bepplanting (olifantsgras) en bodemgebruik	93
3.3.3	Oriëntatie en vorm van gebouwen en stille zijden	95
3.3.4	Gevelmaterialisatie, 'groene' muren, geluidwerende ramen	96
3.3.5	Geluidsabsorberende voorzieningen binnenshuis	98
3.3.6	Zichtbaar groen en maskerende geluiden	99
3.3.7	Conclusies maatregelen in de omgeving	100
3.4	Overige maatregelen	100
3.4.1	Stimuleren van vlootvernieuwing	100
3.4.2	Retrofitting	104
3.4.3	Hybride-elektrisch vliegen	105
3.4.4	Conclusies overige maatregelen	110
4	Hinderbeleving	111
4.1	Kwaliteit van leven	111
4.1.1	Definitie van KvL	111
4.1.2	KvL en luchthavens	112
4.1.3	KvL en participatie	113
4.2	Niet-akoestische factoren	115
4.2.1	Verschillende niet-akoestische factoren	115
4.2.2	Impact van NAF op hinderbeleving	116
4.2.3	Niet-akoestische factoren en MAA	117
5	Conclusies	121
6	Referenties	124

Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
ACI	Airport Council International, organisatie die zich inzet voor de belangen van luchthavens
ADS-B	Automatic dependent surveillance—broadcast; technologie waarbij vliegtuigen hun positie vaststellen op basis van satelliet gegevens en vervolgens uitzenden
AIP	Aeronautical Information Publication
AMAN	Arrival Management - planningsproces
ANP	Aircraft Noise and Performance
APU	Auxiliary Power Unit; levert stroom in het vliegtuig wanneer de motoren uit zijn
ATM	Air Traffic Management - Luchtverkeersleiding
CANSO	Civil Air Navigation Services Organisation, organisatie die zich inzet voor de belangen van luchtverkeersleidingsorganisaties
CCO	Continuous Climb Operation - continu klimprofiel
CDO	Continuous Descent Operation - continu daalprofiel
CORSIA	Carbon Offsetting en Reduction Scheme for International Aviation
DMAN	Departure Management - planningsproces
FANOMOS	Flighttrack and Aircraft NOise MONitoring System
Ft	Foot (1 ft is 0.3048 meter).
EU ETS	Europese Emissiehandelssysteem
GBAS	Ground-based Augmentation Systems - grond geassisteerde GPS
GGD	Gemeentelijke Gezondheidsdienst
GPS	Global Positioning System
GPU	Ground Power Unit; levert stroom aan een vliegtuig tijdens de afhandeling op de grond.
GSE	Ground Service Equipment
ICAO	International Civil Aviation Organisation, luchtvaartorganisatie van de Verenigde Naties o.a. belast met de wereldwijde harmonisering van de luchtvaart
I&W	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
ILT	Inspectie Leefomgeving en Transport
KICL	Klachten Informatie Centrum Luchtverkeer
LHB	Luchthavenbesluit
LTO-cyclus	Landing-and-take-off-cyclus. Eén LTO-cyclus is de combinatie van de landing, het vertrek en het taxiën van een vliegtuig. Een LTO bestaat uit 2 bewegingen.
LTO-emissies	Emissies tijdens het opstijgen, klimmen, dalen, landen en taxiën van het vliegtuig (landing-and take-off) tot 3.000 ft (1.827 meter).
MAA	Maastricht Aachen Airport
MER	Milieu Effect Rapportage
NADP	Noise Abatement Departure Procedure

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
NAF	Non-Acoustic Factors / Niet-Akoestische Factoren
NLR	Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
PBN	Performance Based Navigation
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RNAV	Area Navigation
SBAS	Satellite-based Augmentation Systems - satelliet geassisteerde GPS
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
VCNS	Virtual Community Noise Simulator
WUR	Wageningen University & Research

1 Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

Maastricht Aachen Airport (MAA) is een proces gestart om te komen tot de aanvraag van een nieuw luchthavenbesluit. Om tot een nieuw luchthavenbesluit te komen is het nodig om in kaart te brengen op welke wijze de luchthaven zich kan ontwikkelen de komende jaren. Daarnaast is recentelijk de Ontwerp-Luchtvaartnota uitgebracht, waarin het huidige kabinet een strategische visie presenteert voor de Nederlandse luchtvaart van 2020-2050. Daar wordt over regionale luchthavens gezegd dat deze zich moeten ontwikkelen in de lijn met de regio waarin ze liggen. Participatie van verschillende stakeholders zoals omwonenden, bedrijfsleven en lokale overheden in de totstandkoming van ontwikkelingsplannen vormt daarin een belangrijk onderdeel.

Gedeputeerde Staten hebben hiertoe de heer Pieter van Geel opdracht gegeven de provinciale vertaling van de Luchtvaartnota voor Maastricht Aachen Airport (MAA) op innovatieve wijze met de regio, via participatie en overleg met de omgeving (omwonenden en maatschappelijke organisaties, experts, bedrijven en overheden) te doen. Daarbij is een passende weging van de verschillende belangen gevraagd om zo tot het best haalbare advies te komen over de ontwikkeling van Maastricht Aachen Airport tot een toekomstbestendige en duurzame luchthaven.

In het kader van dit traject is er behoefte aan een uitwerking van mogelijke hinderbeperkende maatregelen voor de luchthaven Maastricht Aachen Airport. Aan NLR is gevraagd om op onafhankelijke wijze hier onderzoek naar te doen.

1.2 Scope

De scope van het onderzoek is ingekaderd door een centrale vraagstelling met daarbij onderzoeksvragen. Deze zijn vastgesteld door MAA en de Provincie Limburg in samenspraak met de verschillende stakeholders.

De centrale vraagstelling luidt als volgt:

Welke hinderbeperkende maatregelen zijn bij Maastricht Aachen Airport mogelijk; wat zijn de effecten van deze maatregelen op geluid, geluidhinder, luchtkwaliteit, geuroverlast en slaapverstoring; wat is de termijn waarop deze maatregelen kunnen worden toegepast met de daarbij behorende kosten; en op welke wijze kan worden gestuurd op het toepassen van de maatregelen?

De centrale vraagstelling is vervolgens uitgewerkt in de volgende onderzoeksvragen:

1. *Welke hinderbeperkende maatregelen zijn mogelijk? Welke hinderbeperkende maatregelen zijn tot op heden elders toegepast? Maak hierbij een onderscheid tussen vliegtuigtechnische maatregelen, operationele maatregelen en maatregelen met betrekking tot omgeving/inrichting. Welke hinderbeperkende maatregelen zijn al genomen en wat is hiervan het resultaat?*
2. *Welke maatregelen zijn op korte (uiterlijk 2024) en lange termijn (uiterlijk 2030) uitvoerbaar?*
3. *Wat is het effect van deze maatregelen op de parameters CO₂, NO_x, (ultra)fijnstof, geluid, geluidhinder, geuroverlast, slaapverstoring en veiligheid? Op welke termijn kan dit effect verwacht worden?*

4. *Wat is het cumulatieve effect? Welke mogelijkheden zijn er om invulling te geven aan het begrip milieugebruiksruimte of het optellen van de afzonderlijke milieuparameters? Wat zijn de consequenties van de nieuwe omgevingswet? Wat is de bruikbaarheid van het MGR-scoringsinstrument (Milieu GezondheidsRisico)? Leg waar mogelijk relaties met reeds uitgevoerd hinderbelevingsonderzoek in de regio.*
5. *Wat moet gedaan worden om tot een reductie van het aantal ernstig gehinderden en slaapgestoorden van 50% te komen ten opzichte van het aantal in de huidige vergunde situatie conform de huidige vergunde situatie?*
6. *Welke factoren dragen nog meer bij aan hinderbeleving en hoe kan deze beleving positief worden beïnvloed? Bijvoorbeeld houding ten opzichte van luchthaven, bekendheid met geluid, rechtvaardigheid, inspraak.*
7. *Wat zijn de kosten van de verschillende hinderbeperkende maatregelen?*
8. *Op welke wijze kan gestuurd worden op de inzetbaarheid van deze maatregelen? Welke belemmeringen zijn er (bijvoorbeeld in de wetgeving)?*

De onderzoeksvragen worden integraal beantwoord in het rapport. Vragen 1 t/m 3, 7 en 8 zijn samengevoegd en worden per maatregel beschouwd. Onderzoeksvraag 5 is in samenspraak met onderzoeksbureau To70 beantwoord.

De significantie van de bijdrage in hinderbeperking van elke maatregel wordt weergegeven in de samenvattende tabel.

Uitgangspunt onderzoek

Het uitgangspunt van het onderzoek is primair de consultatieronde die heeft plaatsgevonden onder omwonenden, vertegenwoordigers van het bedrijfsleven en regionale overheden. Daarnaast is input opgehaald bij en heeft er afstemming plaatsgevonden met de Werkgroep Hinderbeperking. De daar benoemde aandachtspunten in relatie tot geluidhinder zijn als vertrekpunt genomen voor de inventarisatie van hinderbeperkende maatregelen. Hoewel de kleine luchtvaart (lichte vliegtuigen, sportvliegtuigen, zakenvliegtuigen en helikopters) ook voor hinder kunnen zorgen, is dit in de consultatieronde niet nadrukkelijk naar voren gekomen. De maatregelen focussen zich daarom op de hinder ten gevolge van de grote luchtvaart.

Van sommige maatregelen die in dit onderzoek worden benoemd, zal het effect mogelijk niet terugkomen in de *geluidbelasting* zoals die volgt uit berekeningen van bijvoorbeeld jaargemiddelden. Dit komt doordat het effect van een dergelijke maatregel niet wordt meegenomen in het rekenmodel. Wel kan zo'n maatregel effect hebben op de *ervaren geluidhinder van omwonenden*. De maatregelen in dit rapport zijn toegespitst op (verbetering van) de huidige situatie van MAA en omgeving.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een korte introductie gegeven op de belangrijke thema's binnen dit onderzoek, namelijk geluid, emissies en veiligheid. Daarnaast wordt ingegaan op cumulatieve effecten in 2.1.4, zoals gevraagd is in onderzoeksvraag 4. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een uitwerking gegeven van de hinderbeperkende maatregelen. Hiermee wordt invulling gegeven aan de onderzoeksvragen 1 t/m 3, 7 en 8. Hoofdstuk 4 behandelt het onderwerp hinderbeleving en geeft hiermee invulling aan de onderzoeksvraag 6. Het rapport sluit af met conclusies in hoofdstuk 5.

2 Geluid, emissies en veiligheid

Dit hoofdstuk behandelt de onderwerpen geluid, emissies en veiligheid. Dit zijn de onderwerpen die een belangrijk onderdeel vormen in het onderzoek naar hinderbeperking. In de volgende paragrafen wordt per onderwerp een korte beschouwing gegeven van de relevante aspecten die een rol spelen. Het vormt hiermee tevens de achtergrond en uitgangspunten voor het onderzoek dat daarna wordt beschreven.

2.1 Geluid

Vliegtuiggeluid is samengesteld uit een mix van frequenties, van hoog tot laag, met elk een eigen intensiteit. Opgeteld resulteert dit in een geluidniveau (L) dat wordt uitgedrukt in decibel (dB). Het geluidniveau wordt ook wel Sound Pressure Level (SPL) genoemd.

Decibel

De decibel is een logaritmische maat, waardoor dB-waarden van geluidniveaus van vliegtuigen niet direct bij elkaar kunnen worden opgeteld (twee bronnen van 60 dB geven gezamenlijk geen 120dB). Hieronder volgen enkele rekenvoorbeelden:

- 60 dB + 60 dB = 63.0 dB
- 5 dB x 60 dB = 67.0 dB
- 10 dB x 60 dB = 70.0 dB
- 70 dB - 60 dB = 69.5 dB

Het menselijk gehoor en de A-weging

Het menselijk gehoor is niet voor elke frequentie van het geluid (elke toonhoogte) even gevoelig. Daarom worden de frequenties gewogen om het geluidniveau te bepalen zoals mensen dat waarnemen. Er zijn meerdere vormen van weging; de zogeheten A-weging wordt in de praktijk het meest gebruikt voor vliegtuiggeluid. Het A-gewogen geluidniveau (LA) wordt uitgedrukt in 'A-gewogen decibel', of dB(A). Hierbij worden de frequenties waarvoor het menselijk gehoor minder gevoelig is minder zwaar meegewogen dan de frequenties waarvoor het menselijk gehoor wel gevoelig is. Een A-gewogen geluidniveau zal door de aard van het vliegtuiggeluid, doorgaans lager zijn dan een ongewogen geluidniveau.

Het verschil tussen geluidniveaus en geluidbelasting

De hoeveelheid vliegtuiggeluid kan afhankelijk van de hoeveelheid vliegbewegingen op verschillende manieren worden uitgedrukt:

1. Voor elke vliegbeweging afzonderlijk. Het geluid van individuele vliegbewegingen wordt geluidniveau genoemd.
2. Voor alle vliegbewegingen samen. Het geluid van meerdere vliegbewegingen samen wordt geluidbelasting genoemd.

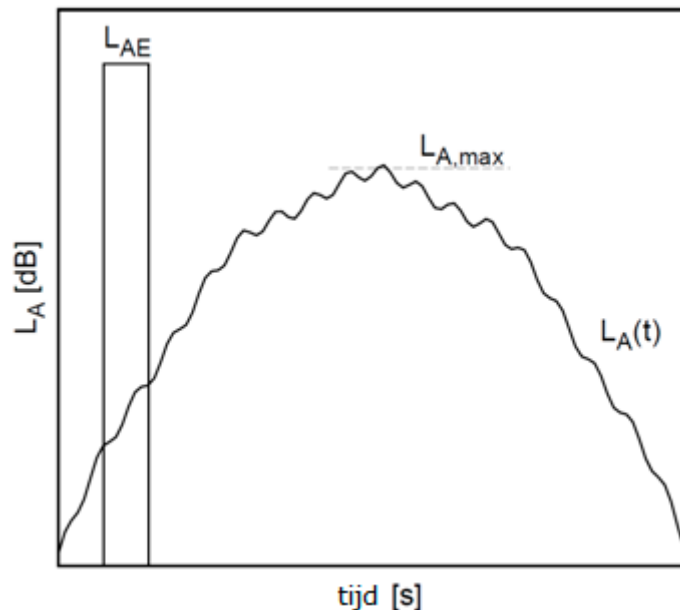
Geluidmaten

Een geluidmaat drukt de hoeveelheid geluid uit. Er bestaan geluidmaten voor geluidniveaus en geluidbelasting. Wanneer een vliegtuig passeert zal het geluidniveau, en ook het A-gewogen geluidniveau eerst toenemen, een maximaal of piekniveau bereiken (L_{Amax}) en vervolgens afnemen. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 1, waarin het

geluidniveau (L_A) is uitgezet tegen de tijd. De verschillende geluidniveaus die gedurende de gehele duur van de passage worden geproduceerd, kunnen worden opgeteld. Vervolgens kan de gemiddelde hoeveelheid geluid over een bepaalde periode bepaald worden. Deze maat voor geluid wordt het equivalente geluidniveau (LAE) genoemd.

Het equivalente geluidniveau van een vliegtuigpassage over een periode van één seconde wordt het 'Sound Exposure Level' (SEL) genoemd.

Een A-gewogen SEL is gelijk aan de LAE als de LAE voor een periode van één seconde wordt bepaald (zie Figuur 1).



Figuur 1: Verschillende geluidmaten tijdens een vliegtuigpassage

Zowel piekniveaus als SEL waarden kunnen worden berekend en gemeten. Als ze gemeten worden, kunnen de uitkomsten van de metingen onderling verschillen ten gevolge van het gebruik, de specificaties en de nauwkeurigheid van de meetapparatuur. Indien resultaten van verschillende metingen worden vergeleken is het dus van belang om te controleren of de betreffende resultaten zoveel mogelijk op dezelfde wijze zijn bepaald. Voor het meten van vliegtuiggeluid bestaan meetstandaarden waarin wordt beschreven hoe de geluidsmetingen op een goede manier uitgevoerd kunnen worden.

Geluidmaten voor meerdere vliegbewegingen

De geluidbelasting is de totale geluidproductie van meerdere vliegbewegingen. De geluidniveaus van alle individuele vliegbewegingen worden hiervoor bij elkaar opgeteld. Hierbij kan rekening gehouden worden met:

- Het geluidniveau van elke individuele vliegbeweging;
- Het aantal vliegbewegingen gedurende een periode;
- Het tijdstip van de vliegbewegingen.

Hieronder staan enkele voorbeelden van geluidmaten voor de geluidbelasting van luchtvaart:

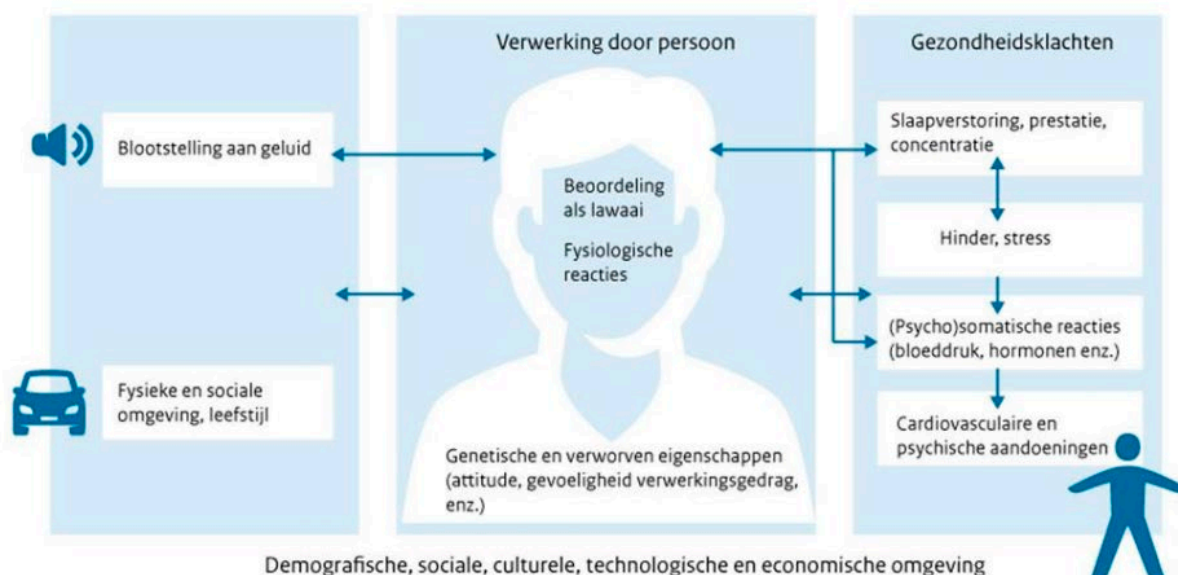
1. Kosteneenheden;
2. L_{den} en L_{Aeq} ;
3. alternatieve geluidmaten (number above en time above).

2.1.1 Gezondheidseffecten van geluid

Of er gezondheidseffecten ten gevolge van blootstelling aan (ongewenst) omgevingsgeluid optreden, hangt af van de intensiteit, de frequentie en de duur van de blootstelling. Daarbij spelen ook andere aspecten nog een rol, die niet direct aan geluid gerelateerd zijn. Factoren zoals de context waarin het geluid te horen valt, de manier waarop iemand over de bron van het geluid denkt maar ook de eventuele gevoeligheid en angst voor geluid of hoe iemand met geluid omgaat (RIVM, KNMI, NLR, 2019).

Als het gaat om de geluidbeleving rondom vliegverkeer, blijken mensen zowel positieve als negatieve ervaringen te hebben, soms ook tegelijkertijd. Zo kunnen mensen de economische voordelen zien van vliegen, maar tegelijkertijd zich gehinderd voelen door geluid. Geluid leidt echter niet alleen tot nadelige effecten. Er zijn ook geluiden die juist als prettig worden ervaren. Het compleet ontbreken van geluid kan zelfs als onveilig worden ervaren, omdat het menselijk brein dan geen referentiesituatie kan vormen (Trouw, 2020).

Het RIVM, dat samen met KNMI en NLR onderzoek doet naar meten, rekenen en beleving van vliegtuiggeluid, heeft een visualisatie gemaakt van hoe geluid en gezondheid samenhangen, zie Figuur 2. Wanneer de blootstelling aan geluid toeneemt, kan er fysiologische reactie in het lichaam optreden. Geluid is namelijk een stressor en dat betekent dat bij blootstelling het lichaam in staat van paraatheid wordt gebracht. Hierdoor kan je hartslag tijdelijk omhooggaan, je ademhaling sneller gaan of spieren zich aanspannen. Daarnaast kan iemand zich storen of ergeren aan het geluid. Dat zijn korte termijn reacties. Op de langere termijn zijn gezondheidseffecten van de blootstelling aan omgevingsgeluid terug te zien in onder andere (ernstige) hinder, slaapverstoring en verstoring van de dagelijkse bezigheden, leesprestaties en stressreacties. Stressreacties kunnen op hun beurt weer aanleiding geven tot een verhoogde bloeddruk, de aanmaak van cortisol stimuleren en op de langere termijn een verhoging geven van het risico op hart- en vaatziekten en psychische aandoeningen (RIVM, KNMI, NLR, 2019).



Figuur 2: Model voor relatie tussen geluid en gezondheid (RIVM, KNMI, NLR, 2019)

2.1.2 Geluidhinder

Geluidhinder is subjectief; het verschilt per persoon of en wanneer geluid als hinderlijk wordt ervaren. Of een persoon bijvoorbeeld last heeft van geluid hangt af van de kenmerken van het geluid zoals de sterkte, de toonhoogte en het soort geluid en het dynamische karakter daarvan. Daarnaast speelt ook de situatie een rol: wie of wat veroorzaakt het geluid en wanneer? Ook speelt de gevoeligheid van de ontvanger voor geluid een rol.

Het bepalen van het aantal gehinderden

Onder hinder worden verschillende (negatieve) gevoelens verstaan, zoals ergernis, boosheid, ontevredenheid, hulpeloosheid, ongerustheid, agitatie. Door mensen met behulp van enquêtes te vragen in hoeverre ze hinder ervaren, kun je de hinder meten (RIVM, KNMI, NLR, 2019). Daarnaast is het verzamelen van hindermeldingen ook een manier om een indruk te krijgen van de onderwerpen die spelen bij geluidhinder.

Een andere manier van het bepalen van het aantal ernstig gehinderden is het toepassen van zogeheten dosis-responsrelaties. Dit zijn relaties die zijn afgeleid op basis van de eerdergenoemde enquêtes. Het percentage van de bevolking dat ernstige geluidhinder ondervindt, wordt bepaald door respondenten op een schaal van 0 tot 10 aan te laten geven in welke mate zij zich gehinderd voelen. Respondenten die een hoge score invullen (8, 9 of 10) worden aangemerkt als 'erg gehinderd' of 'ernstig gehinderd'. De gegevens van de enquête worden gekoppeld aan de (berekende) geluidbelasting, waardoor een relatie kan worden afgeleid tussen de hoogte van de geluidbelasting (de dosis) en het percentage van de bevolking dat aangegeven heeft ernstig gehinderd te zijn (het effect). Op een vergelijkbare manier kan een dosis-effect relatie voor slaapverstoring bepaald worden.

In de loop der jaren zijn meerdere dosis-effect relaties afgeleid, bijvoorbeeld voor verschillende luchthavens en op verschillende momenten in de tijd. Bestudering van verschillende relaties laat zien dat de mate van hinder kan veranderen in de loop van de tijd, maar ook bij een gelijke geluidbelasting kan verschillen voor verschillende luchthavens of gebieden. Daarnaast kan de manier waarop de hoeveelheid geluid wordt bepaald verschillen per dosis-effectrelatie (bijvoorbeeld door te meten of te rekenen). Ook dit kan tot verschillen tussen dosis-effectrelaties leiden.

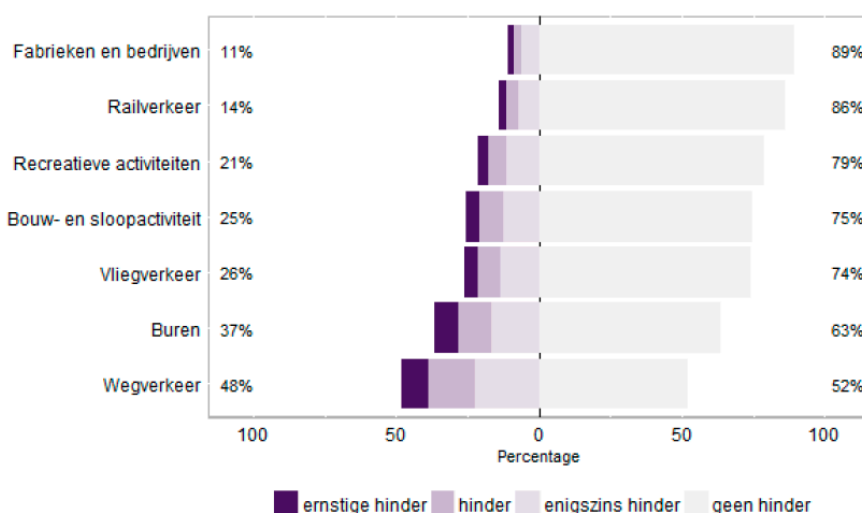
Op basis van een dosis-effectrelatie kan voor een bepaalde geluidbelasting (dosis) de respons worden ingeschat. Zo kan bijvoorbeeld berekend worden welk effect een hinderbeperkende maatregel heeft op de geluidbelasting in het gebied rondom een luchthaven. Vervolgens kan ingeschat worden wat de gevolgen zijn voor het aantal (ernstig) gehinderden door de geluidbelasting te combineren met een dosis-effectrelatie en informatie over de populatie rondom de luchthaven (zoals: waar wonen hoeveel mensen). Voor de situatie van MAA wordt opgemerkt dat er geen specifieke dosis-responsrelatie afgeleid is voor MAA, voor Zuid-Limburg is dat wel het geval (zie paragraaf 4.2.3 voor meer informatie hierover)

Er bestaan wereldwijd vele onderzoeken en aanbevelingen met betrekking tot de effecten van vliegverkeer op hinder en gezondheid. Zo heeft bijvoorbeeld de Wereld Gezondheidsorganisatie WHO in sterke mate aanbevolen om de geluidbelasting die wordt geproduceerd door vliegverkeer te reduceren tot onder de 45 dBA (Lden) (WHO, 2018). Het document geeft echter ook aan dat in veel gevallen het bewijs voor de gedane aanbevelingen niet sterk is voor vliegtuiggeluid. Daarom is aanvullend onderzoek wenselijk.

Geluidhinder wordt echter niet alleen door de luchtvaart veroorzaakt. Er zijn meerdere bronnen verantwoordelijk voor het veroorzaken van hinder. Dikwijls zijn dat bronnen, zoals wegverkeer of bijvoorbeeld ruziënde burens. Specifiek bij MAA ontstaat in sommige gevallen ook hinder doordat dakpannen loskomen door overvliegende vliegtuigen. Dit

onderwerp valt echter buiten de scope van het huidige onderzoek; binnen de CRO is in 2019 hier aandacht aan besteed en heeft NLR onderzoek gedaan naar woningschade door zogturbulentie van vliegtuigen (CRO Maastricht, 2019).

In Figuur 3 is een overzicht te zien van de grootste bronnen van geluidhinder. Van alle Nederlanders van 16 jaar en ouder geeft 9.3% aan ernstige hinder door geluid van wegverkeer te hebben ervaren in 2016. Op plek twee komen burens: 8.4% ondervond hier ernstige hinder van. Daarna volgt vliegverkeer met 4.6% van de Nederlanders die daardoor ernstig werd gehinderd. Wel moet worden gemeld dat het type geluid van de bron van invloed is op de hinderlijkheid van de bron. Zo wordt vliegverkeer vaak als hinderlijker ervaren dan het geluid van wegverkeer (Poll & al., 2018).



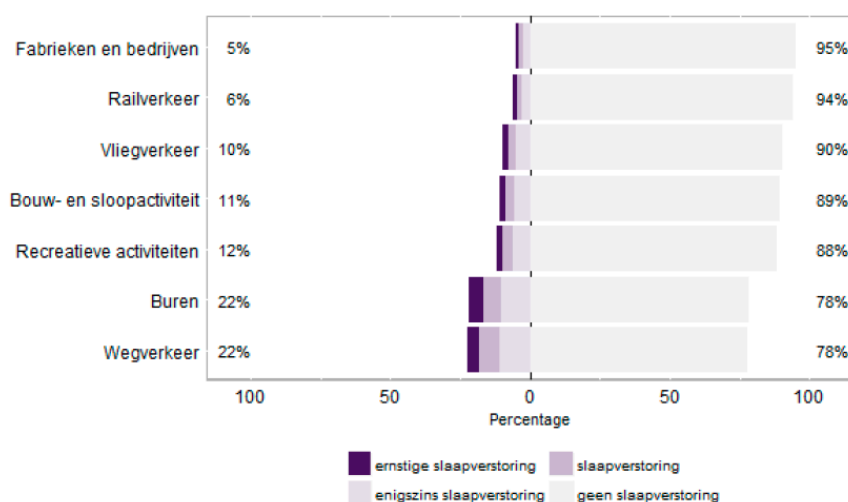
Figuur 3: Geluidbronnen die voor de meeste hinder zorgen in Nederland (2016) (Poll & al., 2018)

Geluid en hinder in dit onderzoek

In het huidige onderzoek zijn hinderbeperkende maatregelen geïnventariseerd. Daarbij wordt zowel de geluidbelasting als hinder besproken. Zoals in hoofdstuk 1.2 reeds benoemd, zal het effect van een aantal maatregelen niet worden meegenomen bij de berekening van de *geluidbelasting*. Dat neemt niet weg dat dergelijke maatregelen een effect kunnen hebben op de ervaren *geluidhinder*.

2.1.3 Slaapverstoring

Geluiden, geuren en trillingen kunnen een mens in zijn slaap verstoren. Een (chronisch) verstoorde slaap kan negatieve gevolgen hebben voor de gezondheid. De meeste Nederlanders worden in hun slaap gestoord door geluid van burens en wegverkeer. Daarna volgen recreatieve activiteiten. Op plek vijf staat vliegverkeer, echter kan dit regionaal sterk verschillen (Poll & al., 2018).



Figuur 4: Belangrijke geluidsbronnen voor slaapverstoring in Nederland (2016) (Poll & al., 2018)

Voor MAA geldt dat de luchthaven is geopend van 6.00 uur tot 23.00 uur. De vluchten in de vroege ochtend en late avond zouden kunnen leiden tot slaapverstoring.

2.1.4 Cumulatie

Cumulatie is de stapeling van meerdere milieufactoren, zoals luchtverontreiniging, geur, geluid, trillingen en straling. Zo kan iemand die in de nabijheid van een autosnelweg woont, tegelijkertijd een spoorweg achter het huis hebben, en kan een vliegroute over de woning liggen. Het wegverkeer zorgt voor uitlaatgassen die een verslechterde luchtkwaliteit tot gevolg hebben. Daarnaast produceert het wegverkeer geluid, wat als hinderlijk kan worden ervaren. Treinverkeer is niet alleen luidruchtig, maar kan ook hinderlijke trillingen teweeg brengen die gevoeld kunnen worden in een woning. Hetzelfde geldt voor vliegverkeer. Hinder en de opeenstapeling daarvan kunnen negatieve effecten hebben op de gezondheid van het individu, meer dan de som van de individuele bijdragen. Daarnaast spelen ook directe gezondheidsrisico's, zoals luchtwegklachten, een rol. In deze paragraaf wordt specifiek ingegaan op de cumulatie van geluid in de omgeving van Maastricht Aachen Airport. Hierin worden meerdere bronnen van geluid betrokken.

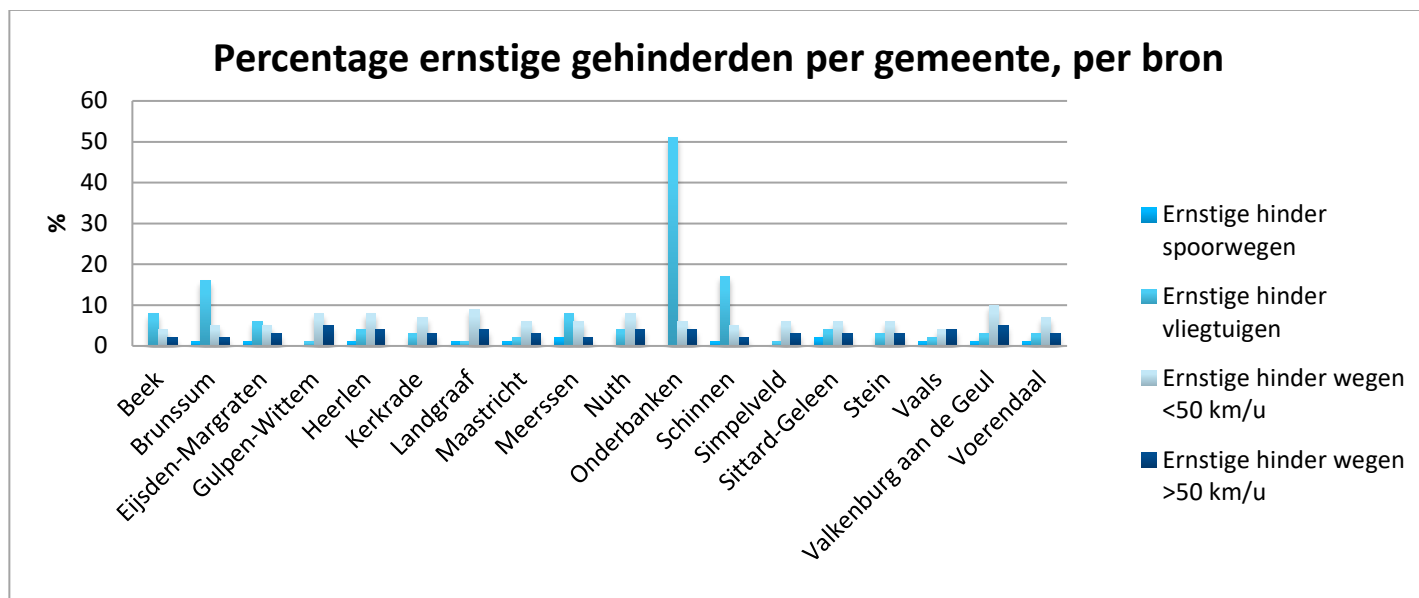
2.1.4.1 Cumulatie van geluid in de omgeving van MAA

Zoals eerder gemeld in deze paragraaf doen de GGD'en om de vier jaar onderzoek naar onder andere ervaren geluidhinder van verschillende bronnen in de leefomgeving. Het RIVM houdt data bij van de ervaren geluidhinder per bron. Wanneer wordt ingezoomd op gemeentelijk niveau, kan vervolgens per wijk de bijdrage aan de geluidhinder worden weergegeven. Dit is gedaan volgens de volgende onderverdeling:

- Hinder door vliegtuigen;
- Hinder door een weg <50 km/u;
- Hinder door een weg >50 km/u;
- Hinder door spoorwegen.

Ten behoeve van de leesbaarheid is in Figuur 5 per *gemeente* (en niet per wijk) het percentage ernstig gehinderden weergegeven, onderverdeeld in de hiervoor genoemde categorieën. De gemeenten waar relatief veel ernstig

gehinderden zijn, zijn duidelijk te zien in de grafiek. Verder valt op dat, naast vliegverkeer, een relatief groot aantal mensen ernstige hinder ten gevolge van wegen < 50 km/u ondervindt in een groot aantal gemeenten. Verschillende bronnen kunnen dus resulteren in een cumulatie van (geluid)hinder.



Figuur 5: Percentage ernstig gehinderden per gemeente, per bron (eigen verwerking van data van (RIVM, 2016))

2.1.4.2 Milieugezondheidsrisico (MGR)

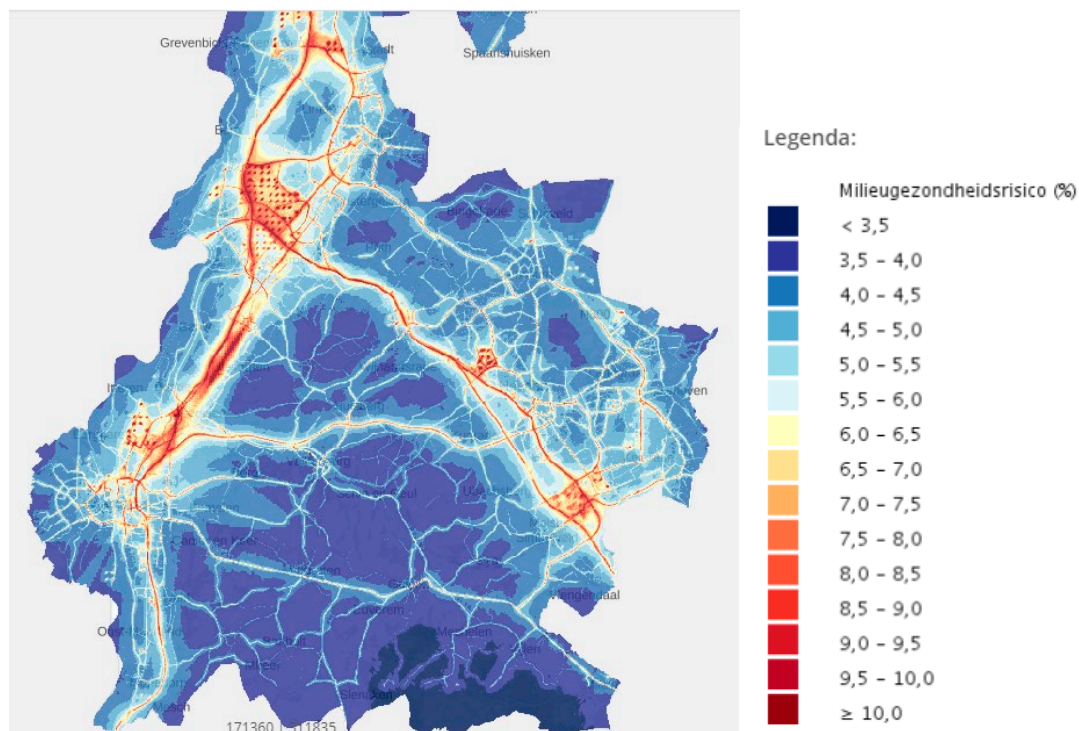
Het belevingsonderzoek van de GGD brengt vooral de beleefde hinder ten gevolge van onder andere geluid in beeld. Gezondheidsrisico's worden uiteraard niet alleen vanuit hinder veroorzaakt (indirect) maar ook door de emissies zelf (direct). Om daar beter zicht op te krijgen, heeft het RIVM de Milieugezondheidsrisico-indicator (MGR) ontwikkeld. Het MGR geeft de milieukwaliteit weer vanuit een gezondheidskundig perspectief. De gezondheidsrisico's van (de stapeling van) verschillende omgevingsfactoren op lokale schaal worden in één getal uitgedrukt. Vervolgens wordt met de MGR op basis van de lokale milieubelasting het risico op milieu-gerelateerde ziekte last weergegeven. Die is over Nederland gemiddeld bijna 6%, maar varieert dus lokaal. De volgende gegevens zijn meegenomen in de MGR (RIVM, 2016);

- Fijn stof (PM₁₀) stikstofdioxide (NO₂) en roet (situatie 2013, bron RIVM);
- Geluid van wegverkeer (2011, bron RIVM);
- Geluid van railverkeer (2011, bron RIVM);
- Geluid van vliegverkeer Schiphol (2015, bron MER, op basis van 450.000 vluchtbewegingen);
- Geluid van industrie (2007, bron PBL).

De MGR kan als een handig instrument fungeren om bijvoorbeeld:

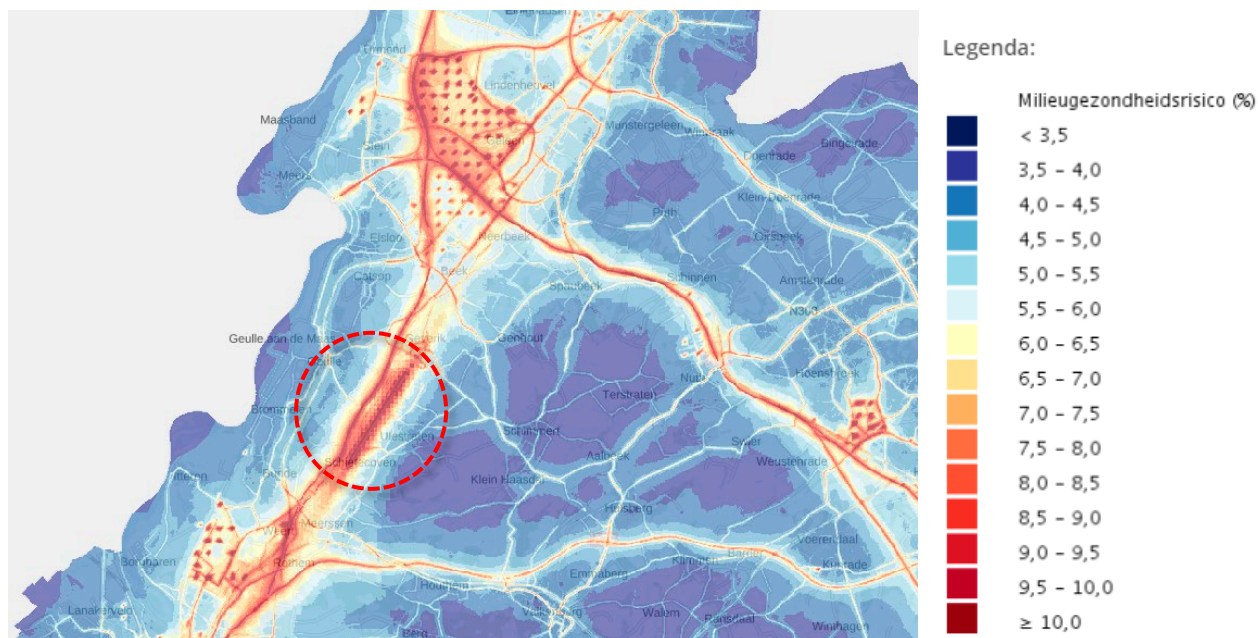
- De milieukwaliteit vanuit een gezondheidskundig perspectief ruimtelijk te weergeven;
- De gezondheidsrisico's van milieufactoren met ongelijksoortige effecten op te tellen (cumulatie);
- Een afweging tussen ongelijksoortige milieubelastingen te maken;
- Planalternatieven op woningniveau én groepsniveau te vergelijken (RIVM, 2016).

De lokale MGR kan vervolgens in een kleurcode worden uitgedrukt op een bepaald gebied. Voor Zuid-Limburg is deze weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: MGR-score voor Zuid-Limburg. Figuur is uitsnede van (Atlas Leefomgeving, 2019)

In deze figuur zijn duidelijk de gebieden aanwezig waar de score hoog is. Een hoge score is in dit geval minder positief. Grote wegen, industriegebieden en ook de luchthaven (rode stippellijn) hebben een hoge MGR-score.



Figuur 7: Uitvergroting van MGR-score Zuid-Limburg. De rode stippellijn laat de locatie van de luchthaven zien. Figuur is uitsnede van (Atlas Leefomgeving, 2019)

2.1.4.3 Omgevingswet

De nieuwe Omgevingswet is een bundeling van regels voor ruimtelijke projecten. Deze wet is in 2016 goedgekeurd door de Eerste Kamer en toen ook gepubliceerd in het Staatsblad. De wet treedt in 2021 in werking (Rijksoverheid, 2019).

De term Milieugebruiksruimte wordt in de Crisis- en Herstelwet gedefinieerd als: *“binnen een ontwikkelingsgebied aanwezige marge tussen de bestaande milieukwaliteit en de voor dat gebied geldende milieukwaliteitsnormen, die kan worden benut voor milieubelastende activiteiten”* (Crisis- en herstelwet, 2019). De Crisis- en Herstelwet gaat over in de nieuwe Omgevingswet (Rijksoverheid, 2019).

In de nieuwe Omgevingswet is de term ‘gebruiksruimte’ opgenomen, waarmee de binnen een gebied aanwezige juridische ruimte wordt bedoeld voor activiteiten in de fysieke leefomgeving. De gebruiksruimte houdt in dat activiteiten mogelijk zijn met behoud van bestaande doelen en omgevingswaarden. Bedrijven, overheid en burgers hebben samen te taak om ervoor te zorgen dat deze afgesproken omgevingswaarden binnen de gestelde grenzen blijven (Pels Rijcken, 2016). Uiteraard moet dit geen vrijbrief zijn om eventuele (vrijgekomen) gebruiksruimte op te vullen met een andere activiteit die de omgevingswaarden doen verslechteren. Het is daarom belangrijk om te kijken naar meerdere parameters tegelijk.

De cumulatie van geluid en emissies zou kunnen worden meegenomen in relatie tot de nieuwe Omgevingswet. De Luchtvaartwet, waarin bepalingen staan met betrekking tot geluid en externe veiligheid van de luchtvaart, is echter een separate wet en valt derhalve niet onder de nieuwe Omgevingswet. Dit wordt onderkend in de Ontwerp-Luchtvaarnota. In de Ontwerp-Luchtvaarnota presenteert het kabinet haar strategische visie op de Nederlandse luchtvaart tot 2050. Specifieke aandacht gaat uit naar de inpassing van luchthavens in de omgeving. Hiertoe zal een verkenning worden ondernomen om ruimtelijke ontwikkeling rondom luchthavens te laten aansluiten bij de nieuwe Omgevingswet, waarbij bij de ruimtelijke inrichting ook wordt gekeken naar een hinderbeperkende invulling. Ook wordt de inzet van een Omgevingsfonds genoemd als mogelijkheid om de kwaliteit van de leefomgeving te verbeteren (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020).

2.2 Emissies

Onder emissies wordt in dit rapport verstaan de stoffen die vrijkomen door de verbranding van een brandstof. Strikt genomen is geluid ook een emissie, maar om spraakverwarring te voorkomen wordt in dit rapport geluid afzonderlijk behandeld.

Tijdens een vlucht komen emissies vrij door de verbranding van een brandstof. Ook voorafgaand aan en na afloop van de vlucht worden tijdens de grondafhandelingsprocessen emissies geproduceerd. Dit gebeurt bijvoorbeeld wanneer er wordt getankt, passagiers in en -uitstappen of vracht wordt in of uitgeladen. ICAO heeft voor verbrandingsemissies vier categorieën onderscheiden (ICAO, 2011):

1. Vliegtuigemissies;
2. Vliegtuig handling emissies;
3. Infrastructurele of stationaire bronnen;
4. Verkeer van voertuigen.

De grootste bijdrage in emissies komt van de vlucht zelf. Bij verbranding van vliegtuigbrandstoffen in de motor ontstaan de volgende emissies: koolstofdioxide (CO₂), waterdamp (H₂O), stikstofoxiden (NO_x), zwaveloxiden (SO_x), koolmonoxide (CO), onverbrande koolwaterstoffen (HC), fijnstof en ultrafijnstof (PM en UFP) en roetdeeltjes. Tot slot worden voornamelijk rondom luchthavens ook vluchtige organische stoffen (VOC, Volatile Organic Compounds) in de atmosfeer losgelaten door het vervluchten van chemicaliën tijdens tanken en de-icing.

2.2.1 Luchtkwaliteit en de effecten van emissies op de gezondheid

De lokale luchtkwaliteit is afhankelijk van de concentraties van stoffen in de atmosfeer op leefniveau¹ die de gezondheid en het milieu negatief kunnen beïnvloeden. Naast vliegactiviteiten zijn deze stoffen ook afkomstig van grondgebonden activiteiten, zoals voertuigen op het platform. Luchtkwaliteit wordt uitgedrukt in relatie tot de grenswaarden (maximum toegestane waarden) die wet- en regelgeving aan deze concentraties stelt. NO₂, fijnstof (PM₁₀, PM_{2,5}), ozon en ultrafijnstof zijn van belang voor de (lokale) luchtkwaliteit (Dusseldorp, 2015).

NO₂, PM₁₀, PM_{2,5} en ultrafijnstof

Er zijn tal van stoffen die van invloed kunnen zijn op de luchtkwaliteit. In Nederland worden in de praktijk echter alleen de concentraties van stikstofdioxide (NO₂) en fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}) meegenomen voor de luchtkwaliteit. PM₁₀ bestaat uit deeltjes met een typische diameter kleiner dan 10 micrometer, PM_{2,5} uit deeltjes met een diameter kleiner dan 2,5 micrometer. Daarnaast wordt ook ultrafijnstof (UFP) onderscheiden. Ultrafijnstof is het bestanddeel van fijnstof (PM_{0,1}) met de allerkleinste afmeting: kleiner dan 0,1 micrometer.

De effecten van fijnstof op de gezondheid van mensen is onder andere door de Gezondheidsraad onderzocht. Langdurige blootstelling aan fijnstof kan de volgende effecten hebben (Gezondheidsraad, 2018) (Janssen et al, 2011):

- sterfte of kortere levensduur; en/of
- hart- en vaatziekten, vaatvernauwing, verhoogde hartslag en bloedstolling; en/of
- longkanker, COPD, verminderde longfunctie, astmatische klachten of verergering daarvan, toename van luchtwegklachten zoals hoesten, kortademigheid en piepen.

Momenteel voert het RIVM in samenwerking met TNO op Schiphol een grootschalig en meerjarig onderzoek uit naar de gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan (ultra)fijnstof rondom de luchthaven. De resultaten daarvan worden in 2021 verwacht. Hoewel dit onderzoek een ander luchthaven betreft waarbij het aantal vliegbewegingen, de vliegroutes en de ligging van woonkernen afwijken van die van Maastricht, is de verwachting dat dit onderzoek ook meer inzicht geeft in de gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan (ultra)fijnstof rondom andere luchthavens.

2.2.2 Effecten van emissies op het klimaat

Vliegtuigmotoren en grondvoertuigen stoten voornamelijk waterdamp (H₂O) en kooldioxide (CO₂) uit. H₂O en CO₂ zijn niet relevant voor de luchtkwaliteit, maar zijn wel broeikasgassen; ze dragen bij aan de klimaatverandering.

¹ 1,5 meter boven de grond

Het gas kooldioxide (CO₂) is het belangrijkste langlevende broeikasgas in de atmosfeer van de aarde, en daarmee de belangrijkste oorzaak van de klimaatopwarming. Kooldioxide vangt zonlicht in en zet dat om in warmte. Dit effect is onafhankelijk van de hoogte in de atmosfeer. Sinds de industriële revolutie is de concentratie van dit gas snel toegenomen, en neemt dit nog steeds sneller toe. De voornaamste oorzaak is de mens: het gebruik van fossiele brandstoffen en ontbossing. Kooldioxide veroorzaakt ook verzuring van de oceaan omdat het oplost in water om koolzuur te vormen. Door de opwarming daalt ook het CO₂-absorptie vermogen van de oceanen, wat het CO₂ gehalte in de atmosfeer hoger doet zijn.

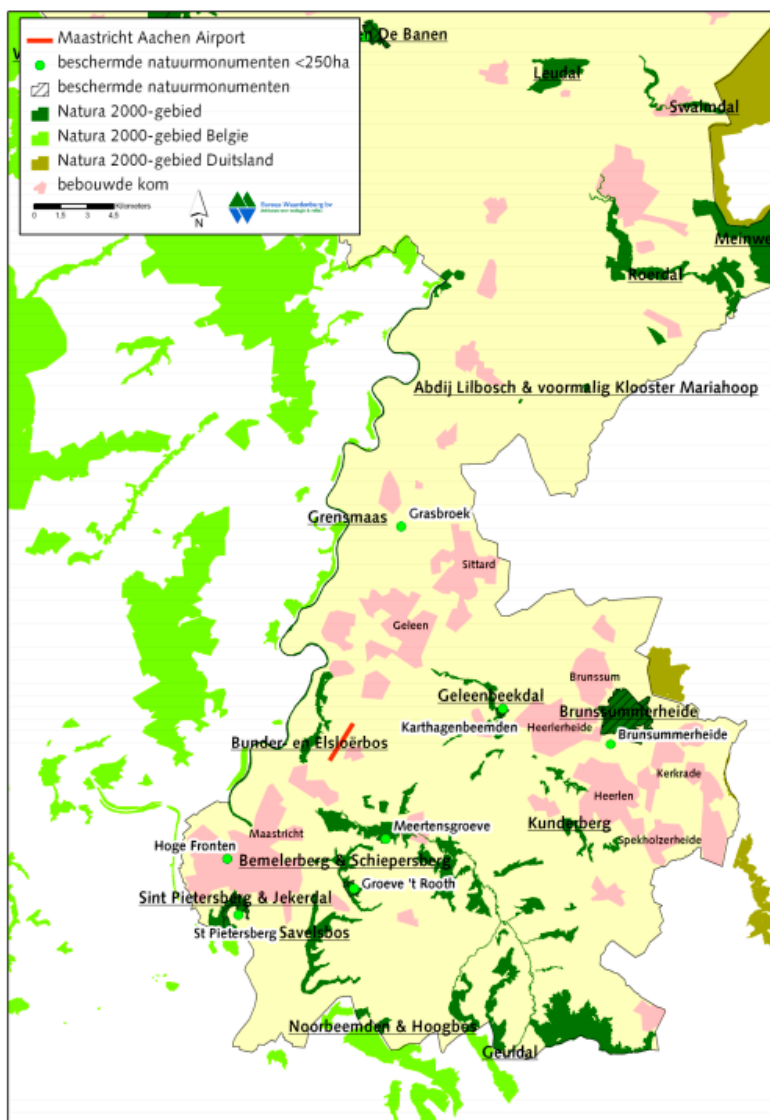
Waterdamp is, net als CO₂, een broeikasgas. In tegenstelling tot CO₂, heeft water verschillende verschijningsvormen (en bijbehorende klimaateffecten): als gas, als vloeistof en als vaste vorm (ijskristallen). Lokale condities in de atmosfeer bepalen de verschijningsvorm en die kunnen (nog) niet goed worden voorspeld. Afhankelijk van de temperatuur, concentratie en de aanwezigheid van condensatiekernen kan waterdamp wel of geen wolkenvorming veroorzaken met additionele klimaatimpact. Op grote hoogte spelen NO_x, PM₁₀ en PM_{2,5} een rol bij het triggeren van waterdampcondensatie tot wolkenvorming. PM₁₀ en PM_{2,5} zijn fijnstoffen waarvan de moleculen respectievelijk een diameter hebben van minder dan 10 micrometer en 2.5 micrometer. Wolken fungeren overdag als een zonnescherm dat koelt, en 's-nachts als een deken die afkoeling verhindert.

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). Het sneller verdwijnen van waterdamp uit de atmosfeer resulteert in een lagere concentratie en daarmee een kleinere klimaatimpact. Een dergelijke lagere impact vergt operationele en technologische aanpassingen aan de luchtverkeersleiding en ook aan de vliegtuigontwerpen waarbij geoptimaliseerd moet worden voor deze lagere vlieghoogtes.

2.2.3 Effecten van emissies op de natuur

De gassen en deeltjes die vliegtuigen uitstoten hebben naast hun effect op het klimaat ook effect op bos- en natuurgebieden. Zo is de depositie van onder andere stikstofoxiden (NO_x) schadelijk voor de natuur wanneer deze waarde boven het kritische depositieniveau komt. Het kritische depositieniveau geeft aan boven welk niveau veranderingen in vegetatie plaats zullen vinden. Plantensoorten kunnen hierdoor verdwijnen, waardoor de soortenrijkdom achteruit gaat. Het vrijkomen van deze deeltjes wordt niet alleen veroorzaakt door luchtvaart; ook onder andere de landbouw, het wegverkeer en energiecentrales zorgen voor de uitstoot van NO_x met depositie als gevolg (Leefomgeving, 2010). Dit vermindert de kwaliteit en biodiversiteit van bos- en natuurgebieden (Bal, Beijer, van Dobben, & van Hinsberg, 2007).

In Nederland zijn er 166 zogeheten Natura 2000 gebieden. Dit zijn beschermde natuurgebieden waarin bepaalde diersoorten en hun leefomgeving beschermd worden om de biodiversiteit te behouden. Rondom Maastricht Aachen Airport liggen meerdere Natura 2000 gebieden waar de luchtvaart bijdraagt aan stikstofdepositie (zie Figuur 8).

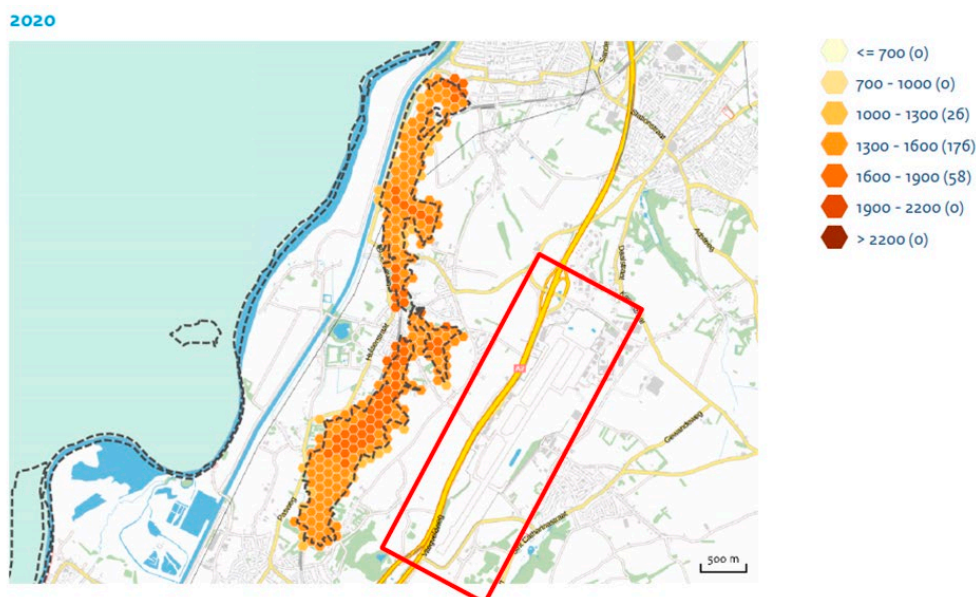


Figuur 8: Woonkernen en Natura 2000 gebieden rondom Maastricht Aachen Airport (Lensink & Heunks, 2011)

Wanneer veranderingen in vergunde activiteiten worden doorgevoerd dient een milieueffectrapportage (MER) opgesteld te worden. Hierbij wordt onderzocht welk effect de nieuw voorgenoemde situatie heeft op het milieu, waaronder op de stikstofdepositie in de Natura 2000 gebieden. Hiervoor worden NO_x-emissies die uitgestoten worden in een afgebakend gebied rondom de luchthaven tot aan 3.000 ft meegerekend. Op deze manier wordt nagegaan of er een toename is in NO_x-emissies door de voorgenoemde situatie en of deze nog binnen de toegestane depositiemarges vallen.

Omdat het doel van dit rapport niet is om een MER op te stellen, worden niet alle Natura 2000 gebieden getoetst. In het vervolg van dit rapport wordt specifiek ingegaan op het Natura 2000 gebied Bunder- en Elsloërbos. Doordat dit gebied het dichtst bij de luchthaven ligt, is de verwachting dat dit gebied het meeste effect zal ondervinden van veranderingen in vergunde activiteiten. Dit neemt niet weg dat bijvoorbeeld in Natura 2000 gebied Bemelerberg en Schiepersberg ook sprake is van stikstofdepositie van stikstofemissies van vliegverkeer onder de 3000 ft.

In Figuur 9 is Natura 2000 gebied Bunder- en Elsloërbos aangegeven met bijbehorende de NO_x depositiewaarden die berekend zijn voor het jaar 2020, van alle bijdragende bronnen.



Figuur 9: Natura 2000 gebied Bunder- en Elsloërbos te zien met bijbehorende de NOx depositiewaarden (PAS-bureau, 2017)

Deze waarden (rechts in de figuur) zijn gegeven in mol/ha/jaar en de waarden tussen de haakjes duiden het totaal aantal hectares aan voor die depositiewaarden. Twee kilometer ten oosten van dit Natura 2000 gebied is Maastricht Aachen Airport met rood omlijnd. Voor de voorgenomen activiteit in 2024 (het “LHB-scenario MAA-2024”) is bijvoorbeeld berekend dat de maximale toename in het Natura2000 gebied Bunder- en Elsloërbos 0,34mol/ha/jaar is, waarmee de toegestane hoeveelheid stikstofdepositie door deze voorgenomen activiteit niet overschreden wordt.

Naast de effecten van stikstof kan (ultra)fijnstof de gezondheid van dieren en planten aantasten. Op de dagelijkse tot jaarlijkse tijdschaal zorgt vliegtuiggeluid voor een verstoring van dieren in het wild. Dit kan effect hebben op zang van vogels (Gil, Honarmand, Pascual, Perez-Mena, & Macias Garcia, 2015), broedpatronen van insecten en vogels (New South Wales, 2003), bloeddruk van kleine zoogdieren (Chesser, Caldwell, & Harvey, 1975) en botsingen met vogels (Allan, 2000) en herten (Biondi, Belant, Martin, DeVault, & Wang, 2011). Ook kan SO_x (met NO_x) zorgen voor zure regen. De gevolgen van klimaatverandering kunnen vergaande gevolgen hebben voor de huidige staat van het ecosysteem. Naar alle verwachtingen zal de opwarming van het Noordelijk halfrond een vermindering in biodiversiteit teweeg brengen in bos- en natuurgebieden (NASA, 2011).

2.2.4 Geurhinder

Zoals hiervoor aangegeven stoot een vliegtuigmotor en andere brandstofmotor-aangedreven voertuigen kleine hoeveelheden zogenaamde vluchtige organische stoffen uit. Dit zijn restproducten van (onverbrande) kerosine. Deze kunnen leiden tot geurhinder op en nabij de luchthaven. Voor geur gelden provinciale grenswaarden. De Provincie Limburg heeft echter geen expliciet lokaal geurbeleid (Kenniscentrum InfoMil, n.d.).

2.3 Veiligheid

De introductie van hinderbeperkende maatregelen op de luchthaven Maastricht Aachen Airport mag niet ten koste gaan van de veiligheid van de vliegoperatie. De vliegveiligheid wordt gewaarborgd door een scala aan beheersmaatregelen. Zo is bijvoorbeeld de vliegtuigfabrikant verantwoordelijk voor het in stand houden van het luchtwaardigheidscertificaat van een vliegtuig, moet een luchtvaartmaatschappij zorgen voor een gedegen onderhoud van de toestellen en training van bemanning, en moet de luchthaven de zorgen dat de infrastructuur aan de geldende eisen voldoet. De impact van veranderingen in de operatie op de vliegveiligheid worden altijd grondig bestudeerd. Mitigerende maatregelen worden genomen wanneer dit tot een onacceptabele verhoging van het risico leidt.

De mogelijke impact op de vliegveiligheid van de operatie wordt van elk van de onderzochte hinderbeperkende maatregelen geanalyseerd. De in deze studie uitgevoerde analyse beperkt zich tot operationele vliegveiligheid. Externe veiligheid is hieraan gekoppeld maar wordt verder niet expliciet behandeld². Als uitgangspunt wordt aangenomen dat de huidige operatie voldoende veilig is. Er wordt alleen gekeken naar de relatieve verandering van de vliegveiligheid door de introductie van een hinderbeperkende maatregel. Deze verandering wordt grotendeels kwalitatief beschouwd op basis van beschikbare studies, expertkennis en data. Een kwantitatieve analyse vereist veel meer tijd en ligt daarom buiten de scope van de deze studie. Wanneer bepaalde maatregelen echt gaan worden ingevoerd zijn meer gedetailleerde vliegveiligheidsanalyses benodigd.

2.4 Huidige situatie MAA

Maastricht Aachen Airport bestaat 75 jaar en is een van de vijf Nederlandse luchthavens van nationale betekenis³. In 2019 vlogen ruim 400.000 passagiers via MAA van of naar hun bestemming. Luchtvaartmaatschappij Corendon is een belangrijke speler in het vervoeren van passagiers van en naar MAA. Naast het vervoeren van passagiers richt MAA zich ook op het faciliteren van cargovluchten. Hiervoor zijn twee cargoterminals ingericht. De vracht wordt voornamelijk ingevlogen door full-freighters. Bellyvracht en luchtvracht van integrators vallen buiten het bereik van MAA ten gevolge van de relatief korte baan en de ban op nachtvluchten. In 2019 waren er 16.512 vliegbewegingen, waarvan bijna 6.000 met vliegtuigen die zwaarder zijn dan 6.000 kilo (grote luchtvaart). Dit betekent dat in 2019 ongeveer 36% van het verkeer zwaarder was dan 6.000kg (en dus 64% lichter dan 6.000 kg). Door deze vliegtuigen werden ruim 445.000 passagiers vervoerd en ruim 111.000 ton vracht (Maastricht Aachen Airport, n.d.). Nadere informatie over het gebruik van de luchthaven en ontwikkelingen door de jaren heen kunnen bijvoorbeeld gevonden worden in (Maastricht Aachen Airport, 2020).

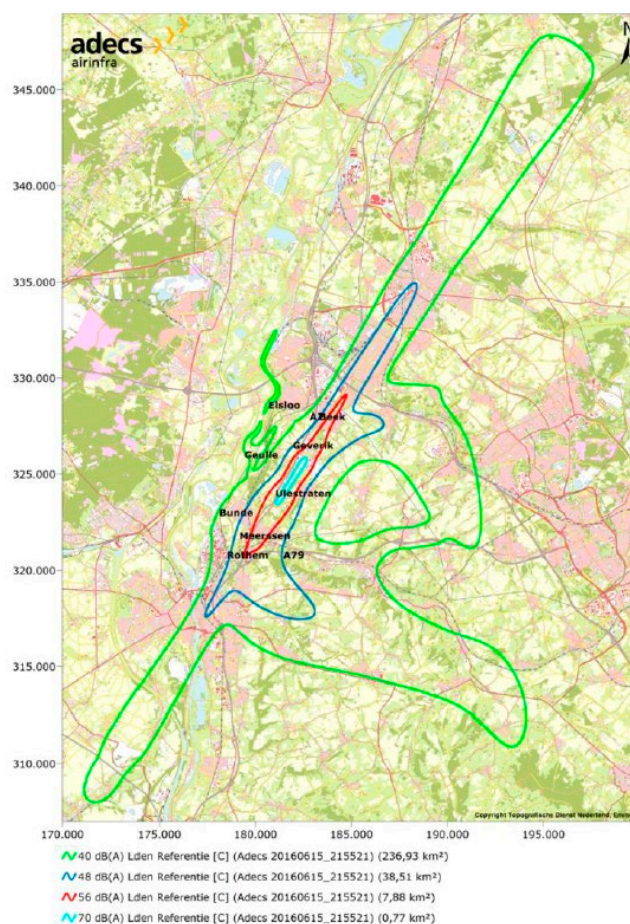
²De externe veiligheid rond luchthavens beschrijft het risico voor omwonenden om te overlijden door betrokkenheid bij een ongeval met een vliegtuig. Externe veiligheid wordt m.b.v. wettelijk vastgelegde modellen berekend. Deze modellen bestaan o.a. uit een vaste kans op een bepaald ongeval gecombineerd met een ongevalslocatie kans. Resultaten van deze berekeningen voor Maastricht Airport zijn door de rijksoverheid gepubliceerd. Wanneer er grote wijzigingen zijn in de gevlogen routes kan dit een invloed hebben op de resultaten. De basis ongevalskansen liggen echter wettelijk vast en zijn gebaseerd op statistische gemiddelden van vergelijkbare luchthavens. Deze basis ongevalskansen veranderen niet door lokale maatregelen op en rond de luchthaven zelf.

³De luchthavens van nationale betekenis zijn Schiphol, Groningen Airport Eelde, Lelystad Airport, Maastricht Aachen Airport en Rotterdam The Hague Airport. Voor deze luchthavens stelt de rijksoverheid luchthavenbesluiten vast. In deze besluiten staan regels waaraan de luchthavens, luchtverkeersleiding en de gebruikers zich moeten houden. Bijvoorbeeld de openingstijden van de luchthaven en de grenzen voor geluid (gebruiksruimte).

Bron: <https://www.luchtvaartindetoekomst.nl/luchthavens/regionale+luchthavens/default.aspx#nationale>

2.4.1 Milieugebruiksruimte

Het Aanwijzingsbesluit voor Maastricht is op 27 december 2004 vastgesteld. Op 27 oktober 2011 is een Beslissing op Bezwaar (BOB 2011) genomen met betrekking tot de Aanwijzing 2004. Dit heeft geleid tot het vaststellen van nieuwe Ke-contouren. De BOB 2011 is in 2014 vervangen door een Omzettingsregeling, waarin de in de BOB 2011 vastgestelde milieugebruiksruimte gelijk is gebleven. Wel is de milieugebruiksruimte op een andere manier vastgelegd, namelijk op basis van Lden grenswaarden in plaats van Ke- en Bkl-contouren. De handhavingspunten bevinden zich op 100 meter afstand van de baankoppen en nabij woonkernen. De Ke- en Bkl-contouren worden nog wel gebruikt om de beperkingsgebieden voor bouw van woningen en andere geluidsgevoelige objecten vast te leggen. Zodra het nieuwe luchthavenbesluit wordt vastgesteld, is het de bedoeling dat het beperkingengebied op basis van een Lden (56 dB(A))-contour wordt vastgelegd. Hetzelfde geldt voor de plaatsgebonden-risicocontouren (PR-contouren) inclusief de daarbij behorende beperkingsgebieden. Voor nadere informatie over wet- en regelgeving voor MAA, zie (MAA, 2020).



Figuur 10: Lden-contouren voor MAA (bron: Adecs 2014)

Het vliegveld kent de volgende openingstijden: van maandag tot en met zondag is het vliegveld open van 6 – 23 uur voor reguliere vluchten, met een extensie tot 00 uur. Voor circuitvluchten is dat alleen van maandag tot en met vrijdag van 9 – 19 uur met een extensie tot 23 uur.

2.4.2 Gebiedskenmerken MAA in relatie tot geluidbelasting

De luchthaven bevindt zich in Zuid-Limburg. In het gebied rondom de luchthaven liggen verschillende grotere steden zoals Maastricht, Geleen, Heerlen en Sittard. Daarnaast liggen er verschillende andere steden en dorpen verspreid over het gebied, wat wil zeggen dat deze gebieden grotendeels dunner bevolkt zijn, maar dat ook daar sprake is van bewoners die kunnen worden blootgesteld aan vliegtuiggeluid. Daarnaast bevinden zich een aantal stiltegebieden en Natura 2000 gebieden in de regio en is er sprake van toerisme in de regio. In deze regio is niet alleen vliegverkeer hoorbaar van verkeer dat van en naar MAA vliegt, maar ook van vliegverkeer van en naar het vliegveld van Luik en vliegbasis Geilenkirchen.

In tegenstelling tot de omgeving van andere Nederlandse vliegvelden is de omgeving van MAA niet vlak. Hierdoor treden hoogteverschillen op in de omgeving van het vliegveld hetgeen een effect kan hebben op de hoeveelheid geluid die op de grond hoorbaar is. Bij geluidberekeningen met het wettelijk voorgeschreven Nederlands rekenmodel wordt aangenomen dat de omgeving van een vliegveld zich op dezelfde hoogte bevindt als de luchthaven zelf.

Als de omgeving in de praktijk lager ligt dan de luchthaven (zoals bijvoorbeeld relatief dichtbij de luchthaven in Meerssen en Beek het geval is) is de afstand tussen het vliegtuig en de grond in de praktijk groter dan in de berekening, hetgeen tot een overschatting van de geluidniveaus leidt. Als de omgeving juist hoger ligt dan de luchthaven (zoals bijvoorbeeld op grotere afstand van de luchthaven nabij Margraten en Vaals), resulteert dit in een onderschatting van de geluidniveaus. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de grootte van dit effect niet afhangt van het absolute verschil in hoogte tussen omgeving en vliegveld, maar tussen de relatieve toename of afname van de directe afstand tot het vliegtuig. Dit wil zeggen dat het effect in Meerssen (dat ongeveer 50 meter lager ligt dan de luchthaven) groter is dan in Vaals (dat ongeveer 100 meter hoger ligt dan de luchthaven). Dit komt doordat de vlieghoogte nabij Vaals veel groter is, waardoor een iets groter hoogteverschil tot slechts een relatief klein verschil in de totale afstand tussen het vliegtuig en de grond leidt. In de in dit rapport genoemde getallenvoorbeelden, en indicaties voor de effecten van hinderbeperkende maatregelen, zijn geen hoogteverschillen meegenomen. Hier dient rekening mee gehouden te worden bij de interpretatie van de resultaten.

2.4.3 Geluidhinderonderzoek

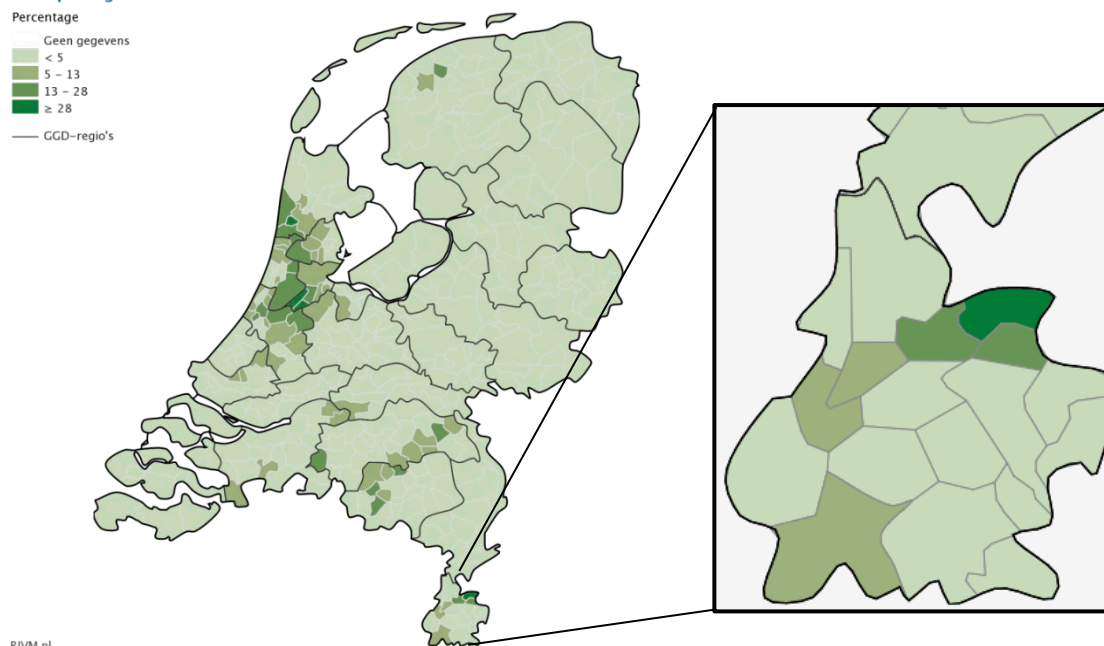
De GGD'en doen om de vier jaar onderzoek naar onder andere ervaren geluidhinder van verschillende bronnen in de leefomgeving. In 2016 heeft het RIVM die geluidhinderdata gebundeld en op kaart gezet voor heel Nederland (RIVM, 2016). In onderstaande grafische weergave Figuur 11 is per gemeente met een groentint aangegeven welk percentage van de inwoners ernstig gehinderd wordt door vliegverkeer. Hoe donkerder de kleur groen, hoe hoger het percentage ernstig gehinderden in desbetreffende gemeente.

Op de kaart is duidelijk zichtbaar dat de bewoners van het gebied rondom Schiphol Airport ernstig worden gehinderd door het vliegverkeer. Ook in Zuid-Limburg zijn gemeenten waar meer dan 5% van de inwoners ernstige geluidhinder ondervindt van het vliegverkeer. Voor de omgeving van MAA zijn dat de inwoners van de gemeenten Onderbanken (51%), Schinnen (17%), Brunssum (16%), Beek (8%), Meerssen (8%), Eijsden-Margraten (6%) die voornamelijk als ernstig gehinderd door vliegtuiggeluid worden aangemerkt.

Belangrijk om hierbij op te merken is dat het vliegverkeer in Zuid-Limburg niet alleen MAA-verkeer betreft maar ook vliegverkeer van andere luchthavens, zoals vliegbasis Geilenkirchen en de luchthaven van Luik. Het NLR heeft eerder per gemeente tellingen gedaan van het aandeel vluchten van de eerdergenoemde luchthavens, over het jaar 2018. Hieruit blijkt dat voor meer dan de helft van de gemeenten het aandeel MAA-verkeer lager is dan 50% (NLR, 2019). Uiteraard is dit niet 1-op-1 door te vertalen naar de beleefde hinder; de vlieghoogte van al dat verkeer speelt onder andere ook een rol. Het geeft echter wel weer dat Zuid-Limburg te maken heeft met verschillende bronnen van (vlieg)hinder, met cumulatieve effecten als gevolg.

Ernstige geluidhinder vliegverkeer 2016

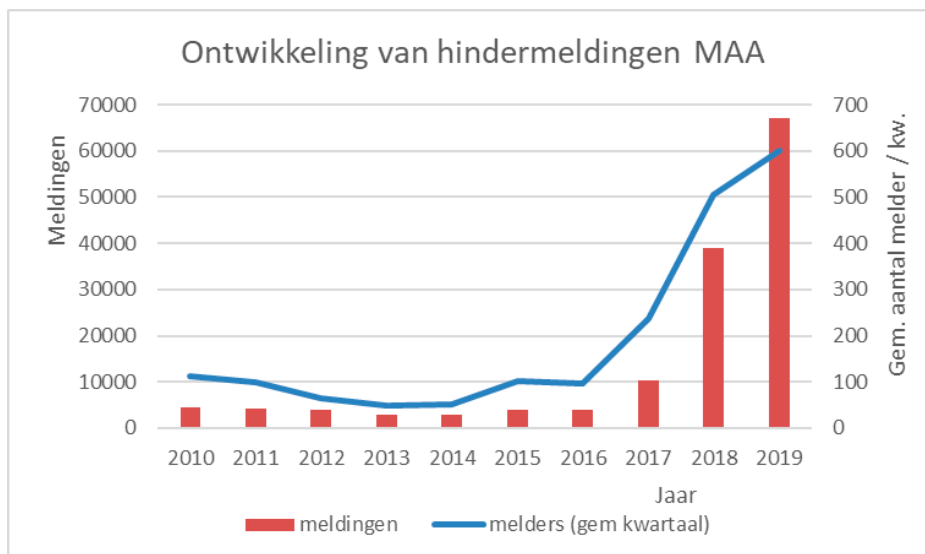
Klik op een gemeente voor meer details



RIVM.nl

Figuur 11: Kaart van Nederland met daarop geprojecteerd de hinder t.g.v. vliegverkeer. Weergave kleurpercentage per gemeente. In kader: hinder in omgeving MAA. (RIVM, 2016)

Omwonenden van MAA kunnen telefonisch hindermeldingen doorgeven aan het Klachten Informatie Centrum Luchtverkeer (KICL). Het KICL verzamelt de ingediende meldingen en maakt kwartaalrapportages (KICL, 2020) waarin bijvoorbeeld aantallen meldingen en melders gerapporteerd worden. In onderstaande figuur is de ontwikkeling voor de afgelopen 10 jaar te zien voor het aantal meldingen per jaar en het gemiddeld aantal melders per kwartaal in dat jaar.



Figuur 12: Ontwikkeling aantal melders en meldingen

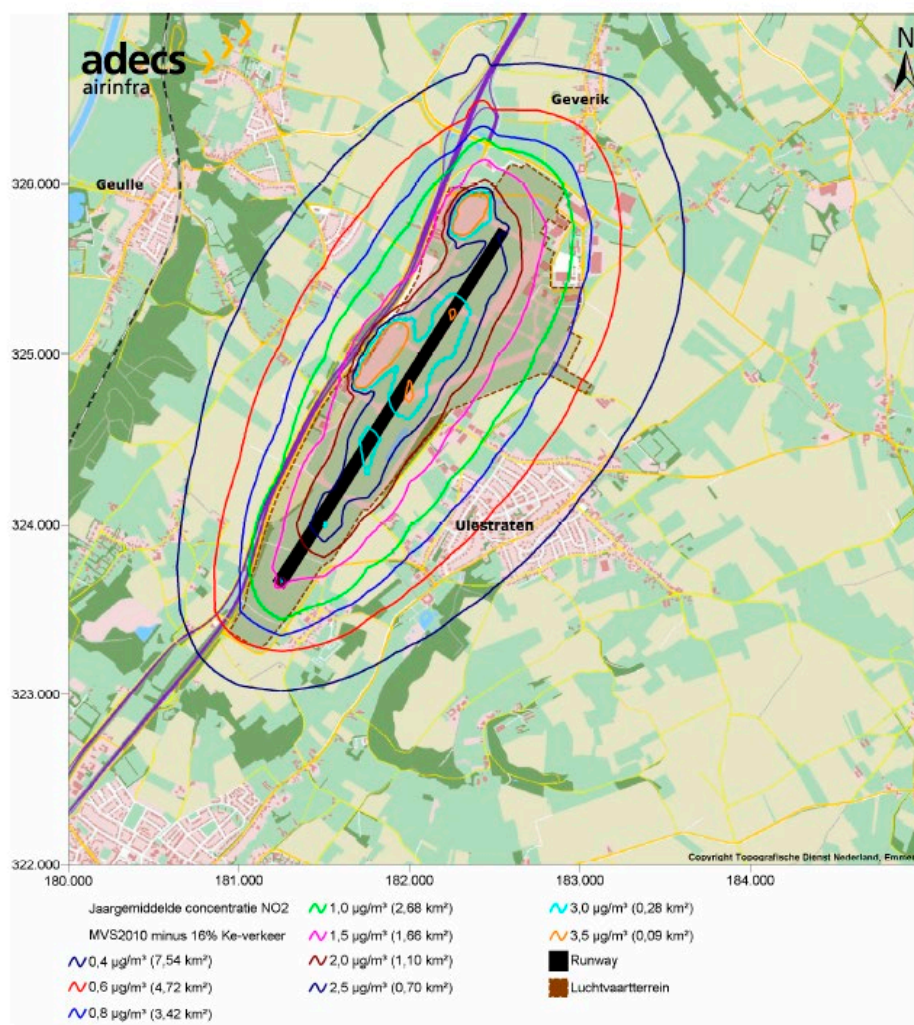
In vergelijking met de jaren ervoor is vanaf 2015 een toename te zien van zowel het aantal meldingen als het aantal melders. Uit de rapportages over de meest recente kwartalen blijkt dat meldingen vooral, maar niet uitsluitend, betrekking hebben op vliegbewegingen met zware toestellen of op vliegbewegingen voor 07:00 uur of na 23:00 uur. In mindere mate zijn er de meldingen over lesvluchten.

2.4.4 Luchtkwaliteit in de omgeving van MAA

De invloed van de luchthaven op de luchtkwaliteit in de omgeving van de luchthaven is in 2011 berekend. Deze berekeningen waren onderdeel van de milieuonderzoeken die zijn uitgevoerd voor de BOB 2011, die later is omgezet in de Omzettingsregeling van 2014. De berekeningen hebben dus als uitgangspunt de op dit moment vergunde situatie. Uit deze berekeningen blijkt de bijdrage van luchtverontreinigende stoffen door MAA gering is.

Bijdrage concentratie NO₂ door MAA

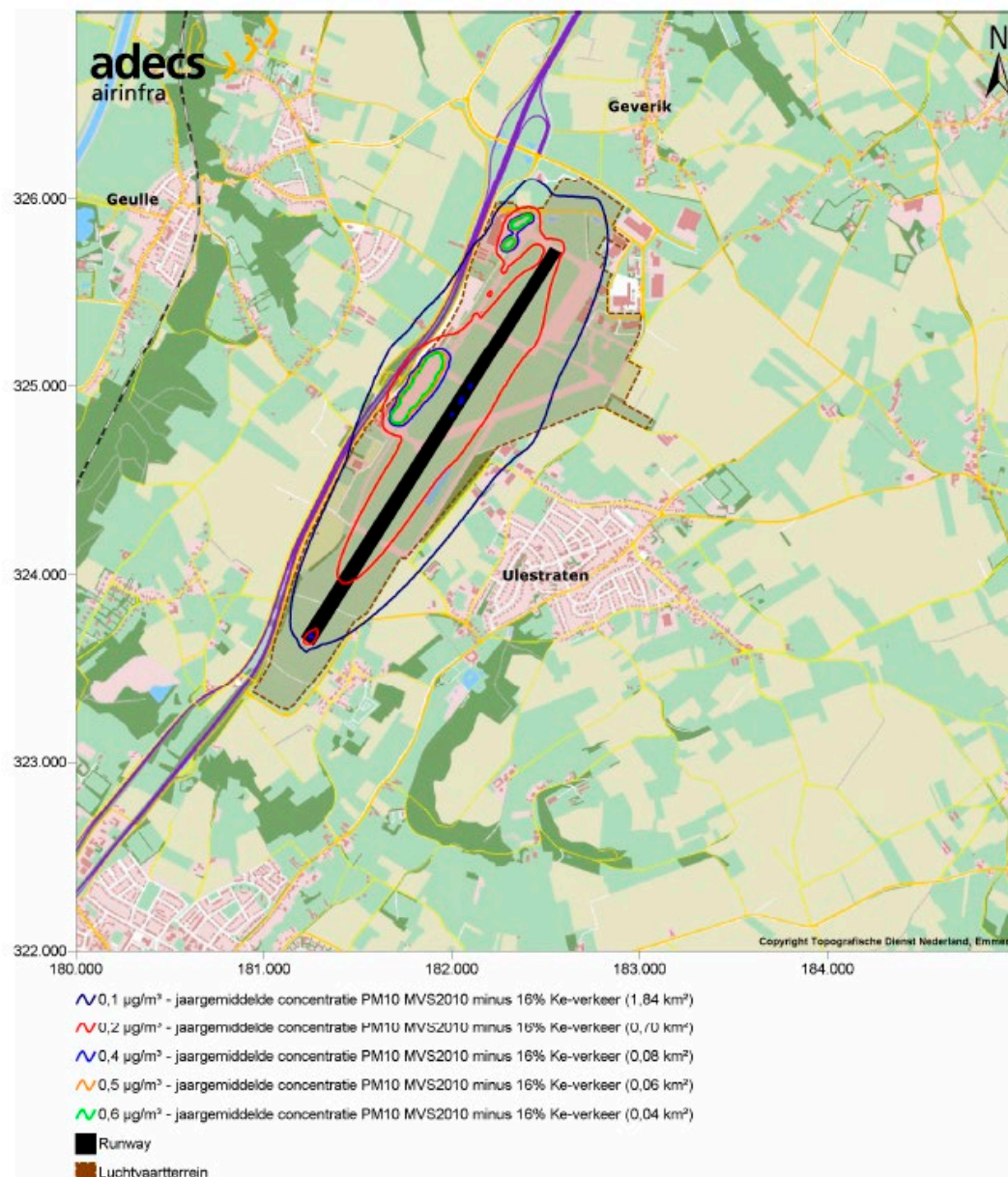
In het onderzoek van (Adec Airinfra, 2011) is de bijdrage van MAA op de NO₂-concentratie berekend. In Figuur 13 zijn hiervan de contouren weergegeven. Het gaat om (afgerond) een zeer beperkte bijdrage van ca. 2 µg/m³ op de grens van het luchtvaarterrein en (minder dan) 1 µg/m³ ter plaatse van de woonkernen.



Figuur 13: NO₂-concentratie contouren van de luchtvaartbijdrage aan de jaargemiddelde concentratie NO₂ (bron: (Adec's Airinfra, 2011))

Bijdrage concentratie PM₁₀ door MAA

In het onderzoek van (Adec's Airinfra, 2011) is de bijdrage van MAA op de PM₁₀-concentratie berekend. In Figuur 14 zijn hiervan de contouren weergegeven. Het gaat om (afgerond) een zeer beperkte bijdrage van ca. 0.1 µg/m³ op de grens van het luchтваartterrein en (minder dan) 1 µg/m³ ter plaatse van de woonkernen.



Figuur 14: PM10-concentratie contouren van de luchtvaartbijdrage aan de jaargemiddelde concentratie PM10 (bron: (Adecs Airinfra, 2011))

Bijdrage concentratie NO₂ en PM₁₀ door zowel MAA als andere bronnen

In (Cauberg-Huygen, 2011) worden ook de concentratie NO₂ en PM₁₀ uitgerekend van verschillende bronnen (zoals luchtvaartverkeer, wegverkeer, verkeer op het parkeerterrein van de luchthaven en achtergrondconcentraties) gezamenlijk. Dit wordt gedaan op de wettelijke toetsingspunten die ook tevens hotspots zijn voor luchtverontreinigende stoffen. Uit deze resultaten blijkt dat op de locaties rondom de luchthaven waar (door de bijdragen van *alle* bronnen in de omgeving, dus ook de A2) de hoogste concentraties zijn te verwachten, deze concentraties nog ruim onder de wettelijke grenswaarden (van 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) liggen.

3 Hinderbeperkende maatregelen

De onderwerpen geluid, emissies en veiligheid zijn in het voorgaande hoofdstuk beschreven. In dit hoofdstuk worden de hinderbeperkende maatregelen beschreven die zijn geïnventariseerd aan de hand van de input van omwonenden en op basis van bestaande maatregelen.

De hinderbeperkende maatregelen die zijn geïnventariseerd worden hierna uitgewerkt, waarbij een verdeling gemaakt is in het type maatregel. In de hiernavolgende secties komen de volgende typen maatregelen aan bod:

1. Maatregelen grondgeluid;
2. Operationele maatregelen;
3. Maatregelen in de omgeving;
4. Overige maatregelen.

De maatregelen zijn elk op dezelfde wijze beschreven. Allereerst wordt de maatregel algemeen beschreven. Daarna worden per onderwerp (geluid, emissies en veiligheid) de effecten beschreven. Vervolgens wordt kort ingegaan op de mogelijke implementatietermijn, de kosten en de sturingsaspecten van de maatregelen. Op deze wijze worden onderzoeksvragen 1 t/m 3, 7 en 8 beantwoord. In een aantal gevallen wordt geadviseerd om de precieze invulling van maatregelen af te stemmen met omwonenden. In al deze gevallen kan dit ook breder geïnterpreteerd worden, namelijk dat overlegd kan worden met omwonenden én met andere belanghebbenden.

3.1 Maatregelen grondgeluid

Grondgeluid is het geluid veroorzaakt door onder andere grondgebonden activiteiten. Voornamelijk de bewoners in de buurt van de luchthaven ondervinden hiervan hinder. Dit grondgeluid kent echter vaak een laagfrequente component die ervoor zorgt dat het geluid ook hinderlijk kan zijn voor omwonenden die verder van de luchthaven wonen. Om de hinder van grondgeluid te verminderen, is een aantal maatregelen geïdentificeerd.

De volgende hinderbeperkende maatregelen worden in deze paragraaf behandeld:

- Gereduceerd gebruik straalomkeerders;
- Aanpassingen lay-out baan t.b.v. taxiën;
- Waterinjectie bij proefdraaien;
- Elektrisch taxiën;
- Taxiën met minder motoren;
- Gereduceerd APU- en GPU-gebruik.

3.1.1 Gereduceerd gebruik straalomkeerders

Vliegtuigen kunnen na de landing tot stilstand komen door gebruik te maken van wielremmen, remkleppen en/of straalomkeerders. Straalomkeerders keren de uitlaatstraal van de motoren om, zodat de stuwkracht naar voren wordt gericht, ook wel “reverse thrust” genaamd. Straalomkeerders kunnen worden gebruikt om af te remmen zodra het toestel bij de landing de grond raakt. De stuwkracht varieert van “idle reverse”, waarbij de motoren op een minimaal

toerental draaien en geen extra geluid produceren, tot “max reverse”, waarbij de motoren een hoog (maar niet maximaal) vermogen geven met een toename van de geluidproductie tot gevolg.

Het gebruik van meer dan “idle thrust” zorgt ervoor dat de remmen minder belast worden en/of dat de remweg korter is. Dit laatste is van belang bij lagere wrijvingsweerstand van de landingsbaan (bijvoorbeeld bij regen of sneeuw). Ook kan zo bij een landing vanuit het noorden gebruik worden gemaakt van een eerder draaipunt waar het vliegtuig kan omkeren om terug te taxiën. Hierdoor hoeft minder ver terug getaxied te worden naar het platform en wordt overlast door taxiënde vliegtuigen verminderd.

Het gebruik van straalomkeerders leidt tot hogere geluidniveaus net na de landing; dit leidt voor omwonenden, ook rond Maastricht Aachen Airport, tot extra hinder. Op meerdere luchthavens, zoals Schiphol, Heathrow, Frankfurt en Zürich, zijn daarom via het Aeronautical Information Publication (AIP) richtlijnen uitgegeven om het gebruik van straalomkeerders te verminderen. Vaak is dit gekoppeld aan de nachtperiode en altijd is het onder de beperking dat dit veilig kan gebeuren. Voor MAA zijn in het AIP geen aanbevelingen opgenomen.

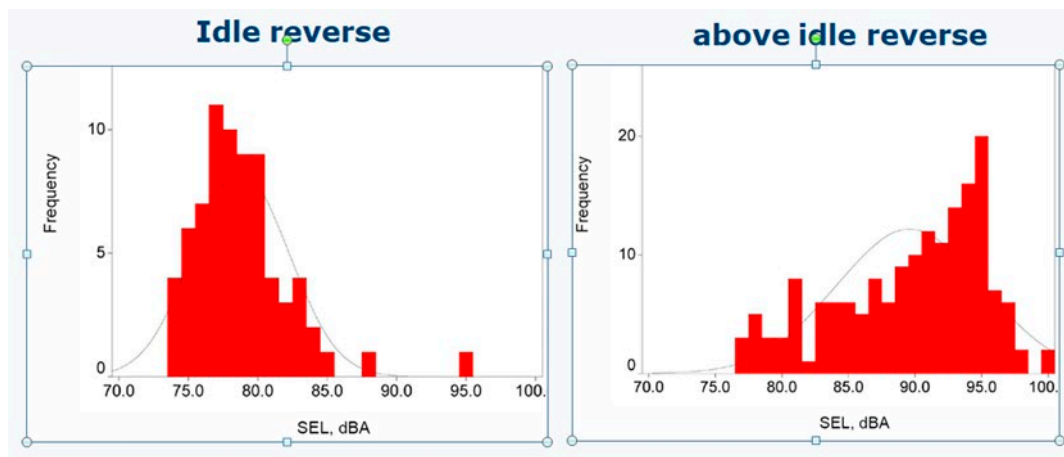
De uiteindelijke beslissing ligt bij de gezagvoerder aangezien die de enige is die de afweging mag maken. Een Boeing 737-800 kan, wanneer de omstandigheden dat toestaan, zonder straalomkeerders landen op MAA. De zware vliegtuigen zoals Boeing 747-400 en Boeing 777-200 zullen, in verband met de beschikbare baanlengte, meestal de straalomkeerders gebruiken.

3.1.1.1 Effect op geluid

Door meer gebruik te maken van de wielremmen en “idle reverse” in plaats van “max reverse” wordt minder straalmotorgeluid geproduceerd. Doordat het geluid van gelande vliegtuigen verder weg van het vliegveld niet meer hoorbaar is, zal deze maatregel vooral dicht bij het vliegveld tot mogelijke hinderbeperking leiden. Voor omwonenden dicht bij de luchthaven (bijvoorbeeld Schietecoven en Ulestraten) neemt de geluidbelasting daardoor af in de ordegrootte van 10-15 dB(A).

De afname is onder andere gebaseerd op geluidmetingen die zijn uitgevoerd op Heathrow en Stansted voor een Boeing 737-800 landing. Hier werd een verschil gemeten van grofweg 10 dB(A) tussen situaties met en zonder gebruik van straalomkeerders (Civil Aviation Authority, 2010). Deze metingen zijn aan de rand van het luchthaventerrein uitgevoerd, op 200 meter van de landingsbaan. Nabij MAA liggen de dichtstbijzijnde gebouwen in Schietecoven binnen vergelijkbare afstand van de baan.

De geluidreductie voor andere typen vliegtuigen die op MAA vliegen (waaronder de Boeing 777-200 en Boeing 747-400) is naar schatting van dezelfde ordegrootte. Dat is gebaseerd op de waardes die zijn opgenomen in de appendices. De geluidtabellen van de appendices laten op korte afstand van het vliegveld verschillen tussen de 10 en ruim 15 dB(A) zien voor idle en maximale stuwkracht voor bijvoorbeeld de Boeing 777-200 en Boeing 747-400. Weliswaar geven vliegtuigen niet de maximale hoeveelheid stuwkracht bij max. reverse, maar aan de andere kant kan het gebruik van de reverser ook weer tot extra geluid leiden. Daarmee lijkt de toename van 10 dB(A) ook op basis van de appendices een realistische aanname voor andere vliegtuigtypes dan de Boeing 737-800 uit het Engelse onderzoek.



Figuur 15: Geluidmetingen met idle en meer dan idle reversed thrust bij Stansted Airport (Civil Aviation Authority, 2010)

3.1.1.2 Effect op emissies

Gebruik van straalomkeerders bij “idle reverse” leidt, afhankelijk van het type motor, tot iets minder NO_x-uitstoot en ook minder uitstoot van PM₁₀ en PM_{2.5}, vergeleken met “max reverse”. Doordat er bij “idle reverse” meer gebruik wordt gemaakt van de wielremmen ten opzichte van “max reverse”, kan door slijtage aan banden en remmen meer PM₁₀ vrijkomen.

(Eurocontrol, 2005) geeft indicatief aan dat de fijnstof door slijtage van de remmen na de landing heel gering is. Asphalt en banden zullen bij gebruik van de remmen, maar ook tijdens het gebruik van de straalomkering na de landing slijten. De meeste slijtage van de banden vindt plaats gedurende het remmen. De mate van slijtage van de banden wordt bepaald door de geleverde arbeid (voor het remmen) en hangt dus af van de wielslip en de microtextuur van het baanoppervlak. De geleverde arbeid, en daarmee de slijtage, kan gereduceerd worden door het gebruik van straalomkeerders. Gebruik van straalomkeerders bij “idle reverse” zal dus meer slijtage opleveren dan bij “max reverse” omdat er meer gebruik moet worden gemaakt van de remmen bij “idle reverse”.

Tevens wordt er een onderscheid gemaakt in slijtage (en dus de uitstoot van fijnstof) bij remmen met straalomkeerders tussen carbon remmen en stalen remmen. De meeste moderne vliegtuigen beschikken over carbon remmen. De slijtage van carbon remmen wordt bepaald door het aantal keren dat de remmen gebruikt worden en de rem-temperatuur. De mate waarin de remapplicatie gebruikt wordt (dus de arbeid), heeft daar geen invloed op. Hierdoor heeft het gebruik van straalomkeerders dus geen invloed op de slijtage van carbon remmen, dit in tegenstelling tot stalen remmen waar de mate waarin de remapplicatie gebruikt wordt wel van invloed is.

De NO_x-uitstoot zal door het gebruik van straalomkeerders in het algemeen iets toenemen, behalve als door het gebruik van de straalomkeerders een eerdere baan-exit kan worden (evt. na aanpassing van de baan layout – zie 3.1.2) gehaald waardoor de taxi-route naar het platform korter wordt.

Het gebruik van wielremmen vermindert, in vergelijking tot het gebruik van straalomkeerders, zeer beperkt de uitstoot van CO₂ door de vliegtuigmotoren. Het effect op het klimaat zal verwaarloosbaar klein zijn.

3.1.1.3 Effect op veiligheid

Straalomkeerders helpen om het vliegtuig te stoppen. Op een droge baan zijn de remmen van de wielen echter veel effectiever en is de toegevoegde waarde van straalomkeerders om het vliegtuig veilig te kunnen stoppen klein. Idle of maximaal gebruiken maken van de straalomkeerders maakt dan ook niet veel uit op een droge landingsbaan. Natte landingsbanen of die bedekt zijn met sneeuw zijn vaak glad waardoor het afremmen m.b.v. de wielen minder goed gaat dan op een droge baan. Straalomkeerders worden niet beïnvloed door de baanconditie en kunnen daarom beter helpen om het vliegtuig af te remmen tijdens de landing in zulke omstandigheden. Vliegtuigfabrikanten raden daarom altijd aan om de straalomkeerders met maximaal vermogen⁴ te gebruiken en niet in idle stand wanneer de baan glad is. Veel luchtvaartmaatschappijen hebben dit ook als standaardprocedure opgenomen.

Voor elke landing bekijken de vliegers aan de hand van gegevens van de vliegtuigfabrikant en de actuele condities (wind, baancondities, vliegtuiggewicht, etc.) of de beschikbare baanlengte voldoende is om het vliegtuig veilig te kunnen landen. Daarbij neemt de bemanning ook het effect van de straalomkeerders in beschouwing. Op een gladde baan zal het verschil in benodigde landingsafstand tussen idle en maximaal gebruik van straalomkeerders heel groot zijn (in de orde van 40-50% voor een B737NG en een B747-400). Het gebruik van straalomkeerders in de idle stand of helemaal niet op gladde banen verhoogt daarom de kans dat het vliegtuig niet tijdig voor het einde van de baan kan stoppen. Daarom is maximaal gebruik van straalomkeerders nodig om met voldoende marge te kunnen landen.

3.1.1.4 Implementatietermijn

Als eerste kan worden geëvalueerd of het gebruik van wielremmen vaker toegepast kan worden dan in de huidige situatie gebeurt. Dit zou op korte termijn kunnen worden onderzocht. Afhankelijk van de resultaten uit dit onderzoek kan een advies voor het minimaliseren van het gebruik van straalomkeerders in het AIP opgenomen worden. Een dergelijk adviseren kan beperkt worden tot een deel van de dag.

3.1.1.5 Kosten

Het meer gebruik maken van wielremmen leidt tot meer slijtage van remmen en banden, waardoor deze maatregelen tot hogere kosten voor vliegmaatschappijen kan leiden. Aan de andere kant kan het niet gebruiken van thrust reverse met meer dan idle thrust leiden tot een zeer beperkte brandstofbesparing. Tot slot kan het missen van een exit door geen thrust reverse te gebruiken ertoe leiden dat meer brandstof verbruikt wordt en dat het vliegtuig langer in gebruik is waardoor de kosten toenemen. Het opstellen van voorschriften met betrekking tot het gebruik van straalomkering zal beperkte kosten met zich meebrengen.

3.1.1.6 Sturing op inzetbaarheid

Het gebruik van straalomkeerders zal, gelet op veiligheidsaspecten, niet voor alle vliegtuigtypen en onder alle condities op Maastricht Aachen Airport toegepast *kunnen* worden (zoals eerder beschreven speelt dit met name voor grote en zware toestellen en als de baan nat is). Het gebruik er van kan worden *aanbevolen* door dit op te nemen in het AIP.

3.1.2 Aanpassingen lay-out baan t.b.v. taxiën

Geluid en emissies in de nabije omgeving van het vliegveld worden onder andere veroorzaakt door verkeer op taxibanen en op de start- en landingsbaan. Binnen het huidige luchthaventerrein is het verplaatsen van de baan een

⁴ Is lager dan het maximale vermogen wat beschikbaar is tijdens de start.

zeer ingrijpende optie. Daarom valt het verleggen of verlengen van de baan buiten de scope van dit onderzoek. Wel gaat deze paragraaf in op de mogelijkheden om aanpassingen te doen aan de lay-out van de taxibanen.

Op hoofdlijnen zijn in dit kader drie onderwerpen geïdentificeerd:

1. Het verlengen van de huidige taxibaan ten westen van de start- en landingsbaan zodat de taxibaan doorloopt tot het einde van de start- en landingsbaan.
2. Toevoegen keerpunt voor vliegtuigen ten noorden van huidige keerpunten.
3. Toevoegen van infrastructuur voor (toekomstige) voertuigen voor elektrisch taxiën.

Het verlengen van de huidige taxibaan zodat deze aan het zuidelijke baaneinde doorloopt tot het einde van de start- en landingsbaan zorgt ervoor dat toestellen niet meer hoeven te keren op het einde van de baan om vervolgens terug te moeten taxiën over de baan. Dit heeft een aantal voordelen:

- De geluidsoverlast voor woningen dicht bij het zuidelijke uiteinde van de baan neemt af doordat toestellen geen 180° draai meer hoeven te maken. Ook wordt de afstand tussen woningen en de taxiroute vergroot.
- Doordat toestellen geen 180° draai meer hoeven te maken, een actie die extra stuwkracht vraagt, zal sprake zijn van (een zeer beperkte) afname van emissies.
- De capaciteit van de luchthaven gaat omhoog doordat de baan minder lang bezet wordt door taxiënde vliegtuigen. Dit creëert in potentie ruimte voor meer vliegtuigbewegingen. In de praktijk leidt dit echter niet tot meer vliegtuigbewegingen omdat het binnen de bestaande geluidsruimte niet mogelijk is om de fysieke capaciteit van de baan maximaal te gebruiken. Dit komt doordat de bestaande geluidsruimte het aantal bewegingen beperkt.

Eventueel kan deze maatregel gecombineerd worden met het toevoegen van een of meer extra punten waar toestellen de baan kunnen verlaten, zodat ze niet langer dan noodzakelijk op de baan blijven. Dit kan leiden tot een reductie van de geluidbelasting van woningen nabij het zuidelijke uiteinde van de baan (vooral in Schietecoven) en afname van emissies doordat de taxitijden teruggebracht worden voor vliegbewegingen die niet de volledige baanlengte gebruiken.

Hierbij kan eventueel gebruik gemaakt worden van zogeheten rapid-exit taxiway, die zo zijn ontworpen dat vliegtuigen met een relatief hoge snelheid, en dus eerder, de baan al kunnen verlaten. Dit heeft als bijkomend voordeel dat het gebruik van straalomkering (zie paragraaf 3.1.1) kan worden gereduceerd doordat vliegtuigen minder hoeven te remmen alvorens ze de baan verlaten.

De benodigde baanlengte bij een landing hangt af van verschillende aspecten:

- De grootte van het vliegtuig: in het algemeen hebben grotere toestellen meer baanlengte nodig;
- Het vliegtuiggewicht: zwaardere toestellen hebben meer baanlengte nodig;
- De weersomstandigheden: de benodigde baanlengte neemt af naarmate de tegenwind tijdens de landing toeneemt en neemt toe bij een natte baan.

Indien deze maatregel overwogen wordt, is een eerste stap om te onderzoeken in hoeverre de beschikbare ruimte ten westen van de start- en landingsbaan voldoende is om een taxibaan aan te leggen.

Het toevoegen van een extra draaipunt zorgt ervoor dat toestellen die niet de volledige baanlengte nodig hebben eerder kunnen draaien, in plaats van langer over de baan te moeten taxiën tot het eerste draaipunt. Hiermee wordt niet voorkomen dat vliegtuigen een 180° draai moeten maken, maar kan voor een deel van het verkeer wel de taxitijd

gereduceerd worden en kan de draai voor een deel van het verkeer verder van Schietecoven gemaakt worden. De kortere taxitijd op de baan kan tevens leiden tot een hogere capaciteit doordat de baan door een deel van de toestellen die vanuit het noorden landen korter bezet wordt.

Indien in de toekomst elektrisch taxiën wordt ingevoerd waarbij vliegtuigen gesleept worden door elektrische voertuigen dient daarvoor de benodigde infrastructuur aangelegd te worden (zie paragraaf 3.1.4 voor meer informatie met betrekking tot elektrisch taxiën). Dit is bijvoorbeeld nodig om te zorgen dat de sleepvoertuigen niet via de start- en landingsbaan van of naar vliegtuigen hoeven te rijden.

3.1.2.1 Effect op geluid

Het verlengen van de huidige taxibaan ten westen van de start- en landingsbaan zodat de taxibaan doorloopt tot het einde van de start- en landingsbaan (eventueel met het aanleggen van meerdere punten om de baan te verlaten) en het toevoegen van een keerpunt voor vliegtuigen ten noorden van huidige keerpunten zal leiden tot minder geluidhinder in Schietecoven en Ulestraten. Dat wil zeggen dat dit een effect heeft voor een vrij beperkt aantal woningen, waarbij de grootste positieve effecten worden verwacht van het verlengen van de huidige taxibaan.

Het aanleggen van infrastructuur voor (toekomstige) voertuigen voor elektrisch taxiën heeft geen direct effect op geluid (buiten de geluidproductie tijdens de aanleg van de infrastructuur).

3.1.2.2 Effect op emissies

Het aanpassen van de lay-out van de taxibanen zal, zoals eerder aangegeven, een beperkt effect hebben op de emissies van taxiënde toestellen. Een 180° bocht vereist een hogere thrust-setting dan de idle stand die tijdens het taxiën wordt gebruikt, waardoor bij deze bocht de brandstofstroom relatief hoger is. Het wegnemen van de gedwongen 180° bocht zal een relatief groter effect hebben op de NO_x, CO₂, H₂O, PM en UFP uitstoot dan het verkleinen van de totale taxitijd, door het wegblijven van de 180° bocht en hogere brandstofstroom.

De omvang van de afname van de emissies tijdens het taxiën hangt sterk af van de verlenging van de taxibaan, de mogelijke afname van gedwongen 180° bochten, en de mogelijkheden tot efficiënter taxiën. Om dit te kwantificeren moeten nadere berekeningen verricht worden naar het aanpassen van de lay-out van de taxibanen van Maastricht Aachen Airport.

3.1.2.3 Effect op veiligheid

Het verlengen van de huidige taxibaan zodat deze doorloopt tot het einde van de start- en landingsbaan zorgt ervoor dat toestellen niet meer hoeven te keren op het einde van de baan om vervolgens terug te moeten taxiën over de baan. Net als het aanleggen van een extra keerpunt naast de baan reduceert dit de tijd dat de baan bezet is door een geland vliegtuig.

De kans dat een vliegtuig zich onbedoeld in de beschermde zone van de baan bevindt die wordt gebruikt voor starts of landingen van vliegtuigen (zogenoeten runway incursion) wordt door deze maatregelen verminderd. Dit is dus een verbetering van de vliegveiligheid.

Voor mogelijk toekomst elektrisch taxiën zal extra infrastructuur voor aan- en afrijdende elektrische voertuigen de kans op een runway incursion verminderen en de veiligheid verbeteren.

3.1.2.4 Implementatietermijn

Op dit moment is de planning dat in de loop van 2021 onderhoud gaat plaatsvinden aan de start- en landingsbaan van MAA. Indien tijdig een beslissing genomen wordt over eventuele aanpassingen van de lay-out van de taxibanen kan hiermee rekening gehouden worden bij de baanrenovatie. De uiteindelijke aanleg van de taxibaan kan dan op een later tijdstip worden afgerond.

3.1.2.5 Kosten

Met name het verlengen van de huidige taxibaan zal hoge kosten met zich meebrengen, de omvang van deze kosten wordt onderzocht in een separaat traject. Er dient zowel geïnvesteerd te worden in het aanleggen van de taxibaan, maar ook moeten kosten gemaakt worden om alle procedures voor taxiënd verkeer op de luchthaven aan te passen aan de nieuwe situatie. De kosten voor het maken van een extra draaipunt en voor infrastructuur ten behoeve van elektrisch taxiën zullen veel lager zijn dan de kosten voor het uitbreiden van de taxibaan.

3.1.2.6 Sturing op inzetbaarheid

Eventuele belemmeringen kunnen het beste binnen het huidige lopende traject worden geïdentificeerd: indien tijdig een beslissing genomen wordt over eventuele aanpassingen van de lay-out van de taxibanen kan hiermee rekening gehouden worden bij de baanrenovatie. Het dient nog onderzocht te worden in hoeverre er voldoende fysieke ruimte beschikbaar is op MAA om de taxibaan aan te leggen op een dusdanige manier dat hiermee aan alle veiligheidsvoorschriften voldaan wordt.

3.1.3 Waterinjectie bij proefdraaien

3.1.3.1 Huidige stand van zaken proefdraaien op MAA

Maastricht Aachen Airport beschikt over een proefdraaiplaats voor vliegtuigen. Onderhoudsbedrijven gebruiken de proefdraaiplaats om vliegtuigmotoren te testen na onderhoud of reparatie. Een andere locatie op de luchthaven (het C-platform) wordt ook gebruikt voor het proefdraaien. De omgevingsvergunning voor milieu (milieuvergunning) van Maastricht Aachen Airport staat nu alleen het proefdraaien van propellermotoren (turboprops) toe. Er is behoefte om ook het proefdraaien met straalmotoren mogelijk te maken omdat steeds meer straalmotoren in onderhoud worden gegeven bij de onderhoudsbedrijven.

Om het proefdraaien met straalmotoren mogelijk te maken op het C-platform heeft Maastricht Aachen Airport een nieuwe omgevingsvergunning voor milieu nodig. Deze vergunning maakt het mogelijk om op de proefdraaiplaats en op het C-platform proef te draaien met straalmotoren.



Figuur 16: Proefdraaiplaats Maastricht Aachen Airport

De huidige proefdraaiplaats beschikt over een geluidswerende wand. Desondanks kan het proefdraaien van vliegtuigen geluidsoverlast veroorzaken. Daarnaast kunnen de emissies die vrijkomen bij het proefdraaien de luchtkwaliteit lokaal doen verslechteren.

De Provincie Limburg is een traject opgestart voor een Provinciaal Inpassingsplan (PIP) ten aanzien van proefdraaien, waarbij ook het C-platform kan worden ingezet. In dit traject wordt de dialoog aangegaan met de verschillende stakeholders, inclusief omwonenden. Hier wordt ook gekeken naar maatregelen om de hinder te beperken. Maatregelen zoals het niet mogen proefdraaien in de weekeinden, een maximale duur van proefdraaisessies, of het beperken van het proefdraaien tot bepaalde vaste momenten op de dag. Hierdoor wordt het voor de omwonenden duidelijk wat zij kunnen verwachten en wordt de hinder in bijvoorbeeld de weekeinden en vroege/late uren beperkt.

Vanwege dit separate traject zal in dit rapport niet verder worden ingegaan op de verscheidene maatregelen die in dit traject aan de orde komen. Wel zal kort worden ingegaan op het toepassen van een andere (nog experimentele) methode, namelijk waterinjectie bij het proefdraaien.

3.1.3.2 Waterinjectie bij proefdraaien

Door water onder hoge druk in de luchtstroom van de motoruitlaat van een straalmotor te spuiten, kan een geluidsreductie worden behaald tijdens het proefdraaien. Voor militaire vliegtuigen (F-16) is dit succesvol getest door het NLR in samenwerking met de Koninklijke Luchtmacht (NLR, 2010)



Figuur 17: Proefopstelling voor waterinjectie op de jetblast van een F-16 die aan het proefdraaien is (NLR, 2010)

Deze methode zou ook kunnen worden toegepast op het proefdraaien van (civiele) straalvliegtuigen. Hiertoe is nog wel (experimenteel) onderzoek nodig om het toepasbaar te maken voor de veelgebruikte vliegtuigtypen die op MAA worden proefgedraaid.

3.1.3.3 Effect van de maatregel op geluid

Tijdens de proef met de F-16 is voor laagfrequent geluid (de bas-tonen) een geluidsreductie van ca. 10 dB gemeten (NLR, 2010). Voor hoogfrequent geluid is een reductie van 20 tot 30 dB waarschijnlijk haalbaar. De geluidsreductie voor andere typen vliegtuigen is nog onbekend, omdat dit nog niet is onderzocht.

Om slaapverstoring tegen te gaan is vooral het tijdstip van het proefdraaien een belangrijke factor. Indien het (incidenteel) voorkomt dat proefdraaien in de avonduren moet gebeuren, zal er sprake zijn van slaapverstoring. De eerdergenoemde reductie van 10 dB is zeker merkbaar voor het menselijk gehoor. In hoeverre waterinjectie bij proefdraaien de slaapverstoring daadwerkelijk kan doen afnemen, moet worden onderzocht. Daarbij speelt de afstand van de woning tot de luchthaven een grote rol.

3.1.3.4 Effect op emissies

Proefdraaien met waterinjectie kan voor afvangen zorgen van (ultra)fijnstof en het verlagen van NO_x volgens (M. Esposito, 2016). Voor de daadwerkelijke (kwantitatieve) effecten voor de situatie van MAA is nader onderzoek nodig.

3.1.3.5 Effect op veiligheid

Als de opstelling niet goed blijft staan, kunnen onderdelen losraken, waardoor er schade kan ontstaan aan het vliegtuig, aan andere apparatuur of mensen zich kunnen verwonden. Het waterinjectiesysteem zal daarom, vanwege de grote krachten die mogelijk op het systeem komen te staan, stevig moeten worden verankerd in de grond en de constructie zal de krachten die er op werken aan moeten kunnen met een ruime belastingmarge.

De waterdamp die ontstaat, kan een invloed hebben op de lokale zichtcondities die sterk gereduceerd kunnen worden. Een eerste inschatting is echter dat het water voor een deel verdampt vanwege de hoge temperaturen van de uitlaatstraal. Een deel zal echter ook als waterdamp in de nabije omgeving worden verspreid en neerslaan. De

opstelling zal voldoende stand tot baan moeten hebben om te zorgen dat de waterdamp niet lokaal op de baan komt en daar voor vermindering van het zicht kan zorgen.

Tijdens dagen met vorst kan de waterdamp neerslaan als ijs of bevroren aan de grond. Dit kan lokaal gladde condities veroorzaken welke een risico kunnen vormen voor taxiënde vliegtuigen (aannemend dat de waterdamp niet neerslaat op de baan zelf).

3.1.3.6 Implementatie op korte en lange termijn

Een proof of concept voor een F-16 is uitgevoerd (NLR, 2010). De techniek toepassen op een ander type vliegtuig vergt nader (experimenteel) onderzoek naar de technische implementatie. Ook milieueisen met betrekking tot verzuring van het grondwater moet worden getoetst.

Bij voldoende financiering kan een onderzoekstraject direct worden gestart. De geschatte duur hiervan wordt ingeschat op drie tot twaalf maanden. Daarna zal het systeem moeten worden doorontwikkeld om operationeel in te kunnen zetten, wat wil zeggen dat het vervolgens nog zeker een jaar vergt om tot een operationeel systeem te komen.

3.1.3.7 Kosten

Geschatte kosten voor een pilot met waterinjectie op MAA, worden geschat op ongeveer €300.000. Om een pilot verder door te ontwikkelen naar een operationeel inzetbaar systeem zullen grotere investeringen moeten worden gedaan. Hierover zijn nog geen kosten bekend.

3.1.3.8 Sturing op inzetbaarheid

De Provincie Limburg is reeds een traject gestart (PIP Proefdraaien). Hierin worden verschillende maatregelen beoordeeld op hun haalbaarheid. Een van de belemmeringen van waterinjectie is de operationele haalbaarheid en de ontwikkelingskosten tot een operationeel inzetbaar systeem.

3.1.4 Elektrisch taxiën

Vliegtuigen taxiën van en naar de startbaan met behulp van de (hoofd-)motoren. Hoewel de motoren hiervoor maar een laag vermogen nodig hebben, blijft het een relatief inefficiënte manier van verplaatsing die tegelijkertijd ook geluid produceert. Om brandstof en geluid te besparen wordt soms op minder motoren getaxied, maar dit is niet voor alle types mogelijk. Er zijn dan ook een aantal technologieën in ontwikkeling die een meer elektrische taxi-operatie mogelijk maken, zodat de hoofdmotoren pas vlakbij de startbaan gestart hoeven worden. Dit bespaart brandstof en daarmee emissies. Ook is elektrisch taxiën stiller en valt er mogelijk tijdswinst te behalen in het omkeerproces.

Grofweg zijn er twee manieren van elektrisch taxiën te onderscheiden:

1. Door middel van een (hybride)-elektrische push-back tractor waarmee het vliegtuig wordt gesleept. Bijvoorbeeld "TaxiBot".
2. Door middel van een elektromotor in het neuswiel van het vliegtuig waarmee het vliegtuig kan taxiën. Bijvoorbeeld "WheelTug".

Momenteel is alleen TaxiBot direct beschikbaar. Het tweede concept, WheelTug, bevindt zich in de laatste fase van het certificatieproces. Airbus en Safran werkten in het verleden ook aan een soortgelijk concept, maar zijn daarmee gestopt.

TaxiBot

De TaxiBot is een diesel hybride-elektrische push-back tractor die het vliegtuig niet alleen omdraait, maar ook tot aan de startbaan kan slepen⁵. Het bijzondere aan de TaxiBot is dat de piloot de vliegtuig-TaxiBot-combinatie tijdens het slepen bestuurt vanuit de cockpit. Vlakbij de startbaan wordt de TaxiBot ontkoppeld en kan de vliegtuigmotor gestart worden. De TaxiBot rijdt zonder vliegtuig terug voor een volgende sleepbeweging. In principe kan de TaxiBot ook landende vliegtuigen van de baan naar de opstelplaats slepen, maar daar wordt om operationele redenen voorlopig van afgezien; het aankoppelen van de TaxiBot zou tot gevaarlijke opstoppen bij de landingsbaan kunnen leiden. De TaxiBot is op Frankfurt operationeel getest bij enkele Lufthansa vliegtuigen. Ook loopt er momenteel een piloot op Schiphol waarbij de TaxiBot wordt getest. De TaxiBot is gecertificeerd voor het slepen van narrow-body vliegtuigen (Airbus A320-familie en Boeing 737), een wide-body variant is in ontwikkeling.



Figuur 18: TaxiBot wordt momenteel operationeel getest op Schiphol. (Bron afbeelding: Schiphol)

WheelTug

WheelTug heeft een systeem ontwikkeld waarbij het neuswiel wordt voorzien van een elektromotor. Deze motor wordt door de vliegtuig- Auxiliary Power Unit (APU) van stroom voorzien. De piloot kan het systeem vanuit de cockpit bedienen met een aparte joystick. Het WheelTug-systeem maakt het mogelijk om zonder tussenkomst van een pushback tractor te manoeuvreren op het platform. Door de lage snelheid is het systeem minder geschikt voor lange taxibewegingen en ook is het systeem niet gecertificeerd voor baankruisingen. Deze bewegingen worden zoals gebruikelijk gedaan met behulp van de hoofdmotoren. Het systeem kan zowel bij aankomende als vertrekkende bewegingen worden gebruikt. WheelTug wordt gecertificeerd voor B737NG vliegtuigen. Voor grotere vliegtuigen die lange afstanden vliegen is dit systeem minder aantrekkelijk; het extra gewicht kost meer brandstof dan dat het oplevert aan winst tijdens het taxiën.

⁵ Dit wordt operationeel slepen of operationeel taxiën genoemd



*Figuur 19: WheelTug, een systeem met elektromotor dat in het neuswiel is geïntegreerd.
(Bron afbeelding: deingenieur.nl)*

Operationele beperkingen

NLR heeft recent een impact assessment uitgevoerd naar elektrisch taxiën op een middelgrote Europese luchthaven. Deze resultaten zijn nog niet gepubliceerd. De belangrijkste, algemene bevindingen worden hieronder genoemd. Hierbij wordt ook een koppeling gemaakt met de situatie op MAA.

Beide concepten kennen significante operationele en bedrijfstechnische beperkingen. Zo is de technologie voorlopig alleen voor narrow-body vliegtuigen beschikbaar wat de toepasbaarheid op de vloot op MAA beperkt. Het gebruik van de technologie wordt verder beperkt door de noodzakelijke opwarm- en afkoeltijden van de vliegtuigmotoren (variërend van twee tot vijf minuten). Tijdens het opwarmen en afkoelen moeten de vliegtuigmotoren blijven draaien en biedt elektrisch taxiën geen voordelen. Ook kan het langer duren voordat een motorstoring opgemerkt wordt doordat de motoren later gestart worden. De te behalen brandstofbesparing en milieuwinst hangen uiteindelijk sterk af van de vloot, luchthavenconfiguratie en baangebruik.

De concepten zelf hebben ook de nodige technische voor- en nadelen. TaxiBot voor- en nadelen:

- De TaxiBot vereist geen aanpassingen aan het vliegtuig en is toepasbaar op alle types binnen een bepaalde gewichtscategorie. De TaxiBot is geschikt voor vliegtuigen van de Airbus A320-familie en de Boeing 737; samen verantwoordelijk voor 36% van het verkeer op MAA in 2019⁶.
- Doordat de maximumsnelheid vergelijkbaar is met een normale operatie kan het systeem op de hele (uitgaande) taxibeweging inclusief baankruisingen worden toegepast. Wel zorgt het concept voor extra verkeer op de luchthaven doordat de TaxiBot na het slepen terug moet. Op luchthavens met een relatief laag aantal vliegbewegingen zoals MAA is dit minder relevant dan op drukke vliegvelden zoals Schiphol. De extra bewegingen zorgen ook voor een grotere vraag naar bestuurders van de sleepvoertuigen.
- Het concept is een financiële kans voor grondafhandelaren, maar vereist wel een significante investering die ze lang niet altijd zullen kunnen maken.
- Ten slotte vormt het afkoppelen van de TaxiBot nabij de startbaan een logistieke uitdaging.

⁶ FANOMOS data export

WheelTug voor- en nadelen:

- De WheelTug wordt in het vliegtuig ingebouwd en maakt een push-back tractor overbodig. Het concept wordt momenteel gecertificeerd voor de Boeing 737. In 2019 maakte dit type 33% uit van de bewegingen op MAA.
- Dit scheelt tijd en vereist minder bestuurders van de sleepvoertuigen. Ook introduceert het concept geen extra bewegingen op de luchthaven.
- Het systeem voegt gewicht toe aan het vliegtuig, wat slechts ten dele wordt gecompenseerd door minder benodigde brandstof. Ook is door de beperkte snelheid het toepassingsgebied van het systeem beperkt en is het systeem door de beperkte druk op het neuswiel minder geschikt voor hellingen of gladheid.
- WheelTug wordt aangeboden aan luchtvaartmaatschappijen via een *pay-per-use* constructie zonder vereiste investering vooraf. Verschillende maatschappijen hebben interesse getoond in het concept.

Ondanks bovenstaande beperkingen kunnen beide concepten leiden tot geluidsreductie en een significante besparing in de CO₂ en NO_x die op de luchthaven wordt uitgestoten. Doordat de vliegtuigmotoren niet meer op het platform zelf gestart hoeven te worden, worden medewerkers van de luchthaven daarbij minder blootgesteld aan geluid en (ultra)fijnstof wat de arbeidsomstandigheden verbetert. Ten slotte is de kans op motorschade door *foreign object debris* om dezelfde reden lager.

3.1.4.1 Toepasbaarheid op MAA

Omdat inzet van de TaxiBot op de start- en landingsbaan volgens de luchthaven niet is toegestaan, is het noodzakelijk om aanpassingen aan de infrastructuur door te voeren (zie 3.1.2).

Op MAA is de gemiddelde taxitijd ongeveer zes minuten bij vertrek en negen minuten na landing, volgens (Eurocontrol, 2020). Gebruiksrichtlijnen van de motoren vereisen dat de motoren bij vertrek drie tot vijf minuten warmdraaien en bij aankomst twee minuten afkoelen. Gedurende deze periode heeft elektrische taxiën geen voordeel aangezien het taxivermogen nagenoeg gelijk is aan het stationair vermogen van de hoofdmotoren. Om te voorkomen dat toestellen na het taxiën niet moeten wachten tot de motoren warm zijn, valt aan te bevelen dat de motoren al tijdens het taxiën gestart worden zodat het toestel direct kan vertrekken zodra het bij het begin van de startbaan arriveert. In Tabel 2 wordt het aantal minuten dat e-taxi zou kunnen worden ingezet op MAA weergegeven voor aankomst en vertrek.

Tabel 2: Aantal minuten dat e-taxi kan worden ingezet op basis van gemiddelde taxitijden op MAA

	Aantal minuten bij aankomst	Aantal minuten bij vertrek
<i>Motoren aan</i>	2 minuten	3 tot 5 minuten
<i>Inzet e-taxi</i>	7 minuten	1 tot 3 minuten

Ondanks de marginale winst spelen ook nationale duurzaamheidsagenda's een rol. Zo is in de luchtvaartnota vastgelegd dat grondgebonden activiteiten op regionale luchthavens in 2030 emissieloos moeten zijn. Elektrisch taxiën moet dan de standaardprocedure zijn.

3.1.4.2 Effect op geluid

TaxiBot

In geval van de TaxiBot zal het geluidsniveau tijdens de taxi-out-fase dalen. Voor omwonenden dichtbij het luchthaventerrein zal dit mogelijk tot een verbetering leiden, afhankelijk van de locatie; een deel van de taxifase zullen

de motoren nog steeds gebruikt moeten worden. Het geluid van het vliegtuig bij landing of vertrek (*take-off*) blijft vergelijkbaar.

Een studie uit 2016 (Baumann & Katja, 2016) heeft het geluid van een Boeing 737-500 gemeten tijdens een sleepbeweging met een TaxiBot. De meting vond plaats over een afstand van 100 meter, met een minimumafstand van 22,5 meter tussen vliegtuig en microfoon. Het gemiddelde geluidsniveau van deze sleepbeweging was 80,8 dB (LA_{eq}), het piekniveau was 86,3 dB (LA_{max}). Beide waardes waren significant lager dan het gemeten referentiescenario waarbij het taxiën werd uitgevoerd zonder sleepvoertuig, op de hoofdmotoren: 94,0 dB (LA_{eq}) en 102,9 dB (LA_{max}). Grofweg kan worden gesteld dat de geluidreductie zo'n 10-20 dB(A) is wanneer TaxiBot wordt toegepast.

WheelTug

De WheelTug is helaas niet getest in hetzelfde onderzoek, wel is de TaxiBot los gemeten (zonder vliegtuig). Door deze waardes van de meting met gesleept vliegtuig door TaxiBot af te trekken kan het geluidsniveau van een sleepbeweging met een WheelTug-systeem geschat worden. Deze waardes komen uit op 80,6 dB (LA_{eq}) en 86,2 dB (LA_{max}). Let wel, hierbij wordt geen rekening gehouden met het feit dat de APU, die de WheelTug aandrijft, harder moet werken en daarbij meer geluid zal maken dan wanneer deze enkel de elektrische systemen en klimaatbeheersing aandrijft.

Doordat de vliegtuigmotoren niet meer op het platform zelf gestart hoeven te worden medewerkers van de luchthaven en omwonenden minder blootgesteld aan geluid (en emissies).

Het dichtstbijzijnde dorpje Schietecoven ligt op ruim 100 meter van de baan van MAA, grofweg vergelijkbaar met de afstand van de uitgevoerde metingen. Omdat uiteindelijk de hoofdmotoren zullen moeten worden gestart, inclusief de benodigde warming-up tijd, is de verwachting dat voor de bewoners van bijvoorbeeld Schietecoven het effect van e-taxi minder groot is, wanneer wordt gestart vanaf de zuidelijke baankop. In dat geval heeft vooral Ulestraten profijt van deze technologie. Wanneer wordt gestart vanaf de noordelijke baankop, zal de benodigde warming-up tijd waarschijnlijk grotendeels de benodigde taxitijd beslaan, waardoor het effect voor geluidbelasting nihil is. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat het toepassen van e-taxi voor de situatie van MAA weinig geluidwinst zal opleveren.

3.1.4.3 Effect op emissies

Bij elektrisch taxiën worden de hoofdmotoren korter ingezet. Dit zorgt voor een CO₂-, H₂O-, en NO_x-besparing op de luchthaven. De besparing wordt echter beperkt door operationele beperkingen en doordat er een hybride-elektrische sleeptractor ingezet wordt (TaxiBot) of de APU een elektromotor aandrijft (WheelTug).

In de eerdergenoemde impact assessment uitgevoerd door NLR is met inachtneming van de operationele beperkingen de CO₂- en NO_x-besparing berekend in vergelijking tot een conventionele taxi-out-beweging. De besparing werd tussen de 20% en 30% geschat, waarbij de TaxiBot iets beter leek te presteren. Let wel, dit geldt enkel voor vertrekkende vliegtuigen in de *medium* gewichtscategorie. In vergelijking tot MAA was de gemiddelde taxi-out tijd langer en de baancomplexiteit hoger waardoor de besparing vermoedelijk lager uitvalt op MAA.

In 3.1.4.1 is tevens genoemd dat elektrisch taxiën geen voordeel heeft tijdens het warmdraaien en afkoelen van de motoren, dus in deze periodes zal er geen winst geboekt kunnen worden door elektrisch taxiën. Doordat deze periodes wegvallen op de al vrij korte taxitijd voor de taxi-out, zal de emissiebesparing door elektrisch taxiën op MAA relatief klein zijn.

3.1.4.4 Effect op veiligheid

Systemen die vastzitten aan het vliegtuig zoals de WheelTug worden gecertificeerd als een extensie op het normale type certificaat van het vliegtuig. Dat betekent dat het systeem aan allerlei strenge veiligheidseisen moet voldoen alvorens het gebruikt mag gaan worden. Er zullen dan ook operationele procedures worden ontwikkeld voor het gebruik van het systeem. Dit waarborgt de veiligheid. Systemen zoals de WheelTug worden nog niet operationeel gebruikt. Er is daarom nog maar weinig ervaring met mogelijke problemen die tot veiligheidsrisico's kunnen leiden voor het vliegtuig. De maximale taxisnelheden die met een WheelTug systeem gehaald kunnen worden, liggen een stuk lager dan wat het vliegtuig normaal kan halen. In het geval dat het vliegtuig snel van de baan af moet, zal de hoofdmotor gebruikt moeten worden. Het snel moeten kruisen van de baan is op Maastricht Airport geen issue aangezien dat daar niet mogelijk is.

Systemen zoals de TaxiBot zijn niet geïntegreerd met het vliegtuig. Echter het systeem werkt zo dat de vlieger met de standaard besturingssystemen van het vliegtuig (bijvoorbeeld de tiller) het systeem bedient. Het remmen bijvoorbeeld vindt plaats door het activeren van het normale remsysteem van het vliegtuig maar het feitelijke remmen doet de TaxiBot. De TaxiBot stuurt, trekt en remt het vliegtuig alleen maar onder input van de vliegers.

Systemen als de TaxiBot mogen alleen worden gebruikt wanneer de vliegtuigfabrikant en de gecertificeerde autoriteit van het vliegtuigtype dit hebben goedgekeurd. Hierbij is het belangrijk dat het systeem geen (ongemerkte) schade aan het neuswiel systeem kan aanbrengen. Er komt op dit moment steeds meer operationele kennis beschikbaar in het gebruik van dit systeem uit testprojecten op onder andere Frankfurt en Schiphol. Een punt van zorg is wel, dat wanneer het systeem niet werkt terwijl het vliegtuig een baan aan het oversteken is, het mogelijk kan resulteren in een runway incursion. Echter baankruisingen komen niet voor op Maastricht Airport.

Een TaxiBot kan net als elk ander voertuig gebruik maken van de runway om zich te verplaatsen. Het is niet nodig om een taxibaan te hebben. Operaties van voertuigen op de runway kunnen wel het runway incursion risico verhogen. Op MAA is het uitgangspunt de TaxiBot niet op de runway toe te laten.

De TaxiBot wordt vooralsnog alleen voor de taxi-out gebruikt. Nadat het vliegtuig de startbaan heeft bereikt wordt de TaxiBot losgekoppeld van het vliegtuig en teruggedreven door een bestuurder. Aan boord van de TaxiBot bevindt zich in het huidige ontwerp nog steeds een bestuurder die als backup dient en ook het voertuig weer terugrijdt. Er zijn plannen om dat geheel autonoom te laten gebeuren zonder bestuurder. Dit introduceert echter nieuwe risico's die met de huidige technologie nog niet afdoende gemitigeerd kunnen worden.

De TaxiBot introduceert extra bewegingen van voertuigen op en of rond de runway. Dit kan het risico van botsingen op de grond en runway incursions doen toenemen. Dit hangt mede af van de drukte op de luchthaven.

Naast effecten tijdens het taxiën heeft eTaxi ook effecten op het platform. Doordat de vliegtuigmotoren niet meer op het platform zelf hoeven te worden gestart is de kans op motorschade door *foreign object debris* om dezelfde reden lager.

3.1.4.5 Implementatietermijn

De TaxiBot is in 2017 door EASA en de FAA gecertificeerd voor de B737 en de A320 en is operationeel op onder andere Frankfurt. Voor WheelTug is de verwachting dat binnen één à twee jaar, mits certificering succesvol wordt doorlopen, deze technologie kan worden toegepast op B737NG vliegtuigen (NLR, 2018). Implementatie is dus in principe op korte

termijn mogelijk, maar mede afhankelijk van de bereidheid van luchtvaartmaatschappijen om hun bestaande vloot te voorzien van de WheelTug.

Wanneer wordt gekozen voor TaxiBot, hangt het ook af van wanneer de grondaanhandelaars deze aanschaffen. Indien aanhandelaars hiertoe niet in staat zijn dan zou de luchthaven een rol kunnen spelen door deze als gedeelde faciliteit (*equipment pooling*) aan te bieden. Momenteel is een variant om grote toestellen (zoals de Boeing 747) mee te slepen ontwikkeld. Het is echter niet bekend op welke termijn deze versie eventueel beschikbaar komt voor operationeel gebruik.

3.1.4.6 Kosten

De fabrikanten van deze technologieën bieden in verband met concurrentiegevoeligheid weinig openheid over de kosten om hun systeem aan te schaffen. Hospodka (2014) heeft een kosten-baten analyse gemaakt van verschillende eTaxi-systemen, dit geeft enig inzicht in de financiële aspecten. Deze kosten en baten zijn niet gelijk verdeeld: de brandstofbesparing komt ten goede van de luchtvaartmaatschappijen, terwijl de investering veelal bij de afhandelaar of luchthaven ligt. De milieuwinst komt wel ten goede aan de luchthaven en het personeel van de afhandelaars.

Om gebruik te maken van WheelTug hoeven maatschappijen geen investering vooraf te maken, het systeem wordt met een *pay-per-use* constructie aangeboden door de fabrikant (Dubois, 2011; Basu, 2019). De precieze voorwaarden hiervan zijn niet publiek bekend.

Een TaxiBot is naar schatting drie keer zo duur als een conventionele sleeptractor (Hospodka, 2014). Deze kosten moeten worden gemaakt door de afhandelaar of, in geval van equipment pooling, de luchthaven. Equipment pooling heeft echter ook nadelen voor afhandelaars aangezien zij zich minder kunnen onderscheiden.

3.1.4.7 Sturing op inzetbaarheid

Op basis van de hierboven beschreven effecten zijn de winsten die kunnen worden behaald relatief klein. Een uitgebreidere impactstudie zou hier meer over kunnen zeggen. Hoewel de geluid- en emissiewinst relatief klein is, kan het zo zijn dat vanuit nationale programma's (zoals de luchtvaartnota) van MAA wordt gevraagd, of dat MAA zelf beslist, om toch elektrisch taxiën toe te gaan passen op de luchthaven.

Het stimuleren van de toepassing van deze systemen kan in de vorm van realistische quota, waarbij reductie van grondgebonden kerosineverbruik wordt opgelegd. Ook kan de luchthaven gebruikmaken van tariefdifferentiatie, waarbij vliegtuigen die uitgerust zijn met e-taxi systemen een lager tarief betalen dan vliegtuigen die op de motoren taxiën. Daarnaast kan de aanschaf van e-taxi systemen zoals TaxiBot door de overheid worden gesubsidieerd of mogelijk worden gemaakt in de vorm van een duurzaamheidslening, die wordt afbetaald door middel van bespaarde kosten (NLR, 2018).

3.1.5 Taxiën met minder motoren

In plaats van op twee motoren te taxiën kan een tweemotorig vliegtuig ook taxiën op slechts één motor. Dit wordt ook wel single-engine-taxi genoemd (SET). Ook vliegtuigen met meer dan twee motoren kunnen bij het taxiën gebruik maken van minder motoren.

SET brengt een aantal voordelen met zich mee: de remmen worden gespaard, er is minder onderhoud nodig voor de motoren, het levert geluidsreductie op en tot slot brandstofbesparing (Hoyas, 2016). Wel blijft het voor de start en na de landing nodig om beide motoren gedurende drie tot vijf minuten te gebruiken voor start-up en cooling-down. In de praktijk wordt SETO, het single engine taxiën vóór de start, nauwelijks toegepast om veiligheidsredenen.

Wat betreft deze techniek, zijn er echter wel een aantal aandachtspunten, zoals de extra stuwkracht die is benodigd om te taxiën op één motor in plaats van op twee of meer. Hierbij wordt een asymmetrische kracht uitgeoefend op het vliegtuig, met een mogelijk risico dat het vliegtuig in onbalans raakt. Om deze reden staan sommige luchtvaartmaatschappijen deze techniek niet toe onder bepaalde operationele condities zoals slecht zicht en harde wind (NLR, 2017).

3.1.5.1 Effect op geluid

Taxiën op één motor kan tot een geluidreductie van maximaal 3 dB(A) leiden waardoor een geringe verbetering mogelijk is voor omwonenden dichtbij het luchthaventerrein (zoals Schietecoven en Ulestraten). In de praktijk zal de reductie mogelijk lager zijn doordat de motor die wel in gebruik blijft meer vermogen moet leveren. Daarnaast zal de geluidreductie groter zijn aan de zijde van het vliegtuig waar de motor wordt uitgeschakeld. Bij toestellen met vier motoren kan ervoor gekozen worden om 2 motoren uit te schakelen.

Daarbij moeten wel de volgende kanttekeningen worden geplaatst: motoren dienen warm te draaien voordat de start en af te koelen na de landing. Hierdoor kan dus niet gedurende de volledige taxitijd een geluidreductie worden behaald. Het geluid tijdens de taxi-fase wordt daarom slechts voor een deel weggenomen.

3.1.5.2 Effect op emissies

Bij SET is de thrust-setting voor de werkende motor(en) groter dan de thrust-setting voor elk van de motoren apart in geval dat alle motoren werken. Desalniettemin is het totale brandstofverbruik (CO₂) en de NO_x emissies kleiner bij SET. Door na de landing te taxiën op één motor kan in de taxifase een CO₂-reductie van 20 – 40% en een NO_x-reductie 10 – 30% worden behaald ten opzichte van het taxiën op twee motoren (NLR, 2017) (Hoyas, 2016). Doordat het totale brandstofverbruik bij SET kleiner is, is de verwachting dat de uitgestoten UFP ook lager is.

Doordat de taxitijden op Maastricht Aachen Airport relatief kort zijn (zes minuten voor vertrek en negen minuten na landing), is de emissiereductie ten opzichte van een totale vlucht beperkt en is het effect op klimaat miniem.

3.1.5.3 Effect op veiligheid

Taxi-in

Het gebruik van een motor minder tijdens het taxiën na de landing is veilig mits de operationele condities zich daarvoor lenen. Als bijvoorbeeld de taxibaan glad is, er steile hellingen zijn op de taxibaan/platform, er veel wind is, of het vliegtuig vrij zwaar is, wordt vliegers geadviseerd om op alle beschikbare motoren te taxiën i.v.m. de bestuurbaarheid van het vliegtuig. De taxibanen op Maastricht Airport hebben geen extreem steile hellingen en vormen daarom geen probleem. De andere condities zoals wind en een gladde ondergrond kunnen wel een beperking opleggen aan het gebruik van een motor minder tijdens het taxiën.

Wanneer er met een motor minder wordt getaxied kunnen bepaalde back-up systemen niet werken. Dit vermindert de systeemredundantie. Dit levert risico's wanneer dit de remmen of neusbesturing van het vliegtuig betreft. Dit kan worden gemitigeerd door goed rekening te houden met de Minimum Equipment List (MEL) items die hieraan gerelateerd zijn.

Het hogere vermogen op een enkele motor verhoogt de kans op Foreign Object Damage. Dit is echter meer een probleem tijdens de taxi-out dan tijdens de taxi-in omdat het vliegtuig veel lichter is na de landing dan vóór de start waardoor er minder vermogen op een motor staat.

Voor sommige vliegtuigtypes is het niet voorgeschreven om de APU aan te hebben tijdens het taxiën op een motor minder. Er is dan een risico dat het elektrische systeem overbelast kan raken. Dit kan resulteren in schade aan bepaalde systemen en uitval van cabine functies zoals de verlichting. De cockpit zal normaal wel nog functioneren, gebruikmakend van de batterijen.

Taxi-out

Net als bij taxi-in moeten de operationele condities goed zijn om met een motor minder te rijden tijdens de taxi-out. Toch raden vliegtuigfabrikanten het meestal af om tijdens de taxi-out op een motor minder te taxiën. Hoewel operators dit wel kunnen doen zijn er enkele extra risico's aan deze operatie verbonden.

Tijdens de taxi-out is het vliegtuig normaal altijd veel zwaarder dan tijdens de landing. De stuwkracht die benodigd is om het vliegtuig te laten bewegen is dan ook hoger dan tijdens de taxi-in. Wanneer er met een motor minder wordt getaxied, moet de werkende motor nu extra veel stuwkracht ontwikkelen. Dit veroorzaakt een sterkere *jetblast* dan normaal en levert daarom extra gevaar op voor grondpersoneel, voertuigen en constructies in de nabijheid van het vliegtuig.

Het hogere vermogen op een enkele motor verhoogt ook de kans op Foreign Object Damage. Dit kan schade toebrengen aan de werkende motor. Deze kans wordt hoger wanneer het verharde gedeelte van de taxibanen vrij nauw is. Dit laatste is het geval op MAA op sommige delen van de taxibanen.

Wanneer er met een motor minder wordt getaxied kunnen bepaalde back-up systemen niet werken. Dit vermindert de systeemredundantie. Dit levert risico's wanneer dit de remmen of neusbesturing van het vliegtuig betreft en het vliegtuig zwaar is. Dit kan worden gemitigeerd door goed rekening te houden met de Minimum Equipment List (MEL) items die dit betreffen.

De werkbelasting van de vliegers kan verhoogd worden wanneer er met een motor minder wordt getaxied omdat er extra taken moeten worden uitgevoerd (motor opstartprocedure terwijl er wordt getaxied bijvoorbeeld). Dit levert ook meer 'headdown' tijd op wat ook ongewenst is. De extra taken kunnen ook sneller leiden tot fouten van de vliegers. Dit risico is er niet tijdens de taxi-in fase.

Voor sommige vliegtuigtypes is het niet voorgeschreven om de APU aan te hebben tijdens het taxiën op een motor minder. Er is dan een risico dat het elektrische systeem overbelast kan raken. Dit kan resulteren in schade aan bepaalde systemen en uitval van cabine functies zoals de verlichting. De cockpit zal normaal wel nog functioneren gebruikmakend van de batterijen.

3.1.5.4 Implementatietermijn

SET wordt op veel luchthavens toegepast door verschillende luchtvaartmaatschappijen. Zo is het bij London Heathrow Airport een van de ingestelde maatregelen om emissies te reduceren (London Heathrow Airport, 2015). Deze operationele maatregel kan in principe direct worden toegepast, waarbij nog onderscheid kan worden gemaakt tussen 'taxi-in' en 'taxi-out'. Zo wordt bijvoorbeeld op Zürich Airport alleen SET toegepast op inkomende vluchten en niet op uitgaande vluchten (Zürich Airport, 2017). Eurocontrol beschrijft een aantal richtlijnen onder welke voorwaarden SET het best kan worden toegepast (Hoyas, 2016).

3.1.5.5 Kosten

Deze maatregel kan gezien worden als een operationele maatregel, die kan worden meegenomen in operationele verbeteringsprocessen. Voor de luchthaven zal deze maatregel beperkte kosten opleveren die bestaan uit mogelijk advieskosten met betrekking tot de maatregel en implementatiekosten van de maatregel. Voor de luchtvaartmaatschappij kan SET een (geringe) kostenbesparing opleveren ten gevolge van brandstofbesparingen.

3.1.5.6 Sturing op inzetbaarheid

Op basis van de eerder genoemde korte taxitijden zijn de winsten die kunnen worden behaald relatief klein.

Om deze maatregel te implementeren zijn afspraken nodig tussen de luchtvaartmaatschappijen, de luchthaven en de luchtverkeersleiding.

3.1.6 Gereduceerd APU- en GPU-gebruik

Auxiliary Power Unit (APU)

De Auxiliary Power Unit (APU) is een kleine gasturbine die meestal in de staart van het vliegtuig is gemonteerd. De APU wordt gebruikt om de elektrische systemen aan boord van energie te voorzien, om de airconditioning te laten draaien en om de hoofdmotoren van 'bleed air' te voorzien ten behoeve van het opstarten van deze motoren. In het geval dat de hoofdmotoren zijn uitgeschakeld kan de APU ook worden ingezet als voorziening van pneumatische druk voor de pneumatische systemen aan boord van het vliegtuig.

Het geluid dat een APU produceert is typisch en herkenbaar vanwege het hoogfrequente karakter. Door zowel grondpersoneel als direct-omwonenden kan dit als hinderlijk worden ervaren. Daarnaast produceert een APU emissies die nadelig zijn voor de (lokale) luchtkwaliteit en het klimaat.

Om de hinder ten gevolge van APU-gebruik in te perken, worden luchtvaartmaatschappijen gestimuleerd de APU niet langer dan noodzakelijk te gebruiken. Omdat bepaalde vrachtvliegtuigen gekoeld dienen te worden, is een constante aanvoer van elektrische energie gewenst. Hiervoor wordt ook wel een Ground Power Unit (GPU) ingezet.

Ground Power Unit (GPU)

Een ground power unit (GPU) is een dieselaggregaat dat stroom levert aan een vliegtuig als de hoofdmotoren en de APU zijn uitgeschakeld, bijvoorbeeld tijdens het laden en lossen. Ook de GPU produceert geluid en emissies, die als hinderlijk kunnen worden ervaren.

Naast regels over de duur van het APU-gebruik, kan zowel het APU-gebruik als GPU-gebruik nog verder worden gereduceerd door het gebruiken van walstroom en pre-conditioned air (PCA) en (e-)GPU-gebruik.

De installatie van walstroom is gepland voor 2020 (Maastricht Aachen Airport, 2019). Tijdens laden en lossen wordt dan gebruik gemaakt van walstroom. Voor de voorbereidingen van vertrek en na aankomst wordt nog wel gebruik gemaakt van de APU.

3.1.6.1 Effect op geluid

Geluid van de APU en GPU worden geproduceerd op het luchthaventerrein. Dat wil zeggen dat dit geluid met name hinder oplevert voor omwonenden die in de directe omgeving van de luchthaven wonen, waardoor het reduceren van dit geluid hinderreductie kan geven voor een beperkt aantal omwonenden. De hoeveelheid geluid die door omwonenden wordt waargenomen hangt af van de ligging van de woning ten opzichte van de luchthaven, maar bijvoorbeeld ook van de weersomstandigheden en van het type geluid (geluid met een hoge frequentie is over het algemeen minder goed hoorbaar op grotere afstand van de geluidbron dan laagfrequent geluid).

3.1.6.2 Effect op emissies

Voor operaties op grote Europese velden is onderzocht dat in huidige operaties de totale CO₂-emissies door de APU tot 40% verminderd kunnen worden ten opzichte van ongelimiteerd APU gebruik, waarbij gebruik van walstroom en pre-conditioned air bij aankomst en vertrek gecombineerd worden met APU gebruik (Aviation, 2018). Zo wordt er op MAA gebruik gemaakt van walstroom tijdens het laden en lossen, maar wordt er tijdens de voorbereidingen voor vertrek en na aankomst nog wel gebruik gemaakt van de APU. Bij verdere optimalisatie van APU gebruik kan dit nog verder gereduceerd worden.

Om de reductiepotentie op MAA verder te onderzoeken, moet er een onderscheid gemaakt worden in APU gebruik bij aankomst en bij vertrek van vluchten. Bij vertrek en aankomst is de APU nog nodig voor het opwarmen en afkoelen van de motoren. Per vertrek of landing maken piloten op Maastricht Aachen Airport momenteel ongeveer 15 minuten lang gebruik van de APU.

Na aankomst, tijdens het laden en lossen, is de APU niet meer nodig en kan er volledig gebruik worden gemaakt van walstroom en pre-conditioned air. In dit geval is de emissiereductie voor CO₂, NO_x, HC en PM₁₀ 100%.

Voor vertrekkende vluchten is de berekening van de reductie wat complexer, omdat de APU nog wel benodigd is voor het opstarten van de motoren. Voor het opstarten en opwarmen van de motoren is ongeveer 2 tot 5 minuten nodig. Bij gebruik van de APU gedurende 5 minuten in plaats van 15 minuten, kunnen de APU emissies dus tot een derde gereduceerd worden. In onderstaande tabellen is dit weergegeven voor de GTCP85-129, een representatieve APU voor de Boeing 737-800 die veel op MAA vliegt⁷.

Tabel 3: Fuel flow en emissie indices (EI) voor CO₂, NO_x, CO en HC voor APU type GTCP85-129. De waarden voor de fuel flow en emissie indices voor NO_x, CO en HC zijn genomen uit (Fleuti & Hofmann, 2005). Voor de emissie index voor CO₂ is een gemiddelde waarde genomen uit (Zhang, Huang, Liu, & Li, 2019)

APU type	Fuel Flow (kg/h)	CO ₂ (g/kg)	NO _x (g/kg)	CO (g/kg)	HC (g/kg)
GTCP85-129	86.00	3.155	4.63	17.86	1.13

Tabel 4: Per 15 minuten en 5 minuten zijn het brandstof verbruik en de emissies van CO₂, NO_x, CO en HC weergegeven voor APU type GTCP85-129

Tijd APU in gebruik	Brandstof verbruik (kg)	CO ₂ (g)	NO _x (g)	CO (g)	HC (g)
15 minuten	21.5	67.73	99.55	383.99	24.30
5 minuten	7.17	22.58	33.18	128.00	8.10

⁷ <http://www.b737.org.uk/apu.htm>

Uit de analyses van Eurocontrol en AOA blijkt dat de emissies door APU gebruik veel gereduceerd kunnen worden bij gebruik van walstroom en pre-airconditioned air. Dit heeft een effect op de lokale luchtkwaliteit, maar omdat het gebruik van de APU tijdens vertrek en aankomst een relatief korte tijd beslaat van de volledige vlucht, zal gemeten over een totale vlucht, de bijdrage aan reductie van klimaateffecten klein zijn.

3.1.6.3 Effect op veiligheid

Het verminderen van APU gebruik op de apron of gate heeft geen directe nadelige gevolgen op de vliegveiligheid. Het gebruik van een e-GPU i.p.v. een GPU vindt nu al plaats op veel luchthavens waaronder Maastricht zonder noemenswaardige veiligheidsproblemen.

3.1.6.4 Implementatietermijn

Niet van toepassing; reeds in implementatiefase.

3.1.6.5 Kosten

Investerings zijn reeds gedaan.

3.1.6.6 Sturing op inzetbaarheid

Het eerder uitschakelen van de APU, bijvoorbeeld tijdens het taxiën, kan implicaties hebben voor het toepassen van taxiën met minder motoren (zoals beschreven in 3.1.5). Tijdens taxiën met minder motoren is het voor de meeste vliegtuigtypes een vereiste om de APU ingeschakeld te houden.

3.1.7 Conclusies maatregelen grondgeluid

De maatregelen die in voorgaande sectie zijn benoemd, zijn voornamelijk gericht op het reduceren van hinder ten gevolge van grondgeluid. Dit betekent dat voornamelijk de bewoners in de buurt van de luchthaven hier voordeel van hebben. Grondgeluid kent echter soms een laagfrequente component die ervoor zorgt dat het geluid ook hinderlijk kan zijn voor omwonenden die verder van de luchthaven wonen

Op basis van de inventarisatie die is gedaan en de schatting van de effecten, is het reduceren van APU- en GPU-gebruik de meest in het oog springende maatregel. Deze maatregel is al in gang gezet door de luchthaven door te investeren in pre-conditioned air en walstroom. Naast een reductie van geluidsniveaus zal dit ook terug te zien zijn in de emissies die worden uitgestoten op het platform. Een andere maatregel waar de luchthaven momenteel de mogelijkheden van verkent, is het doen van aanpassingen aan de baan lay-out. Afhankelijk van de gekozen aanpassingen kan dit lokaal voor verbeteringen zorgen.

Van de andere maatregelen is het gereduceerd gebruik van straalomkeerders het meest kansrijk op de korte termijn, tegen relatief lage kosten. Met betrekking tot het taxiën met minder motoren is, net als voor elektrisch taxiën, de verwachting dat hier geringe winst te behalen valt wat betreft geluidhinder; dit in verband met de benodigde tijd voor warming-up en cooling-down van de motoren. Voor elektrisch taxiën geldt daarnaast dat hiervoor forse investeringen nodig zijn.

Voor het operationaliseren van waterinjectie bij proefdraaien geldt dat hier aanzienlijke kosten aan verbonden zijn en een korte tot middellange doorlooptijd. Omdat proefdraaien om langduriger geluid gaat kan deze maatregel wel tot meer hinderreductie voor de omgeving leiden.

Hoewel de maatregelen die hier zijn geïnventariseerd kunnen leiden tot geluid- en hinderreductie, zullen ze geen effect hebben op de berekeningen voor het 50% reductie scenario, omdat dergelijke bronnen niet meegenomen worden in het wettelijk voorgeschreven model voor het berekenen van vliegtuiggeluid rondom luchthavens.

3.2 Operationele maatregelen

In deze sectie wordt ingegaan op maatregelen die betrekking hebben op de operatie van het vliegtuig. De maatregelen richten zich op operationele aanpassingen zoals vliegwijze en routes, waardoor geluidreductie kan worden behaald of bepaalde gebieden (gedeeltelijk) kunnen worden ontzien.

Allereerst worden maatregelen behandeld die betrekking hebben op routes, namelijk:

- Verleggen van vliegroutes,
- Routeoptimalisatie voor bestaande routes.

Vervolgens wordt aandacht gegeven aan maatregelen die te maken hebben met het verdelen van hinder. Dit zijn: Om nieuw gehinderde omwonenden vooraf goed te kunnen informeren kan gebruik gemaakt worden van de Virtual Community Noise Simulator (VCNS): een virtual reality applicatie waarmee in desbetreffende omgeving het geluid van de aanpaste of nieuwe route wordt gesimuleerd.

- Spreiden van startend en landend verkeer,
- Rustperiodes door alternerend routegebruik,
- Minder vliegen in specifieke periodes,
- Baanpreferentie.

Belangrijk is het om bovengenoemde aanpassingen in overleg met omwonenden te bepalen om de gewenste hinderreductie te bereiken. Dit omdat naast gebieden met afname van hinder in andere gebieden de hinder mogelijk zal toe nemen. Ook kan door een andere verdeling in tijd de geluidbelasting tijdelijk toenemen (zie paragraaf 4.2.1).

Daarna volgen maatregelen voor vertrekprocedures en landingsprocedures:

- Vertrekprocedures,
- CDO,
- Aangepaste baanlengte en steilere naderingen,
- Lage weerstand nadering.

En tot slot:

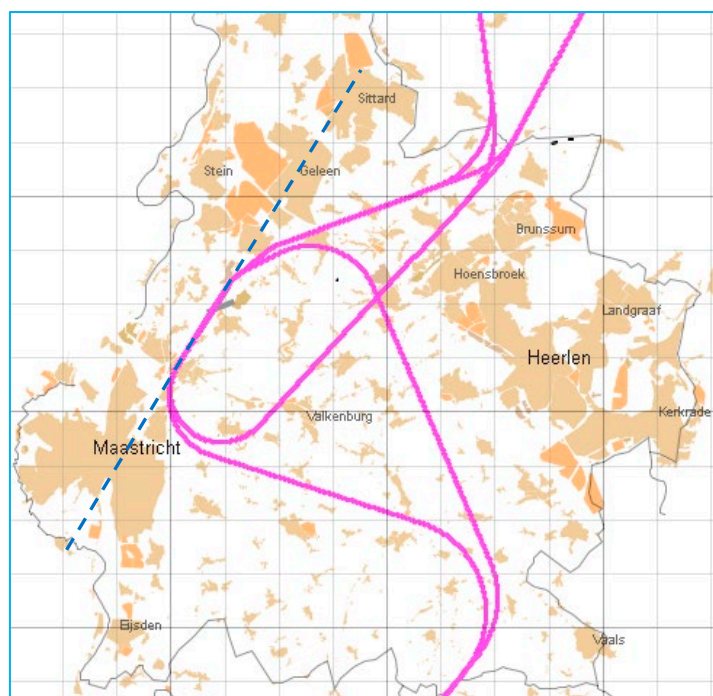
- AMAN/DMAN.

3.2.1 Verleggen van vliegroutes

Vertekroutes rondom de luchthaven zijn ontworpen als “noise preferential routes”, wat wil zeggen dat ze woonkernen zo veel mogelijk vermijden. De vertekroutes, die meerdere bochten bevatten, zijn in Figuur 20 weergegeven door de roze lijnen.

Voor het ontwerpen van naderingsroutes zijn er minder vrijheden. In het laatste naderingsgedeelte dient recht voor de landingsbaan genaderd te worden. Dit gedeelte van de route moet naar huidige inzichten ongeveer 7.5 tot 11 kilometer lang zijn (weergegeven als onderbroken lijn in Figuur 20). Doordat landend verkeer met instructies van de luchtverkeersleiding naar het vliegveld wordt begeleid, ligt het overige deel van de naderingsroutes niet vast.

Daarnaast wordt de ruimte voor nieuwe vliegroutes beperkt door vliegroutes van en naar de vliegvelden van Luik en Geilenkirchen die deels in de buurt liggen van de vliegroutes van en naar Maastricht. Nieuwe routes mogen niet conflicteren met deze routes.



Figuur 20: Naderings- en vertrekroutes rondom Maastricht Aachen Airport

In Figuur 20 is te zien dat de grote woonkernen in de regio worden vermeden door de huidige routes. Verdere verbetering is wellicht mogelijk door het vergroten van de afstand van vliegroutes tot kleinere woonkernen, stiltegebieden, andere hindergevoelige plaatsen zoals gebieden met veel toeristische activiteit. Door het aanpassen van vliegroutes, zullen vliegtuigen een ander grondpad volgen. Het hoogteverloop van een vliegtuig als het over een bepaalde route vliegt hangt af van de gekozen vliegprocedure (zie paragraaf 3.2.7 voor meer informatie over vliegprocedures). Gezien de hoogteverschillen in de regio Zuid-Limburg kan bij het onderzoek naar alternatieve routes eventueel rekening worden gehouden met het effect van deze hoogteverschillen op de geluidsniveaus op de grond.

Door routes wat verder van een specifieke plaatsen af te leggen zal op die plaatsen de geluidbelasting afnemen en kan het aantal (ernstig) gehinderden daar afnemen. Door het verleggen van een route zal elders echter sprake zijn van een toename van de geluidbelasting en kan het zijn dat de hinder alleen wordt verschoven in plaats van verminderd.

3.2.1.1 Effect op geluid

Het geluid dat vliegtuigen produceren wanneer ze op grotere hoogte vliegen is in een breder gebied rondom de vliegroute hoorbaar, waardoor routeverleggingen daar tot minder grote verschillen in geluidsniveaus gaan leiden. Naderingen vliegen in grote gebieden rond de luchthaven op lagere hoogte (2.000 ft en lager). Op startroutes zal de

hoogte waarop vliegtuigen zich bevinden toenemen naarmate de afstand langs de route toeneemt. Optimalisatie moeten daarom gezocht worden in de naderingsroutes of in de eerste delen van de start en zijn daarom in beginsel mogelijk voor de regio Zuid-Limburg.

Door nieuwe routes verder van een specifieke plaats af te leggen zullen op die plaats de geluidniveaus en de geluidbelasting afnemen; de relatie tussen een toename in afstand en afname in geluidniveaus is gegeven in Figuur 24. De huidige ligging van de vertrekroutes lijkt vrij goed gekozen in die zin dat al zo veel als mogelijk het vliegen over woonkernen wordt vermeden. Door het verleggen van routes zal sprake zijn van een verschuiving van de geluidbelasting en de hinder. Om de geluidbelasting te verdelen, in plaats van te verplaatsen, kan gebruik gemaakt worden van routes die alternerend gebruikt worden (zie 3.2.4).

3.2.1.2 Effect op emissies

Het effect op de luchtkwaliteit is verwaarloosbaar doordat de wijzigingen in de routes plaatsvinden op grotere hoogtes. De verlegde route kan ofwel korter of langer worden dan de oorspronkelijke route, afhankelijk van de mogelijkheden en de invloed van de beperkende factoren zoals genoemd in 3.2.1.6. Dit resulteert in een beperkte afname of toename van emissies, met een zeer beperkt effect op het klimaat.

3.2.1.3 Effect op veiligheid

Aanpassen van de vliegroutes zal geen direct effect op de vliegveiligheid te hebben. De routes worden door een procedure ontwerper gemaakt en officieel gepubliceerd door de LVNL. Voordat de routes worden vrijgegeven wordt er gekeken of deze aan alle geldende eisen voldoen. Dit waarborgt de vliegveiligheid. Bij meer complexe routes kan de vliegbaarheid ook worden gecheckt zowel in een simulator of met een speciaal testvliegtuig.

3.2.1.4 Implementatietermijn

Het optimaliseren van een vertekroute is een maatregel die op de korte termijn kan worden gestart. Het ontwerp en de implementatie van een nieuwe of aangepaste vertekroute vraagt een doorlooptijd van zo'n zes tot twaalf maanden.

3.2.1.5 Kosten

De kosten worden bepaald door het organiseren van het overleg met en de informatievoorziening naar omwonenden – dit geldt voor de regio waarvoor de aanpassingen een rol spelen. De kosten van de daadwerkelijke implementatie van de geoptimaliseerde routes zijn onderdeel van de werkzaamheden van de luchtverkeersleiding.

3.2.1.6 Sturing op inzetbaarheid

Vliegroutes kunnen niet zonder meer worden verplaatst. Een aantal voorbeelden van mogelijke beperkende factoren zijn:

- Er dient rekening te worden gehouden met de veiligheid. Er mag geen interferentie zijn met andere vliegroutes van en naar MAA of met vliegverkeer van vliegbasis Geilenkirchen of het vliegveld van Luik.
- Er dient rekening te worden gehouden met de werklast van piloten en luchtverkeersleiding. Als een route zeer complex is met veel bochten en hoogterestricties vergt dit meer van piloten en luchtverkeersleiders.
- Landingsroutes dicht bij het vliegveld dienen recht voor de baan te liggen; een vliegtuig moet tijdig recht voor de baan vliegen om te kunnen landen. Het huidige inzicht is dat een vliegtuig op ongeveer 7.5 tot 11 km voor de landing recht voor de baan moet vliegen. Dit betekent dat er geen mogelijkheden zijn om de laatste fase van de naderingsroutes zodanig aan te passen dat Nederlandse woonkernen zoals Maastricht en Sittard

worden vermeden. Daarnaast wordt momenteel landend verkeer met instructies van de luchtverkeersleiding naar het vliegveld begeleid, waardoor er een grote spreiding is van de vliegroutes.

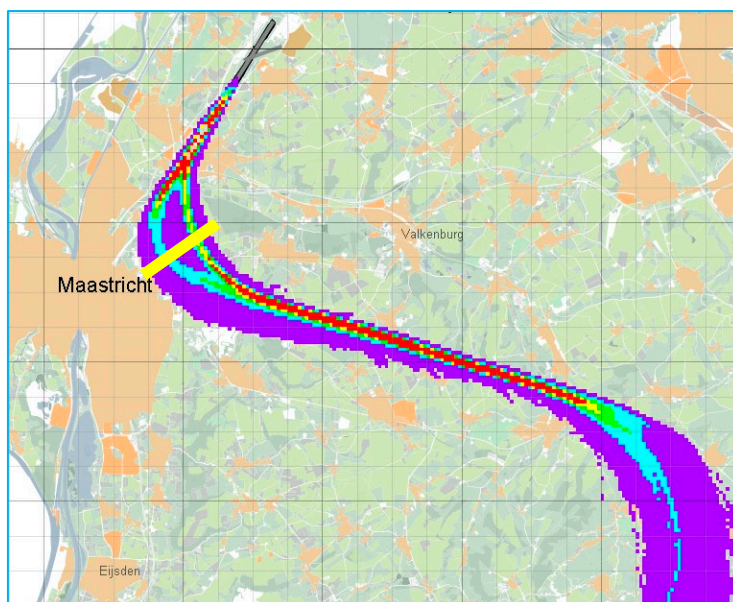
- Het verplaatsen van hinder moet worden voorkomen.

Het ontwikkelen van nieuwe routes en toewijzing van routes tijdens de dagelijkse operaties is een taak van de luchtverkeersleiding. Tijdens vooronderzoek kan in samenspraak tussen omwonenden, andere belanghebbenden en de luchtverkeersleiding nader bepaald worden wat de gewenste verbetering is.

3.2.2 Routeoptimalisatie voor bestaande routes

Routeoptimalisatie houdt in dat bestaande routes worden geoptimaliseerd binnen de ruimte die er is. Hierdoor is het mogelijk om lokaal hinder te reduceren. Een hulpmiddel hierbij is Performance-based Navigation (PBN), om te zorgen dat vliegtuigen nauwkeurig de voorgeschreven vliegroutes volgen. PBN stelt eisen aan de nauwkeurigheid van de navigatie van vliegtuigen en schrijft het gebruik van Precision Area Navigation (PRNAV) voor. Het gebruik van PRNAV geeft meer vrijheid bij het ontwerpen van vliegroutes ten opzichte van meer traditionele navigatiemethoden, die op basis zijn van bakens op de grond. Hierdoor kunnen routes beter ontworpen worden die zoveel mogelijk de woonbebouwing vermijden.

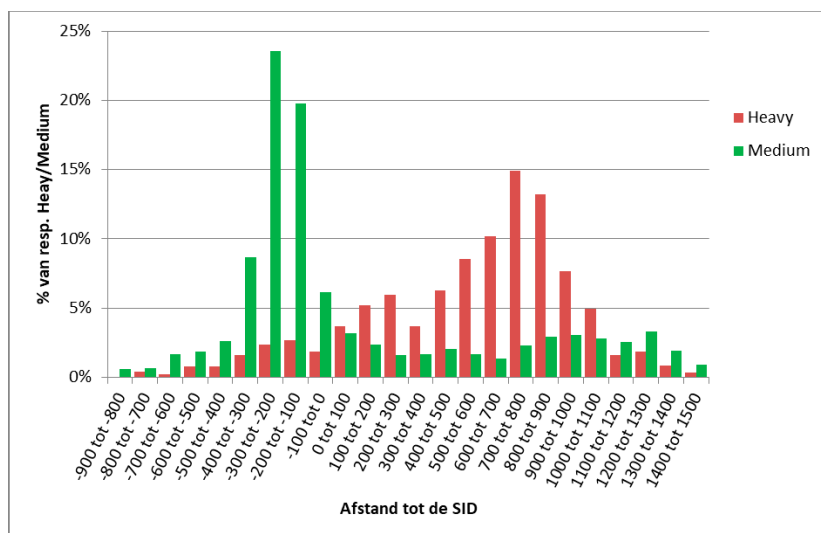
Een concreet voorbeeld als kandidaat voor routeoptimalisatie is de startroute OLNO2B, de meest gebruikte startroute op MAA, waarbij verkeer in zuidelijke richting start en na enige tijd een bocht naar het oosten maakt (zie Figuur 21). Ook op de NETEX startroute vanaf deze startbaan waaiert het verkeer meer uit ten opzichte van de nominale route.



Figuur 21: Verkeersdichtheid op de OLNO2B startroute (Heavy/medium vluchten in 2019)

Ter hoogte van de aangegeven gele lijn is een dwarsdoorsnede gemaakt van het verkeer voor een nadere analyse. De ligging van de vliegbanen is bepaald per gewichtsklasse. Figuur 22 laat zien dat zwaar verkeer ("Heavy", zoals de Boeing 747, Boeing 777 en de Airbus A330) vaker een ruimere bocht maken dan relatief lichter verkeer (zoals de Boeing 737). Hierbij wordt opgemerkt dat in 2019 het aandeel van heavy verkeer ongeveer 40% van het totale verkeer

met medium en heavy toestellen bedroeg. De hartlijn van de vliegroutes voor Medium en Heavy vliegtuigen verschilt ongeveer 1.000 meter.



Figuur 22: Dwarsdoorsnede van startend verkeer op de route OLNO2B (gezien in vliegrichting)

Doordat het zware verkeer regelmatig een ruimere bocht vliegt komt dit verkeer dicht bij/over Maastricht-Ambly wat tot meer gehinderden kan leiden.

Vliegtuigtypes uit de medium gewichtsklasse blijken in staat, zo laat Figuur 22 zien, om een minder ruime bocht te vliegen. Ook de zwaardere vliegtuigen vliegen soms een minder ruime bocht; onmogelijk is dat dus niet. Om aanvullende informatie te krijgen over de mogelijkheden voor zwaardere vliegtuigen, is gekeken naar vluchtgegevens op een soortgelijke Schiphol route (starts vanaf de Aalsmeerbaan, afdraaiend naar het oosten). Uit deze analyse is gebleken dat ook hier zwaardere vliegtuigen een iets ruimere bocht vliegen dan de vliegtuigen uit de Medium gewichtsklasse; het verschil is op de Schiphol route echter kleiner: ongeveer 500 meter. Dit suggereert dat er ruimte voor verbetering is voor de zwaardere vliegtuigen die op MAA vliegen.

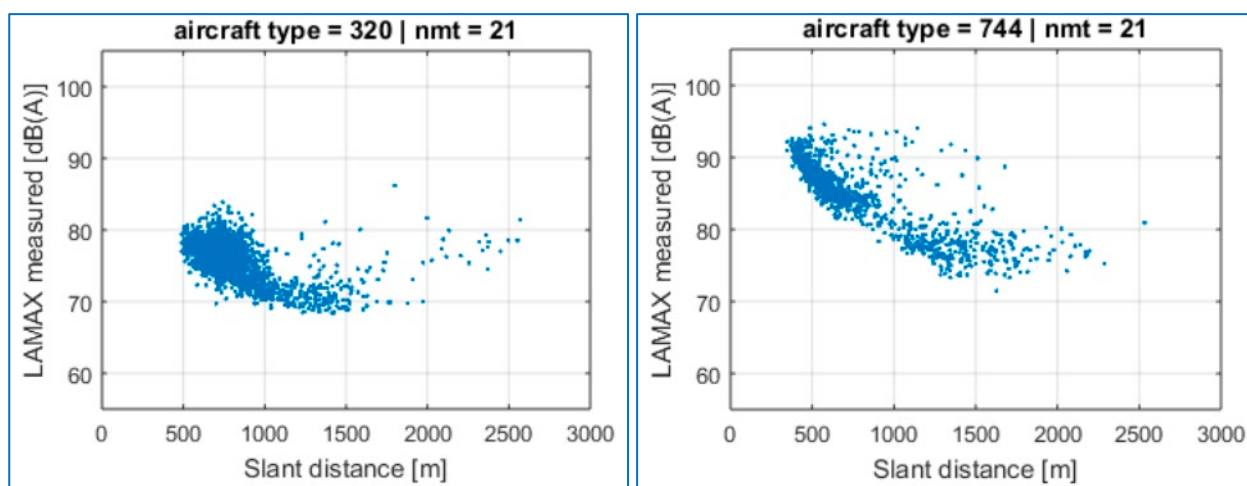
Verbetering ten aanzien van het beter (preciezer) volgen van route OLNO2B kan worden gerealiseerd door de verbetering van de routedefinitie in het AIP te onderzoeken, vliegeigenschappen nader te bestuderen en de mogelijkheden van inzet van Performance Based Navigation te beoordelen. Bij eventuele aanpassingen aan de route wordt onder andere getoetst in hoeverre de beoogde route veilig gevlogen kan worden door alle verkeer op MAA. Hierbij wordt onder andere rekening gehouden met het effect van het draaien van een krappere bocht op de prestaties van vliegtuigen. Door de route OLNO2B beter (preciezer) te volgen, zal minder vaak over Maastricht-Ambly gevlogen worden waardoor het aantal gehinderden daar kan worden gereduceerd.

Een tweede mogelijke verbetering voor starts op deze route betreft de vluchten die een bestemming in westelijke richting hebben (bijvoorbeeld Groot-Brittannië of de Verenigde Staten). In 2019 betrof dit ongeveer 13% van de starts op deze route. Omdat er geen specifieke startroute naar het westen is gedefinieerd, wordt volgens de OLNO2B route gestart en verlaten deze vluchten de route zodra ze voldoende hoogte hebben. In sommige gevallen betekent dit dat de toestellen eerst in oostelijke richting vliegen waarna ze een relatief krappe bocht vliegen om terug naar het westen te draaien. Het gevolg van de krappe bocht is dat de toestellen niet alleen in oostelijke richting over Zuid-Limburg vliegen, maar vervolgens ook terug in westelijke richting. Dit wil zeggen dat een vliegtuig langer, of twee maal,

hoorbaar is. Onderzocht kan worden of deze toestellen tot grotere hoogte de route kunnen volgen waardoor ze een ruimere bocht vliegen en in westelijke richting over België vliegen.

3.2.2.1 Effect op geluid

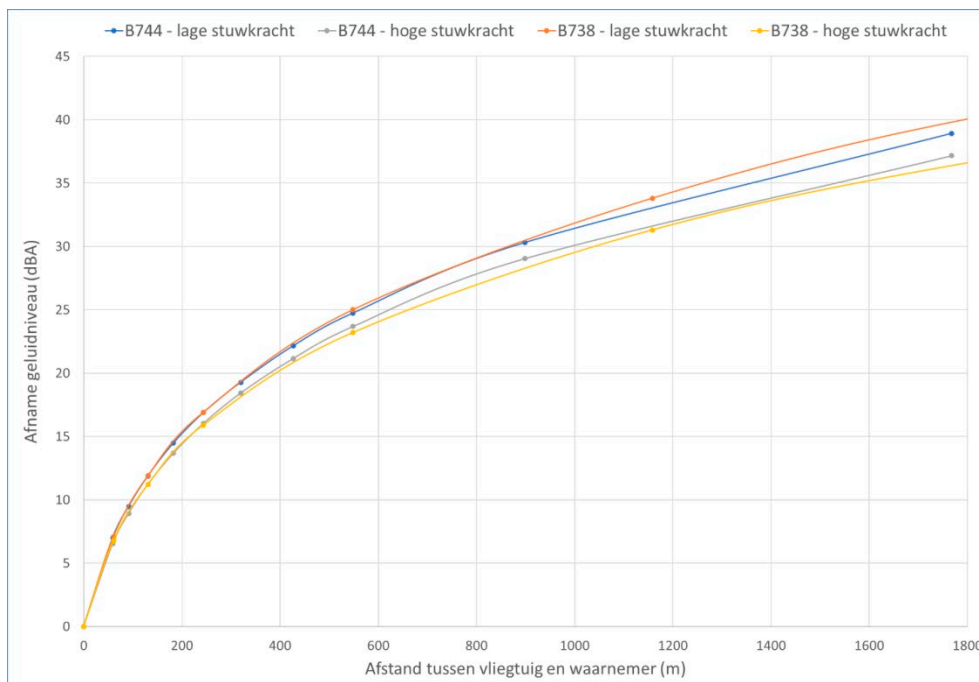
In een eerder NLR onderzoek in opdracht van de luchthaven Heathrow zijn geluidmeetgegevens afgezet tegen de directe afstand van de meetlocatie tot het vliegtuig, de zogeheten “slant distance” (zie Figuur 23). De resultaten zijn weergegeven voor passerende vliegtuigen uit de Heathrow vloot, van het type Airbus A320 (vergelijkbaar met de Boeing 737-800) en Boeing 747-400. De locatie van de meetpost ligt ongeveer 3 kilometer na het einde van de startbaan, net naast de uitvliegroute; dit is enigszins vergelijkbaar met een locatie in Amby ten opzichte van een start op route OLNO2B.



Figuur 23: Relatie tussen gemeten piekniveaus en de afstand tussen waarnemer en vliegtuig (A320 en B744)

Figuur 24 geeft op basis van geluidgegevens van het Nederlands rekenmodel (deze gegevens zijn gebaseerd op geluidmetingen) een indicatie van de afname van het geluidniveau bij een toename van de afstand. De lijnen zijn geplott voor de minimale en maximale stuwkrachtwaarden van de Boeing 737-800 en Boeing 747-400. De figuur laat zien dat:

- de afname van het geluid groter wordt naarmate de toename van de afstand hoger wordt;
- het geluidniveau minder snel afneemt naarmate de afstandstoename hoger wordt;
- afhankelijk van vliegtuigtype en hoeveelheid stuwkracht verschillen kunnen optreden in het effect van de afstandsverschuiving. Voor de 2 beschouwde types zijn deze verschillen maximaal ongeveer 5 dB voor afstandsverschuivingen tot 2 km.



Figuur 24: Relatie tussen de afname van geluidniveaus bij een toename van de afstand

Hierbij dient opgemerkt te worden dat afstand in de grafiek betrekking heeft op de 3D afstand tussen vliegtuig en de waarnemer. Daardoor zal een routeverschuiving een kleinere afstandstoename tot gevolg hebben naarmate de vlieghoogte toeneemt. Door een verschuiving van 1.000 meter in het een grondpad over de wijk Maastricht-Amby zal de afstand van vertrekkende vliegtuigen tot bewoners in deze wijk toenemen van 1.000 naar 1.400 meter. De maximale geluidniveaus zullen volgens Figuur 24 ongeveer 3 tot 5 dB(A) afnemen. In Rothem, dat door de OLNO2B starts wordt overvlogen zal de verschuiving kleiner zijn. De geluidniveaus zullen, afhankelijk van de locatie in Rothem, naar verwachting hooguit 2 dB(A) af- of toenemen.

Ook na het doorvoeren van aanpassingen van vliegroutes om de geluidbelasting in specifieke woonkernen terug te dringen, zullen in de meeste gevallen de vliegtuigen daar nog altijd hoorbaar zijn.

3.2.2.2 Effect op emissies

De optimalisatie kan inhouden dat een bepaalde vertrekroute iets korter of juist langer wordt, afhankelijk van de doorgevoerde wijziging. Op de totale vlucht zal dit verschil echter marginaal zijn en daarmee ook het effect van de maatregel op luchtkwaliteit en het klimaat.

3.2.2.3 Effect op veiligheid

Aanpassen van de vliegroutes zal geen direct effect op de vliegveiligheid te hebben. De routes worden door een procedure ontwerper gemaakt en officieel gepubliceerd door de LVNL. Voordat de routes worden vrijgegeven wordt er gekeken of deze aan alle geldende eisen voldoen. Dit waarborgt de vliegveiligheid. Bij meer complexe routes kan de vliegbaarheid ook worden gecheckt zowel in een simulator of met een speciaal testvliegtuig.

3.2.2.4 Implementatietermijn

Het optimaliseren van een vertrekroute is een maatregel die op de korte termijn kan worden uitgevoerd. Het ontwerp en de implementatie van een nieuwe of aangepaste vertrekroute vraagt een doorlooptijd van zo'n zes tot twaalf maanden.

3.2.2.5 Kosten

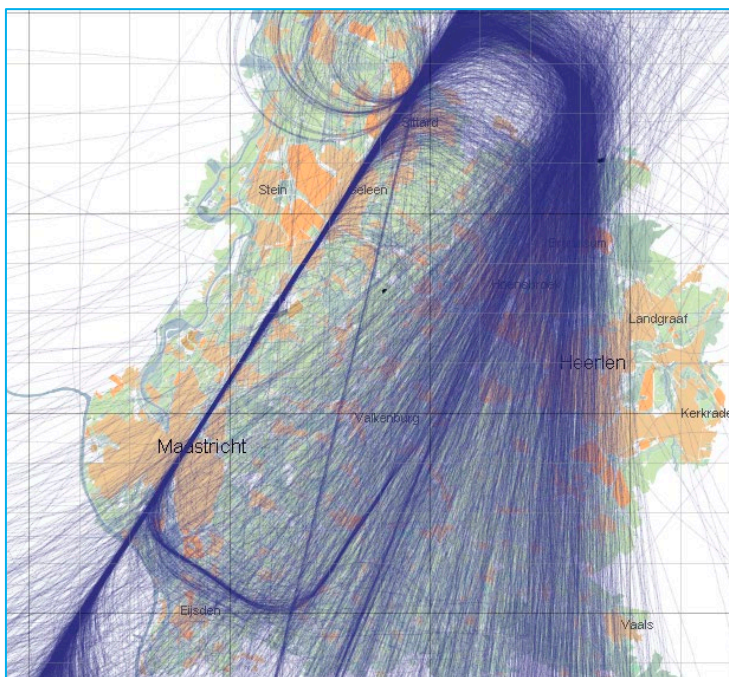
De kosten worden bepaald door het organiseren van het overleg met en de informatievoorziening naar omwonenden – dit geldt voor de regio waarvoor de aanpassingen een rol spelen. De kosten van de daadwerkelijke implementatie van de geoptimaliseerde routes zijn onderdeel van de werkzaamheden van de luchtverkeersleiding.

3.2.2.6 Sturing op inzetbaarheid

Om nieuw gehinderde omwonenden vooraf goed te kunnen informeren kan gebruik gemaakt worden van de Virtual Community Noise Simulator (VCNS): een virtual reality applicatie waarmee in desbetreffende omgeving het geluid van de aanpaste of nieuwe route wordt gesimuleerd.

3.2.3 Spreiden van startend en landend verkeer

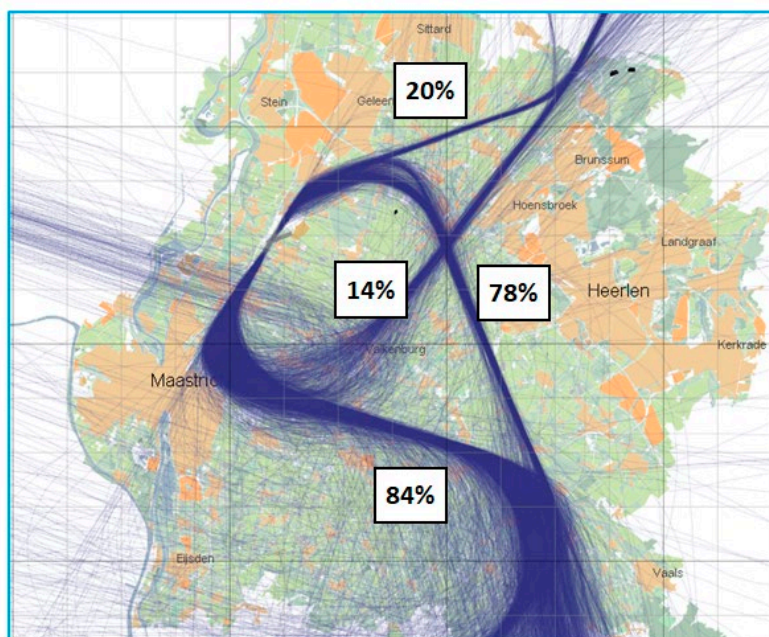
Om hinder te verdelen kan worden gekozen om binnen de *bestaande* routes het verkeer zoveel mogelijk te spreiden over het luchtruim rondom de luchthaven. Bij landend verkeer gebeurt dit grotendeels al; weliswaar volgen vliegtuigen kort voor de landing allemaal een rechte route naar de baan, maar in het vluchtgedeelte ervoor is een aanzienlijke spreiding in vliegroutes zichtbaar. Zie ook Figuur 25.



Figuur 25: Vliegroutes voor medium en heavy verkeer, landend verkeer naar MAA

Voor het startend verkeer zijn vanaf MAA, per gebruiksrichtingen van de startbaan, een aantal vertekroutes beschikbaar. Deze vertekroute wordt aangeduid met de Engelse term 'Standard Instrument Departure' (SID). De bestemming van de vlucht bepaalt, met de richting waarin de baan wordt gebruikt, de te volgen SID. Deze routes worden gepubliceerd in de Aeronautical Information Publication (AIP) van de luchthaven (LVNL, 2020). Hierin zijn figuren te zien die de globale ligging van de routes tonen.

Figuur 26 geeft weer waar vertrekkende vliegtuigen zich bevinden en hoe per baanrichting de verdeling is tussen de verschillende uitvliegrichtingen.



Figuur 26: Huidige verdeling van medium en heavy verkeer op de meest gebruikte vertrekkroutes vanaf MAA

In de figuur is te zien dat de starts naar het noorden via vrij geconcentreerde bundels (500 tot 1000 meter breed) worden afgehandeld. Het aanbrengen van meer spreiding zou in die regio al snel leiden tot het meer overvliegen van grotere woonkernen.

De starts naar het zuiden, vanaf baan 21 op de route OLNO2B, laten meer spreiding zien (tot meerdere kilometers breed) doordat de bocht naar het zuiden op verschillende momenten wordt ingezet, zoals in bovenstaande figuur is te zien. In 2019 zette ongeveer 25% van de zwaardere vliegtuigen op deze startroute de bocht vroeger in. Met deze spreiding van verkeer wordt ook de geluidbelasting gespreid over de regio.

Onderzocht kan worden of er behoefte is aan meer en beter gestructureerde spreiding, vooral op route OLNO2B naar het zuiden. Hieraan gekoppeld kan dan communicatie plaatsvinden over het te verwachten vliegverkeer zodat de voorspelbaarheid ervan wordt vergroot. Het belang van voorspelbaarheid wordt nader toegelicht in 4.2.1.

3.2.3.1 Effect op geluid

Er is nu al sprake van spreiding van verkeer binnen de bestaande naderingroutes. Hierdoor wordt de geluidbelasting over een groter deel van de regio verspreid. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de regio Heerlen-Hoensbroek-Brunssum waar de naderingen op een hoogte beneden 3.000 ft vliegen. Wanneer deze spreiding wordt weggenomen, zal onder de vliegroute het maximale geluidniveau toenemen met 5 tot 10 dB(A) voor de vluchten die naar de geconcentreerde route worden verplaatst (zie Figuur 24). Dat zal in deze gebieden leiden tot hogere geluidbelastingswaarden. Op de locaties waar de gespreide naderingen nu vliegen zullen de maximale geluidniveaus in gelijke mate afnemen. Omdat op die locatie, in verband met de spreiding, minder vliegtuigen verschuiven zal het effect op de geluidbelasting echter kleiner zijn.

Voor de starts naar het zuiden (route OLNO2B) kan door het versterken van de nu al aanwezige spreiding van verkeer, de geluidbelasting meer worden verdeeld. Een deel van de starts op deze route kan enkele kilometers in westelijke richting worden verplaatst. Hierdoor zullen voor deze vluchten de geluidniveaus in het oostelijk deel van Zuid-Limburg

met 5 tot 10 dB(A) afnemen (zie Figuur 24). Meer naar het westen zullen echter de geluidniveaus voor die vluchten met eenzelfde waarde toenemen.

Ten aanzien van het effect op *geluid(niveaus)* is dus voor een deel van het verkeer sprake van een verschuiving. In overleg met omwonenden, die al deze vluchten nu al ervaren, kan worden afgestemd of een dergelijke verschuiving tot een betere balans in de ervaren *hinder* leidt.

3.2.3.2 Effect op emissies

Voor de situatie van Maastricht Aachen Airport moet er nader onderzocht worden of de concentratie of spreiding van routes leidt tot meer gevlogen vliegroutes waarbij de emissies toenemen binnen het LAQ-gebied, wat een negatief effect heeft op de lokale luchtkwaliteit. Voor de beschouwing van de luchtkwaliteit zijn de emissies tot een hoogte van 3.000 ft (ongeveer 914 meter) van belang. Bovendien dient er rekening gehouden te worden met vliegroutes langs het Natura 2000 gebied Bunder- en Elsloërbos (zie Figuur 1). Wanneer deze maatregel meer verkeer de vliegroutes langs dit Natura 2000 gebied laat vliegen, zullen de depositiewaarden in dit natuurgebied kunnen toenemen tot dichtbij de kritische depositiewaarden.

Daarnaast is het van belang op te merken dat vliegtuigen nu een route toegewezen krijgen op basis van hun herkomst of bestemming. Het toewijzen van andere routes kan ertoe leiden dat vliegtuigen langere afstanden moeten vliegen, waardoor de emissies van bijvoorbeeld CO₂, H₂O en NO_x toenemen, en het effect op klimaat toeneemt.

3.2.3.3 Effect op veiligheid

Omdat het verkeer via de bestaande routes, en binnen de huidige beperkingen ten aanzien van de veilige afhandeling van verkeer, worden afgehandeld, zijn geen effecten ten aanzien van veiligheid te verwachten.

De luchtverkeersleiding is verantwoordelijk voor het handhaven van de minimale onderlinge separatie tussen vliegtuigen die zich in het verkeersleidingsgebied bevinden. De luchtverkeersleiding geeft de vliegers koers-, hoogte- en/of snelheidsinstructies, zodat de minima niet worden onderschreden. Deze taken zullen nog steeds moeten kunnen worden uitgevoerd na een eventuele spreiding of concentratie van de vliegroutes. Als dat niet goed mogelijk is zal de spreiding of concentratie van de routes moeten worden aangepast zodat de separatie minima gehandhaafd kunnen worden.

3.2.3.4 Implementatietermijn

Deze maatregel kan direct worden opgepakt. Hiervoor kan nader overleg met omwonenden en luchtverkeersleiding worden gestart.

3.2.3.5 Kosten

Het spreiden van verkeer vraagt beperkte kosten voor het voeren van nader overleg en het onderzoeken van de mogelijkheden.

3.2.3.6 Sturing op inzetbaarheid

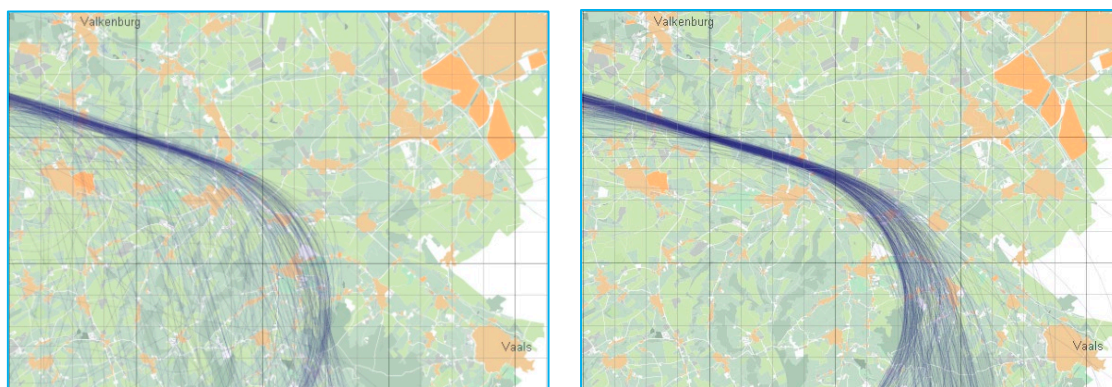
Een eerste stuurmaatregel zou kunnen zorgen voor spreiding van vliegbewegingen met relatief luidruchtige vliegtuigen over de dag zodat omwonenden in een bepaald gebied niet kort achter elkaar meerdere luidruchtige vliegbewegingen horen.

3.2.4 Rustperiodes door alternerend routegebruik

In de 3.2.3 is aangegeven hoe het huidige verkeer gespreid afgehandeld wordt en op welke punten deze spreiding mogelijk versterkt kan worden. De in die paragraaf beschouwde spreiding was uitsluitende gebaseerd op geografische spreiding. Om nog meer sturing aan te brengen kan ook gedacht worden aan spreiding in **tijd**. Dergelijke sturing wordt bijvoorbeeld toegepast voor de naderingen op de luchthaven Heathrow (Heathrow Airport - respite research, n.d.).

Door het verdelen van verkeer over meerdere aankomst- of vertrekroutes kan in bepaalde gebieden de hinder in tijd gezien worden verdeeld. Het ene moment wordt het ene gebied niet overvlogen, het volgende moment geldt dat voor het andere gebied. Op die manier worden er periodes van relatieve rust ingebouwd. De wisseling van in gebruik zijnde vertrekroutes kan per dag of dagdeel worden gevarieerd. Belangrijk is dat hierin een keuze wordt gemaakt in samenspraak met de omgeving. Door een keuze te maken voor een bepaalde verdeling wordt de hinder voor omwonenden meer voorspelbaar.

Om het alternerend routegebruik te kunnen realiseren is zijn meerdere routes nodig. Om meerdere routes te creëren zal voor bepaalde routes op MAA eerst een opdeling gemaakt kunnen worden in bijvoorbeeld twee subroutes; een voorbeeld wordt getoond in Figuur 27.



Figuur 27: Vliegverkeer op vertrekroute OLNO2B opgedeeld in twee alternerend te gebruiken subroutes

3.2.4.1 Effect op geluid

Het belangrijkste doel van deze maatregel is om te komen tot een **voorspelbare** verdeling van verkeer **in de tijd**. Omdat het totaal aantal vluchten in een bepaalde regio niet verandert, zal er geen effect zijn op de totale geluidbelasting.

Door verdeling in tijd kan positief uitwerken ten aanzien van slaapverstoring. Nu kunnen twee dagelijkse starts in de vroege ochtend mensen in twee regio's doen ontwaken. Door in tijd te concentreren vliegen de twee starts de ene ochtend over regio A en de dag erna over regio B.

3.2.4.2 Effect op emissies

Er is geen effect op emissies te verwachten.

3.2.4.3 Effect op veiligheid

De luchtverkeersleiding is verantwoordelijk voor het handhaven van de minimale onderlinge separatie tussen vliegtuigen die zich in het verkeersleidingsgebied bevinden. De luchtverkeersleiding geeft de vliegers koers-, hoogte-

en/of snelheidsinstructies, zodat de minima niet worden onderschreden. Deze taken zullen nog steeds moeten kunnen worden uitgevoerd na een eventuele spreiding of concentratie van de vliegroutes. Als dat niet goed mogelijk is zal de spreiding of concentratie van de routes moeten worden aangepast zodat de separatie minima gehandhaafd kunnen worden.

3.2.4.4 Implementatietermijn

De inzet van meerdere routes kan technisch gezien op korte termijn worden opgestart. Naderingen worden nu als onder instructie van de luchtverkeersleiding naar de luchthaven begeleid; onderzocht kan worden of sturing op meerdere naderingsroutes hierin kan worden meegenomen.

Voor vertrekroute voor starts naar het zuiden (route OLNO2B) zal eerst onderzocht moeten of er eventueel beperkingen zijn om per tijdvak alle starts via het westelijk deel van de routecorridor af te handelen. Hierbij kan meegenomen worden dat de inzet van deze maatregel ook voor delen van een etmaal nuttig kan zijn; denk hierbij aan vroege ochtend of avond.

3.2.4.5 Kosten

De kosten van de daadwerkelijke implementatie van de nieuwe routes worden gezien als onderdeel van de werkzaamheden van de luchtverkeersleiding. De kosten worden verder bepaald door het organiseren van het overleg met, en de informatievoorziening naar, omwonenden. De opzet van dergelijke bijeenkomsten is vergelijkbaar met informatiesessies voor omwonenden die tijdens de proefcasus zullen worden georganiseerd.

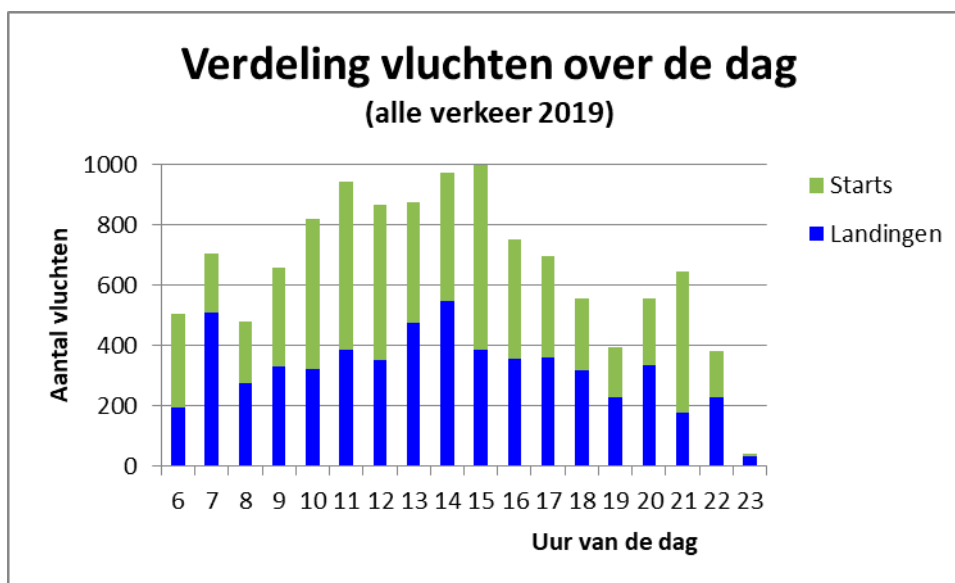
3.2.4.6 Sturing op inzetbaarheid

Het ontwikkelen van nieuwe routes en toewijzing van routes tijdens de dagelijkse operaties is een taak van de luchtverkeersleiding. Over deze verdeling moet bovenal samen met omwonenden afspraken worden gemaakt (4.2.1). Dit zou samen met MAA en bewonersvertegenwoordigers kunnen worden uitgevoerd.

Wanneer de geschetste aanpak voor de totale vloot niet haalbaar is, zou gestart kunnen worden met de verdeling van de vliegtuigen die als meest luidruchtig/hinderlijk worden ervaren of vliegtuigen in bepaalde perioden (bijvoorbeeld avonden).

3.2.5 Minder vliegen in specifieke periodes

Het vliegverkeer op MAA wordt afgehandeld tussen 06:00 en 23:00 uur; uitzonderingen voor vluchten na 23:00 uur, de zogenaamde extensies, zijn mogelijk. In Figuur 28 is de verdeling van vluchten over de dag te zien voor alle verkeer in 2019, onderverdeeld naar starts en landingen.



Figuur 28: Verdeling van vluchten over de dag – alle vluchten in 2019

Om de hinder in de omgeving te verminderen kan worden overwogen om minder vliegtuigbewegingen plaats te laten vinden gedurende bepaalde periodes waarin ze relatief veel hinder veroorzaken. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de volgende periodes:

- Vóór een bepaalde tijd in de vroege ochtend of na een bepaalde tijd of avond en nacht.
- Gedurende het weekend of tijdens bepaalde periodes in het weekend (zoals zondagochtend).

Hierbij kan worden gekozen voor het sluiten van het vliegveld tijdens de betreffende periode, of het maximaliseren van het jaarlijkse aantal bewegingen tijdens deze periode. Eventueel kan dit selectief worden toegepast voor vliegtuigen die meer geluid produceren. Maatregelen op dit punt zijn al genomen, bijvoorbeeld door het inzetten van de Boeing 747-400 en Airbus A310 vóór 07:00 uur te ontmoedigen en extensies voor vluchten na 23:00 uur te reduceren. Deze maatregelen hebben al merkbaar effect gehad. Het zou kunnen worden onderzocht of deze maatregelen verder doorgevoerd kunnen en moeten worden.

Bij deze maatregel worden twee kanttekeningen geplaatst:

- Deze maatregel zou kunnen conflicteren met het toepassen van preferentieel baangebruik (zie paragraaf 3.2.6). Indien een vliegtuig uit het zuiden komt en als het de voorkeur heeft dat dit toestel via het noorden landt, kan het zijn dat dit extra vliegtijd vergt waardoor het toestel niet meer op tijd binnen kan komen. In deze situatie vereist de sluitingstijd van de luchthaven dat het toestel via het zuiden nadert, terwijl op basis van preferentieel baangebruik gekozen zou moeten worden voor een nadering vanuit het noorden. Indien beide maatregelen geïmplementeerd worden, dient met omwonenden heldere afspraken gemaakt te worden die vastleggen hoe hiermee wordt omgegaan.
- Indien vliegtuigen niet voor een bepaalde tijd mogen landen of als dit ontmoedigd wordt, kan dit ertoe leiden dat vliegtuigen die vroeger dan gepland aankomen enige tijd moeten wachten in de lucht totdat ze kunnen landen. Dit zal leiden tot juist meer emissies en geluidsoverlast in de omgeving van het vliegveld.

3.2.5.1 Effect op geluid

Het verplaatsen van vluchten die nu plaatsvinden op tijdstippen die als extra hinderlijk worden ervaren, leidt tot een verschuiving van het moment waarop het geluid wordt geproduceerd. De geluidproductie per vliegbeweging blijft

gelijk. Minder vluchten in de vroege ochtend of tijdens de late avonduren zal wel de hinder laten afnemen, ook bij gelijkblijvende geluidniveaus.

Dat is ook terug te zien in berekeningen. In de berekening van de jaarlijkse geluidbelasting komt dit tot uiting doordat vliegtuigbewegingen in de avond en nacht zwaarder meetellen dan bewegingen overdag, door het toepassen van de zogeheten etmaalweegfactor. In Tabel 5 zijn de wegingsfactoren weergegeven voor de geluidbelastingsmaat L_{den} . Naast de vermenigvuldigingsfactor is de resulterende toename in dB(A) weergegeven.

Tabel 5: wegingsfactor L_{den} gedurende de dag (lokale tijden)

Tijdstip	0.00u - 7.00u	7.00u – 19.00u	19.00u – 23.00u	23.00u – 0.00u
Factor L_{den}	10	1	3.16	10
Toename dB(A)	10	0	5	10

Uit de tabel is af te leiden dat verschuiving van verkeer van de periode tussen 6 en 7 uur naar de periode na 7 uur 's ochtends tot wijzigingen in de L_{den} zal leiden. De bewegingen zullen nog maar één in plaats van tien keer meetellen, waardoor de L_{den} -geluidbelasting afneemt. Ook het verplaatsen van vliegtuigbewegingen van na 23 uur naar eerder op de avond resulteert in een afname van de L_{den} -geluidbelasting. De mate waarin een verschuiving daadwerkelijk doorwerkt in de L_{den} zal ook afhangen van het soort vliegtuigbewegingen dat wordt verplaatst. De verplaatsing van zware vliegtuigen, die meer geluid produceren, zal al snel een merkbaar effect op de uiteindelijke L_{den} waarde.

Situatie MAA

In 2019 werden 510 vluchten afgehandeld vóór 07.00 uur en 42 vluchten na 23.00 uur. Dat komt neer op resp. 4,0 en 0,3 procent van het totaal aantal vliegbewegingen. De meeste van deze vluchten betroffen het zwaardere verkeer: 480 vluchten vóór 07.00 uur en 39 vluchten na 23.00 uur.

Wanneer deze aantallen worden meegenomen in de gewogen berekening voor de geluidbelasting, dan neemt het effectieve aantal vluchten op die tijdstippen toe met een factor tien. Dit bevestigt dat het verminderen van vluchten in de periodes vóór 07.00 uur of na 23.00 uur een relatief grote impact heeft op de geluidbelasting rond MAA. Daarmee is het een van de belangrijkere maatregelen om te komen tot hinderreductie.

3.2.5.2 Effect op emissies

Wanneer de hoeveelheid vliegtuigbewegingen gelijk blijft zal de totale luchtkwaliteit als jaargemiddelde concentratie gelijk blijven. De uurgemiddelde waarden zullen voor die uren waarin vluchten worden vermeden dalen. Voor andere tijdstippen (de tijdstippen waarop de vluchten wel plaatsvinden) zullen de concentraties in gelijke mate toenemen.

Indien vliegtuigen die vroeger dan gepland arriveren en daardoor in de lucht moeten wachten tot ze mogen landen zal deze maatregel leiden tot een toename in emissies doordat vliegtuigen langer vliegen. Als deze maatregel ertoe leidt dat wordt afgeweken van het preferente baangebruik om de vliegtijd in te korten zodat vliegtuigen nog op tijd kunnen landen kan deze maatregel ook leiden tot minder emissies.

3.2.5.3 Effect op veiligheid

In het algemeen zal het minder vliegen in bepaalde periodes geen merkbare invloed hebben op de vliegveiligheid. Het kan wel zijn dat minder vliegen in de nachtelijke uren een kleine verbetering in de vliegveiligheid brengt.

3.2.5.4 Implementatietermijn

Dit is een maatregel die op korte termijn zou kunnen worden geïmplementeerd, mits voldoende (economisch) draagvlak aanwezig is.

3.2.5.5 Kosten

De kosten die verbonden zijn aan het aanpassen van de bestaande afspraken, zullen bestaan uit overleg en eventueel onderzoek. Daarnaast kunnen de inkomsten van de luchthaven dalen indien maatschappijen minder kunnen vliegen van en naar MAA ten gevolge van gereduceerde openingstijden of als maatschappijen (deels) uitwijken naar andere velden ten gevolge van de aangepaste openingstijden.

3.2.5.6 Sturing op inzetbaarheid

Aangezien de maatregel een effect kan hebben op de vliegschema's van maatschappijen, kan dit een belemmering zijn voor het implementeren van de maatregel. Dit geldt vooral wanneer vliegschema's voor passagiersvluchten zijn gebaseerd op twee retourvluchten per dag naar een bepaalde bestemming. Om vluchten 's avonds op een vroeger tijdstip binnen te laten komen, kan sturing plaatsvinden op kortere omkeertijden of optimalisatie van time-schedules. Hierdoor wordt het totale tijdschema van de twee retourvluchten van een bepaald vliegtuig gedurende de dag verkort.

Sinds 2018 wordt gestuurd op het vermijden van bepaalde perioden met vrachtvliegtuigen, waarbij het vliegen tussen 06:00 en 07:00 en na 19:00 wordt ontmoedigd (Maastricht Aachen Airport, 2020). Dit heeft geleid tot minder zware vliegtuigen in de genoemde perioden. Zo vloog in 2016 en 2017 respectievelijk 26% en 32% van het zware verkeer buiten de periode van 07:00 tot 19:00 en lag dit percentage in 2018 en 2019 op respectievelijk 21% en 18%.

De uitwerking zal in samenspraak tussen luchthaven, luchtvaartmaatschappijen en de afhandelaren besproken moeten worden. Daarbij is het van belang dat rekening wordt gehouden met de kans dat vliegtuigen 's morgens vroeg eerder arriveren. Voorkomen moet worden dat vliegtuigen, die te vroeg aankomen, noodgedwongen moeten gaan rondcirkelen; daardoor wordt een averechts effect bereikt in termen van geluid en emissies.

3.2.6 Baanpreferentie

De baanpreferentie schrijft de richting voor van de baan waar een vliegtuig opstijgt of landt. Het voorschrijven van de gehanteerde baanrichting heeft tot doel om, wanneer de operationele omstandigheden dat toelaten, het baangebruik te kiezen dat aansluit bij de wensen vanuit de omgeving van het vliegveld, waardoor lokaal geluidhinder kan worden gereduceerd. Dit zou kunnen door bijvoorbeeld starts en landingen niet over dezelfde woonkernen te laten vliegen.

Huidige situatie

Wanneer alle overige omstandigheden dat toestaan bepaalt de luchtverkeersleiding op basis van weersomstandigheden en -voorspellingen de richting waarin de baan wordt gebruikt. Deze overige omstandigheden betreffen onder andere het al dan niet nat zijn van de baan, zichtwaarden, wolkendek, wind op grotere hoogte en baanbeschikbaarheid (is o.a. afhankelijk van onderhoud naderingsapparatuur). De luchthaven beschikt over één verharde start- en landingsbaan (baan 03/21 – zie Figuur 30). Als de windrichting draait zullen de luchtverkeersleiders doorgaans de gebruiksrichting van de baan omdraaien.



Figuur 29: Ligging start- en landingsbaan luchthaven Maastricht en aanduiding baanrichtingen (bron: Google Earth)

Bij het vaststellen van de geluidsruijnte in handhavingspunten is rekening gehouden met het feit dat het vliegverkeer op jaarbasis op een bepaalde manier verdeeld wordt over de beschikbare baanrichtingen. De Omzettingsregeling 2014 is gebaseerd op een verdeling 80%/20%. Deze verdeling betekent 80% gebruik van baanrichting 21, in zuidelijke richting, en 20% baanrichting 03, noordelijke richting (Lieveuse CSO Milieu BV, 2016). De luchtverkeersleiding zal, wanneer er vrijheid van baankeuze is, ook sturen op deze verdeling en de daarbij behorende geluidbelasting in handhavingspunten; dit gebeurt vooral later in het jaar.

De verdeling van alle vluchten in 2019 laat zien dat voor starts deze verdeling ook ongeveer is gerealiseerd (77%/23%). De landingen geven een iets andere verdeling: 69%/31%. Starts uitgevoerd door het zwaardere verkeer laten zien dat die wel ongeveer de verdeling volgens de omzettingsregeling 2014 volgden: 79% naar het zuiden tegenover 21% naar het noorden.

Om situaties op te vangen waarbij de weersomstandigheden afwijken van het gemiddelde, en zorgen voor een baangebruik met een iets andere verdeling, is bij het vaststellen van de geluidsruijnte een zogeheten meteomarge toegepast. Hierdoor zal bij een iets andere verdeling van baangebruik niet direct sprake tot een overschrijding van de geluidsruijnte.

Creëren van meer vrijheid in baankeuze

Om meer vrijheid te creëren voor het kiezen van de gewenste baanrichting zou de meteomarge kunnen worden aangepast, of kan gekozen te worden voor een andere manier van handhaving op geluid. Hierbij kunnen aanvullende afspraken gemaakt worden om te voorkomen dat een grotere meteomarge wordt benut om extra groei te realiseren. Voor de nadere invulling van de criteria voor afwisselend baangebruik, wordt aanbevolen om dit in overleg met omwonenden vorm te geven om hiervoor een zo breed mogelijk draagvlak te creëren.

Het belangrijkste doel van deze maatregel is het realiseren van een baantoewijzing die, binnen de wettelijke kaders, als “eerlijk” wordt ervaren. Dit geldt vooral op momenten waarop dat als belangrijk wordt ervaren, bijvoorbeeld in de vroege ochtend en de late avonduren. Afspraken kunnen meer of minder vergaand worden doorgevoerd:

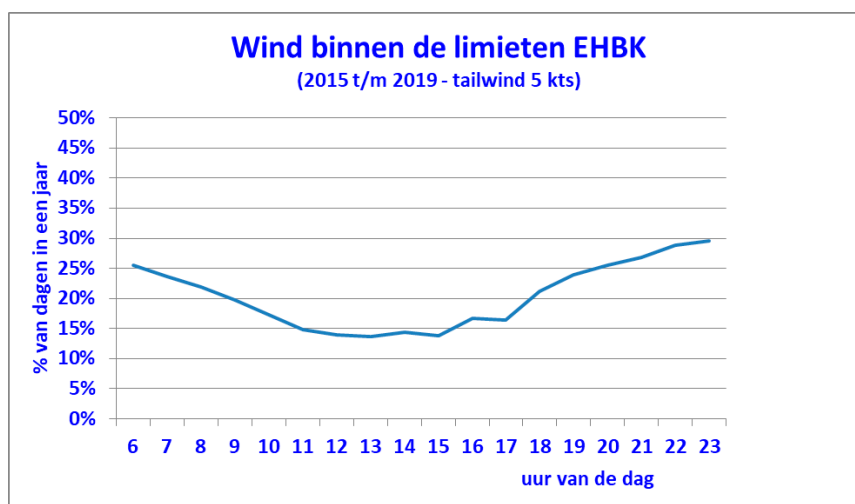
1. De huidige verdeling van baanrichting kan worden aangehouden, waarbij daarbinnen op gewenste momenten andere keuzes voor baantoewijzing worden gehanteerd. De jaarlijkse geluidbelasting verandert daardoor niet.
2. De huidige verdeling van baanrichting wordt losgelaten en mag variëren; dit kan consequenties hebben voor de handhaving van de huidige grenswaarden.

Wisselen in baangebruik in keuzevrije periodes

Indien de operationele omstandigheden en weersomstandigheden het toelaten kan de baanrichting vrij gekozen worden, bijvoorbeeld bij weinig wind en een droge baan. De vluchtgegevens voor 2019 laten zien dat op meer dan de helft van alle dagen de baan in twee richtingen wordt gebruikt; daarbij werd meer van en naar het zuiden gevlogen (starten naar het zuiden en landen vanuit het zuiden) dan van of naar het noorden.

Randen van de dag

Analyse van de meteodata op MAA voor de afgelopen jaren wijst uit dat zelden sprake is van een hele dag met keuzevrijheid. Om die reden kan overwogen worden te kiezen voor afspraken die zich vooral richten op kortere perioden waarin die keuzevrijheid relatief vaker bestaat, bijvoorbeeld de ochtend en de avond (zie Figuur 30).



Figuur 30: Percentage uren met keuzevrijheid gedurende de dag (meerjarig gemiddelde voor MAA)

Informatievoorziening

Samen met het opstellen van criteria, moet aandacht gegeven worden aan de wijze waarop de uiteindelijke baantoewijzing op een transparante, navolgbare, en bij voorkeur voorspelbare manier kan worden ingericht. Het gebruik van een website of het toepassen van een app kan dit proces ondersteunen; zie bijvoorbeeld 4.2.1 en de Eindhoven BurenApp (Eindhoven Airport, 2019).

3.2.6.1 Effect op geluid

Het voorschrijven van de gehanteerde baanrichting kan voor diverse doeleinden gebruikt worden, waaronder:

- Wisselen in het baangebruik, bijvoorbeeld tijdens perioden van mooi weer wanneer veel mensen buiten vertoeven of op momenten dat mensen extra behoefte aan rust hebben. bijvoorbeeld op zondagmorgen. Door te wisselen van baangebruik kan verkeer gespreid op die momenten gespreid worden over verschillende gebieden.

- Zorgen dat de gehanteerde baanrichting aan het einde van een dag gelijk is aan de gehanteerde baanrichting aan het begin van de volgende dag, zodat het geluid van de laatste landingen van de dag niet in hetzelfde gebied terecht komt als het geluid van de eerste starts van de volgende dag.

Deze invulling heeft alleen gevolgen voor de tijdstippen waarop de bijdragen aan de geluidbelasting worden gerealiseerd; de jaarlijkse geluidbelasting hoeft hierbij niet te veranderen.

Wanneer de jaarlijkse verdeling van baanrichting wordt losgelaten, en bijvoorbeeld een verdeling van 70%/30% wordt gehanteerd in plaats van 80%/20%, zal dat wel gevolgen hebben voor de verdeling van de geluidbelasting over de regio en in de handhavingspunten. De geluidbelasting zal dan verschuiven tussen regio's ten zuiden van de luchthaven naar het noorden. Het effect van een dergelijke verschuiving is uitgewerkt in het scenario voor 50% reductie van het aantal gehinderden. Ten opzichte van de verdeling in 2019 betekent dit dat voor de zwaardere starts ruim 330 vliegbewegingen zullen verschuiven van baan 21 naar 03. Daarnaast verschuiven nog 90 bewegingen voor het lichte verkeer. De landingen vlogen in 2019 al ongeveer volgens een 70%/30% verdeling.

3.2.6.2 Effect op emissies

Wanneer als uitgangspunt wordt gekozen dat de verdeling op jaarbasis gelijk blijft, zal er geen effect zijn op emissies.

Bij de keuze voor een andere verdeling van baanrichting op jaarbasis zal wel sprake zijn van een effect op de lokale luchtkwaliteit. Hierbij worden zowel de emissies op de grond en de emissies tot 3.000 ft (ongeveer 914 meter) hoogte meegerekend. Daarbij gaat het zowel om de emissie hoeveelheid als de emissie locatie.

Baankop 21 ligt aanzienlijk dichterbij het platform van Maastricht Aachen Airport dan baankop 03. Bij een start vanaf baan 21 in plaats van baan 03 zal daarom de taxitijd korter zijn. Andersom zal bij een landing op baan 21 in plaats van baan 03 de taxitijd juist langer zijn. Een toename in taxitijd zal leiden tot meer emissies. Het gebruik van een andere baanrichting leidt (gedeeltelijk) ook tot een andere emissie locatie van de taxi emissies.

De keuze voor een andere baanrichting kan ertoe leiden dat de afgelegde taxi-route op de luchthaven tussen platform en start- en landingsbaan anders wordt. Daarbij zullen ook de start en landing aan de andere kant van de baan beginnen/eindigen en over een ander deel van de omgeving vliegen. Bij een start met de wind mee zal ook het vliegtuig minder steil wegklimmen. Daardoor zullen er relatief meer emissies op lagere hoogte worden uitgestoten, wat de luchtkwaliteit verslechtert.

Tijdens start of landing zijn vooral de stikstofemissies tijdens het eerste deel van de start (tot de hoogte waarop de stuwkracht wordt verminderd) relatief groot. De start van een vertrekkend vliegtuig wordt uitgevoerd met hoog motorvermogen waarbij per seconde relatief veel stikstofoxiden worden uitgestoten. Omdat het vliegtuig aan het begin van de startbaan nog langzaam beweegt zal daar een hoge concentratie stikstofoxiden ontstaan. Afhankelijk van de baankeuze zal deze hoge concentratie dus op een andere locatie voorkomen.

Het vertrekkend verkeer vanaf baan 03 vliegt gedurende langere tijd langs het Natura 2000 gebied Bunder- en Elsloërbos vergeleken met vertrekkend verkeer vanuit baan 21. Met oog op stikstofdepositie zou men kunnen onderzoeken of dit tot gevolg heeft dat dat vertrekkend verkeer vanuit baan 03 een grotere bijdrage heeft aan stikstofdepositie in dit Natura 2000 gebied dan vertrekkend verkeer vanuit baan 21.

Bovenstaande betekent dat een ander baangebruik effect kan hebben op de lokale luchtkwaliteit. Bij het maken van afspraken over baangebruik zijn gedetailleerde aanvullende luchtkwaliteitsberekeningen nodig om het effect van de baankeuze op de luchtkwaliteit nauwkeurig te bepalen.

Voor de beschouwing van het effect van een ander baangebruik op het klimaat zijn vooral de CO₂ (en H₂O) emissies van de vliegtuigen van belang. De CO₂-emissies van de vliegtuigen blijven (gemiddeld) lange tijd aanwezig in de atmosfeer. Dit betekent dat de hoeveelheid uitgestoten CO₂ belangrijk is, maar dat de locatie en hoogte waar deze uitstoot plaatsvindt niet van belang is omdat de CO₂-moleculen de tijd hebben om zich te verspreiden door de atmosfeer. De waterdamp die tijdens start en landing wordt uitgestoten verdwijnt relatief snel uit de atmosfeer en zal daarom niet bijdragen aan klimaat impact.

Aannemende dat de gevlogen start- en naderingsprocedures bij gebruik van een verschillende baan hetzelfde zijn, betekent dit concreet dat het bij de beschouwing van het klimaat vooral gaat om de totale taxitijd en de lengte van de gevlogen route naar of vanaf MAA.

Bij verandering van baan zullen zowel starts als landingen van baan veranderen. Voor wat betreft het starten is de taxitijd bij gebruik van baan 21 korter dan bij gebruik van baan 03, echter voor wat betreft de landingen is dit precies andersom. Vermoedelijk zal een start vanaf baan 03 echter meer taxitijd vergen dan een landing op baan 21 omdat een startend vliegtuig gemiddeld zwaarder is dan landend vliegtuig en daarmee bij hetzelfde motorvermogen langzamer zal bewegen over de taxibaan en dus wat langer onderweg is. Vanuit het oogpunt van taxi emissies is daarmee gebruik van baan 21 te prefereren voor het klimaat.

De CO₂-emissies van het vliegtuig tijdens de klim zijn veel groter dan die tijdens de daling. Hoewel stijgende en dalende vliegtuigen niet dezelfde routes gebruiken en er bij een daling mogelijk een langere route wordt gevlogen is vooral de klim bepalend voor de CO₂-uitstoot. Omdat de meeste vluchten vanaf MAA naar zuidelijke bestemmingen gaan, lijkt daarmee een start in zuidelijke richting vanaf baan 21 te prefereren boven een start vanaf baan 03. Ook als er rekening wordt gehouden met het feit dat er bij een start in zuidelijke richting de gevlogen route niet in een rechte lijn naar het zuiden gaat. Als de gemiddelde totale route lengte in ogenschouw wordt genomen zal het effect van baankeuze op het klimaat naar verwachting marginaal zijn. Meer zekerheid hierover kan worden verkregen uit een aanvullende studie waarbij de CO₂-emissies per baanrichting bepaald worden voor een significant deel of de gehele vlucht van het vliegverkeer.

3.2.6.3 Effect op veiligheid

Staartwind verhoogt de benodigde baanlengte tijdens de start of landing. Vanwege de grote impact op de benodigde baanlengte is er de preferentie vanuit de vliegers om altijd met tegenwind te starten of te landen. Voor elke start of landing bekijkt de vlieger aan de hand van informatie aangeleverd door de vliegtuigfabrikant of het mogelijk is om te starten of te landen met staartwind. Ook bekijkt de vlieger of de heersende staartwind binnen de opgegeven limieten van het vliegtuig liggen. Grote vliegtuigen die Maastricht Airport aandoen zijn allemaal gecertificeerd tot een staartwind van maximaal 10 kts. Voor sommige vliegtuigen biedt de vliegtuigfabrikant een verhoging van deze limiet tot 15 kts aan. De veiligheid van de vliegoperatie wordt gewaarborgd door de controle van de benodigde baanlengtes en door de toetsing van de staartwindlimieten door de vliegers. Voor gladde banen zijn de staartwindlimieten lager dan voor een droge baan. Vaak is het de vlieger niet toegestaan om te landen op een gladde baan (bijvoorbeeld natte baan of gedekt met sneeuw) onder staartwindcondities.

Extra veiligheidsmarge wordt geboden door een droge baan niet meer aan te bieden wanneer de staartwind meer is dan 5 kts, en helemaal niet als de baan glad is en er een staartwind is.

3.2.6.4 Implementatietermijn

De werkzaamheden met betrekking tot de uitwerking en invoering van deze maatregel kunnen op de korte termijn worden gestart. Op dit moment is de huidige wettelijke handhavingssystematiek voor geluid nog leidend, wat beperkingen op kan leveren bij implementatie op korte termijn. Zodra uit overleg met omwonenden duidelijk is welke aanpak de voorkeur heeft, kunnen de effecten op geluid, luchtkwaliteit en klimaat getoetst worden door achterliggende jaren te evalueren en kan gewerkt worden aan een aanpassing van de regelgeving om dit systeem in te kunnen voeren. Eventuele aanpassingen kunnen worden meegenomen in het traject voor het nieuwe luchthavenbesluit. Of extra tijd nodig is binnen dit traject wordt vooral bepaald door de vraag in hoeverre de nieuwe afspraken passen binnen de huidige wetgeving passen.

Voor het inrichten van informatievoorziening zal via een website-pagina, of een app, informatie beschikbaar gemaakt moeten worden over de verwachte baankeuze. De totale doorlooptijd hiervan wordt geschat op 6 tot 12 maanden.

3.2.6.5 Kosten

De kosten worden bepaald door het overleg dat nodig is om de criteria voor baantoewijzing vorm te geven. De ondersteuning met berekeningen van effecten zal ongeveer €20.000 tot €30.000 bedragen. De kosten van de daadwerkelijke implementatie van de afspraken kunnen worden gezien als onderdeel van de werkzaamheden om te komen tot een nieuw Luchthavenbesluit.

De kosten voor het inrichten van de informatievoorziening over het verwachte baangebruik zijn omvangrijker en liggen in de orde van €50.000 tot €100.000. Wanneer gebruik gemaakt kan worden van al bestaande informatievoorziening kunnen deze kosten lager uitvallen.

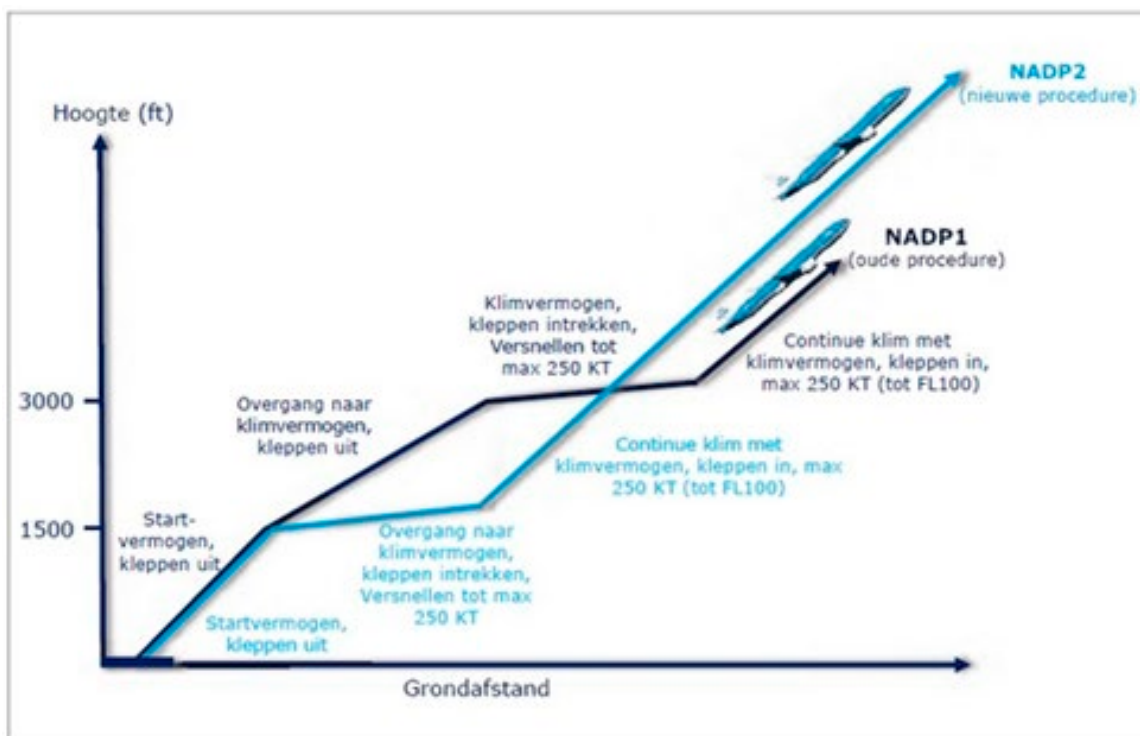
3.2.6.6 Sturing op inzetbaarheid

De uiteindelijke invulling zal in overleg met omwonenden, luchthaven en de luchtverkeersleiding vastgesteld moeten worden. Indien blijkt dat het gewenste baangebruik, zoals dat uit dit overleg volgt, leidt tot potentiële overschrijdingen van grenswaarden in handhavingspunten, zullen een of meerdere grenswaarden of de handhavingssystematiek aangepast dienen te worden. Voor Schiphol heeft dit geleid tot het model van “vliegen volgens afspraak” in plaats van het hanteren van een model dat stuurt op geluidbelasting in handhavingspunten.

3.2.7 Vertrekprocedures

NADP1/NADP2

Vliegtuigen die vertrekken vanaf MAA gebruiken daarvoor een vertrekprocedure die gericht is op het verminderen van de ervaren hinder, dit zijn zogeheten Noise Abatement Departure Procedures (NADP). Er zijn een aantal van dit soort vertrekprocedures ontwikkeld door vliegtuigfabrikanten en luchtvaartmaatschappijen. De procedures zijn op hoofdlijnen onder te verdelen in NADP1 en NADP2. Het verloop daarvan is geïllustreerd in Figuur 31.



Figuur 31: Verloop van de NADP1 en NADP2 startprocedures (bron: KLM)

Deze procedures richten zich op het verminderen van de geluidsniveaus onder (en nabij) de vliegbaan:

- Dichtbij de luchthaven, door eerst sneller te klimmen en daarbij langzamer te vliegen (NADP1). De vleugelkleppen blijven over tot op grotere hoogte in de startconfiguratie.
- Wat verder weg van de luchthaven, door eerst snelheid te maken en daarbij langzamer te klimmen (NADP2). Hierbij worden de vleugelkleppen op een lagere hoogte ingetrokken.

Binnen de twee groepen (NADP1 of NADP2) zijn variaties in de verschillende vliegprocedures mogelijk door:

- Te variëren met de hoogte waarop het klimvermogen wordt geselecteerd (in Figuur 31 gebeurt dit op 1.500 ft, ongeveer 450 meter).
- Te variëren met het geselecteerde (benodigde) startvermogen, hierbij kan gekozen worden voor het maximale startvermogen of gereduceerd startvermogen.

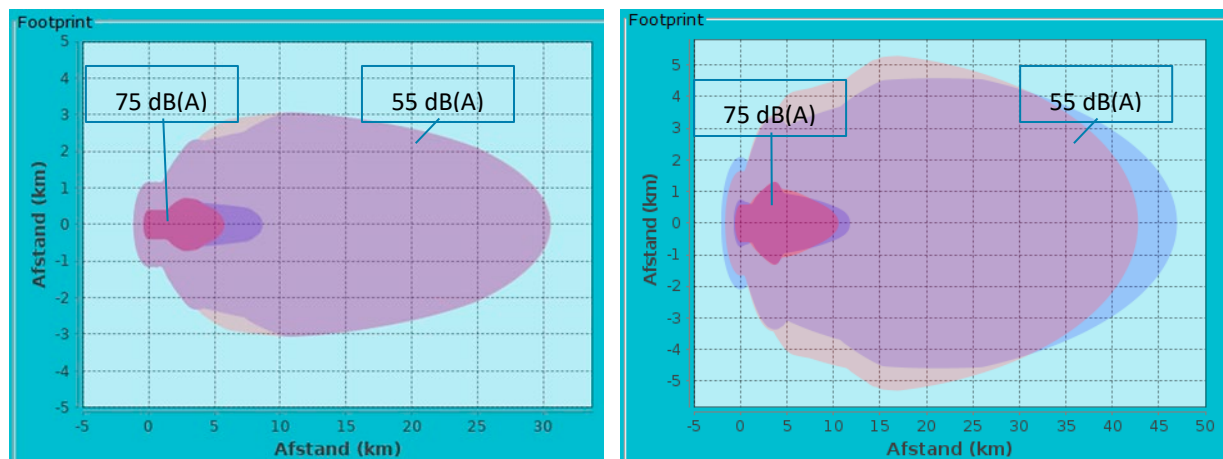
Beide punten zullen in het vervolg van deze paragraaf besproken worden.

Op bijvoorbeeld Schiphol en Eindhoven is de NADP2 de gebruikelijke procedure op dit moment. Voor MAA is het gebruik van NADP1 of NADP2 procedures niet vastgelegd. Luchtvaartmaatschappijen die vertrekken vanaf de MAA zijn hier daarom vrij in; niet bekend is welke keuzes luchtvaartmaatschappijen hierin maken.

3.2.7.1 Effect op geluid

In Figuur 32 zijn de zogeheten geluid “footprints” weergegeven voor een Boeing 737-800 en een B747-400 start. De NADP1 vertrekprocedure is in rood weergegeven, de NADP2-1500ft in blauw. De grote gekleurde gebieden komen overeen met het gebied waarbinnen het berekende geluidsniveau 55 dB(A) of hoger is. De kleine gebiedjes komen overeen met een geluidsniveau van 75 dB(A) of hoger.

Voor NADP1 is onder de vliegbaan te zien dat deze stiller is: de 75 dB(A) footprint is hier kleiner. Meer zijwaarts (hoger en lager in de figuur) is NADP2 juist stiller: het blauwe gebied is op die plekken kleiner. Simpel gezegd: onder de vliegbaan en dicht bij de start is NADP1 stiller, meer zijwaarts en verderop is NADP2 stiller.



Figuur 32: Geluid “footprints” (55 en 75 dB(A)) - B737-800 (links) en B744-400 (rechts) vertrek met NADP1 (rood) en NADP2 (blauw) vertrekprocedure

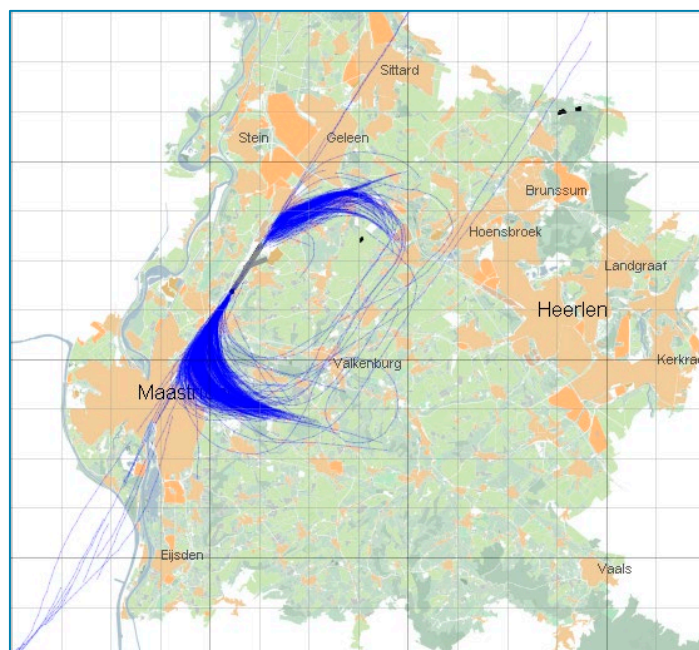
NADP1/NADP2 in de praktijk

Hoewel berekeningen duidelijke verschillen laten zien, is dat in de praktijk niet altijd even goed hoorbaar. In de periode 20 tot en met 26 augustus 2018 vond in de omgeving van luchthaven Eindhoven een pilot plaats ten aanzien van het gebruik van de hiervoor genoemde vertrekprocedures. Ryanair (RZR) maakte in die periode wisselend gebruik van deze twee zogenoemde klimprofielen, waarbij aan omwonenden van de luchthaven gevraagd werd om hun beleving van passerende starts te rapporteren. Bij de vergelijking tussen NADP1 en NADP2 starts, gaf dit geen duidelijk positiever beeld voor een van beide procedures. Dit beeld komt overeen met eerdere berekeningen voor KLM-starts vanaf Schiphol (Bewoners Aanspreekpunt Schiphol, 2015).

Ook zijn tijdens de pilot rond de luchthaven Eindhoven gemeten geluidniveaus en -duur beoordeeld. Hierin traden slechts kleine verschillen op: maximaal enkele dB's onder de vliegroute en enkele seconden verschil in duur. Dergelijke verschillen zijn niet of nauwelijks waarneembaar. Dit is in lijn met het beeld van de belevingsmeldingen. Dergelijke gemeten verschillen van hooguit enkele dB's zijn ook elders, bijvoorbeeld tijdens een pilot rond Heathrow Airport [metingen A380 - (London Heathrow, 2017)], gevonden. Op basis van de resultaten uit de pilot is voor de luchthaven Eindhoven de keuze gemaakt om vooralsnog geen specifieke vertrekprocedure voor te schrijven maar de keuze bij de luchtvaartmaatschappijen te laten.

Effect van NADP1/NADP2 op MAA

Voor MAA kunnen de effecten anders uitvallen door een andere vlootsamenstelling en andere ligging van vliegroutes ten opzichte van de bebouwing. Wanneer op MAA met NADP2 wordt gevlogen, zal het gedeelte vanaf 1500ft tot ca. 3000ft op hogere snelheid worden gevlogen en relatief lager dan de NADP1 procedure. Figuur 33 toont gebieden waar startende vliegtuigen beneden 3.000 ft (ongeveer 900 meter) vliegen. In deze gebieden zullen de geluidniveaus enkele decibellen hoger liggen ten opzichte van een NADP1 procedure.



Figuur 33: Gebieden waar starts beneden 3.000 ft vliegen - verschillen tussen NADP1/NADP2 starts

Starten met gereduceerde stuwkracht

Bij zowel een NADP1 als NADP2 kan gestart worden zowel met maximaal startvermogen als met gereduceerde stuwkracht. Het reduceren van de stuwkracht bij de start heeft tot gevolg dat de geluidproductie van een vliegtuig omlaag gaat. De lagere stuwkracht heeft echter ook tot gevolg dat een vliegtuig later loskomt van de baan en langzamer hoogte wint. Uit figuur 5 van (NLR, 2018) blijkt voor zeven locaties rondom Schiphol dat de berekende geluidbelasting afneemt of minimaal gelijk blijft indien starts met minder stuwkracht toegepast worden. Een belangrijke kanttekening bij het reduceren van stuwkracht is wel dat voldoende baanlengte beschikbaar moet zijn om veilig op te kunnen stijgen met een lager startvermogen. Zo is het zeer goed mogelijk dat dit niet altijd mogelijk is bij (zwaarbeladen) vrachtvliegtuigen.

Starten met gereduceerd vermogen is voor veel luchtvaartmaatschappijen gebruikelijk om te doen wanneer de omstandigheden dat toestaan, omdat dit leidt tot lagere onderhoudskosten aan motoren.

Om te bepalen in hoeverre het wenselijk is om een specifieke procedure voor te schrijven, en zo ja welke, dient onderzocht te worden wat de verwachte effecten zijn op geluid. Daarbij dient rekening gehouden te worden met de ligging van woonkernen in de omgeving van het vliegveld. Eventueel zou daarbij (in tegenstelling voor wat gangbaar is in Nederland) rekening gehouden kunnen worden met hoogteverschillen in de omgeving van het vliegveld, omdat de hoogteverschillen in de omgeving van MAA groter zijn dan in de nabijheid van andere Nederlandse vliegvelden. Desgewenst zou, zoals in Eindhoven gebeurd is, door middel van een pilot in de praktijk getest kunnen worden hoe bepaalde startprocedures ervaren worden.

3.2.7.2 Effect op emissies

Effect van NADP1/NADP2 op MAA

Het gebruik van de NADP2 procedure in plaats van de NADP1 procedure geeft per start een brandstofbesparing in de orde van enkele tientallen kilo's en daarmee een reductie van CO₂- en H₂O-emissies (Veerbeek & Brouwer, 2012). De exacte besparing is afhankelijk van het vliegtuigtype, maar ook de flexibiliteit die in de NADP1 en NADP2 procedures

zijn ingebouwd. De hoogte waarop de stuwkracht van start naar klimvermogen wordt veranderd en de hoogte waarop de vleugelkleppen worden ingetrokken zullen van invloed zijn op de mogelijke brandstofbesparing.

De NADP1 procedure stoot dichtbij de luchthaven meer NO_x en UFP uit door de snellere klim dicht bij de luchthaven, NADP2 stoot verder van de luchthaven af meer NO_x en UFP uit door de klim verder van de luchthaven af. Hierdoor zullen de NADP1 en NADP2 routes een verschillend effect hebben op luchtkwaliteit.

Het kenmerkende verschil tussen NADP1 en NADP2 is de keuze tussen snelheidswinst op lagere hoogte of een hoogtewinst bij lagere snelheid. De luchtkwaliteit wordt voornamelijk bepaald door de uitstoot van emissies op lagere hoogte (tot 3.000ft). Op die lagere hoogtes zijn de NADP1 en NADP2 vliegprocedures voor de eerste 1.500ft aan elkaar gelijk. Na de eerste 1.500ft neemt de NADP1 vliegprocedure eerst een steilere klim aan dan NADP2 tot een punt dat deze afvlakt en de NADP2 vliegroute juist sterker klimt dan de initiële klim van de NADP1 route na de 1.500 ft (zie figuur 10).

Er is dus een verschil in het verticale vliegpad wat resulteert in een verschil in hoogte en locatie waar verschillende hoeveelheden emissies uitgestoten worden. Bij de NADP1 procedure zal het vliegtuig langer op lagere hoogte blijven, maar zal de klimhoek relatief kleiner zijn; bij de NADP2 zal het vliegtuig onder een grotere klimhoek doorklimmen maar minder tijd op lagere hoogte verblijven. Het is (nog) niet onderzocht wat het verschil in impact op de luchtkwaliteit is als voor een NADP1 of voor een NADP2 vertrekprocedure wordt gekozen.

Start met gereduceerde stuwkracht

Start met gereduceerde stuwkracht geeft meer CO₂-uitstoot (met kanttekening, zie lokale luchtkwaliteit) tot op de hoogte waarop de stuwkracht wordt verminderd. Over een hele vlucht genomen is dit verschil relatief klein, in de orde van enkele tientallen kilo's.

Een start met gereduceerde stuwkracht kan leiden tot een toename van het brandstofgebruik op en nabij de grond in de onderste luchtlagen (Waits, 2006) door de lagere versnelling zal het vliegtuig relatief langer rollen op de baan en relatief meer tijd in de onderste luchtlagen doorbrengen. Daardoor wordt gedurende langere tijd een hogere weerstand (dan de minimaal mogelijke) ondervonden en wordt er meer brandstof verbruikt. Vliegtuigen zijn brandstof-efficiënt omdat ze zich voortbewegen in ijle lucht (op grote hoogte).

Echter uit analyse van "Flight Data Records" wordt het beeld van een hoger brandstofgebruik niet bevestigd bijvoorbeeld, (Koudis, Hu, Majumdar, Jones, & Stettler, 2017). Deze studie concludeert namelijk juist een lager brandstofverbruik bij gereduceerde stuwkracht. Dit verschil kan veroorzaakt worden door de variatie in de Doc29 profielen die gebruikt kunnen worden voor het doorrekenen van de emissies. Daarom is een eenduidige conclusie over de impact van een start met gereduceerde stuwkracht niet te maken en worden aanvullende studies aanbevolen. Hierbij zou specifiek voor de vliegtuigtypes en operationele omstandigheden (startbaanlengte etc.) op de luchthaven Maastricht onderzoek gedaan kunnen worden.

Door de lagere stuwkracht blijven drukken en temperaturen binnen de motor relatief laag. NO_x vormt zich door splitsing van in de buitenlucht aanwezige stikstof (N₂) in losse stikstof atomen (N) die weer reageren met aanwezige zuurstof tot NO_x. Voor het stukslaan van stikstofmoleculen is een minimum energie (temperatuur) nodig in de verbrandingskamer. Uit berekeningen blijkt dat er een balans is tussen de tijdsduur van de start (langer minder NO_x naarmate de stuwkracht lager is) en de vorming van NO_x per seconde (hoger bij hogere stuwkracht maar over kortere tijd). Een typische stuwkracht voor minimale NO_x uitstoot tijdens een start treedt op tussen 70% en 90% van de

maximale stuwkracht. De conclusies over een reductie van NOx bij een lagere stuwkracht wordt wel algemeen gevonden.

3.2.7.3 Effect op veiligheid

ICAO PANS-OPS schrijft de minimumhoogtes voor van veranderingen in de vliegtuigconfiguratie en reducties van stuwkracht van de NADP vertrekprocedure. Het is echter de vliegtuigmaatschappij die bepaalt welke specifieke NADP procedure gekozen wordt. Deze moet wel aan alle vliegtuigcertificatie eisen voldoen. Elke start van een vliegtuig wordt daarvoor doorgerekend uitgaande dat een motor faalt op het meest ongunstige moment van de start. Het vliegtuig moet in deze situatie aan een aantal wettelijke eisen voldoen qua klimprestaties, benodigde/beschikbare baanlengtes, en klaringen van obstakels onder het vlieg pad. Indien dat niet mogelijk is voor een gekozen configuratie (motorstand en flap stand) zal deze aangepast moeten worden net zolang tot aan de eisen is voldaan. Om een zo hoog mogelijk startgewicht toe te staan, vinden er ook optimalisaties plaats voor hoogtes waarop het vliegtuig moet versnellen en waarop de reductie van de stuwkracht kan aanvangen. Zowel de NADP1 als de NADP2 vertrekprocedure worden op deze manier doorgerekend. Alleen wanneer aan alle eisen wordt voldaan zal een vlieger de NADP vertrekprocedure volgen.

3.2.7.4 Implementatietermijn

Het voorschrijven van een specifieke vertrekprocedure kan op relatief korte termijn worden doorgevoerd.

3.2.7.5 Kosten

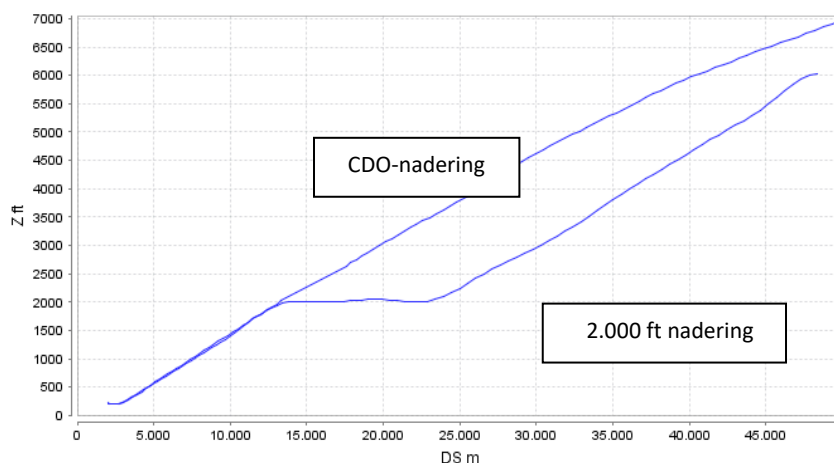
Het uitvoeren van een pilot vergelijkbaar met die in Eindhoven zal rond de € 10.000 tot € 25.000 kosten, afhankelijk van de omvang/duur van de pilot. Indien dit ertoe leidt dat een procedure voorgeschreven gaat worden zullen ook kosten gemaakt moeten worden om te zorgen dat de gewenste procedure uiteindelijk opgenomen wordt in het AIP.

3.2.7.6 Sturing op inzetbaarheid

De mate waarin sturing nodig is, zal mede afhangen van de procedure die voorgeschreven gaat worden. Indien bijvoorbeeld een NADP2 procedure gekozen wordt, zullen maatschappijen hier geen bezwaar tegen hebben gezien de brandstofbesparing die dit oplevert. Het daar waar mogelijk starten met minder startvermogen kan leiden tot lagere onderhoudskosten aan motoren, waardoor ook dit een voordeel heeft voor maatschappijen.

3.2.8 CDO

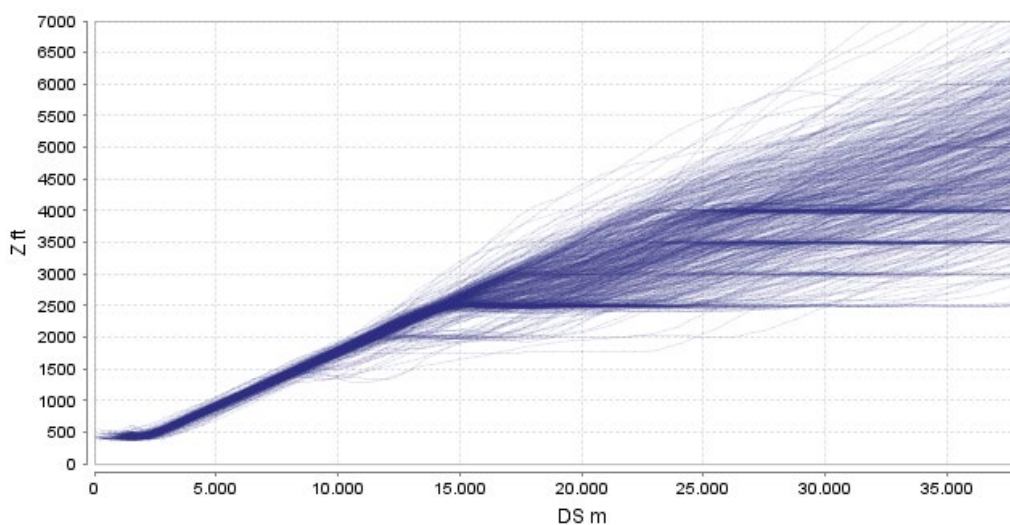
Bij Continuous Descent Operations (CDO)-naderingen wordt de nadering uitgevoerd als een continue daalvlucht in plaats van een nadering waarbij de hoogte stapsgewijs wordt verlaagd. Bij een dergelijke vlucht is minder motorvermogen nodig en wordt hoger gevlogen. In Figuur 34 is een weergave te zien van een continu dalende vlucht en een nadering waarbij een deel op een constante hoogte van 2.000 ft (609 m) wordt gevlogen.



Figuur 34: Hoogteprofielen voor een CDO nadering en een 2.000 ft nadering

Situatie MAA

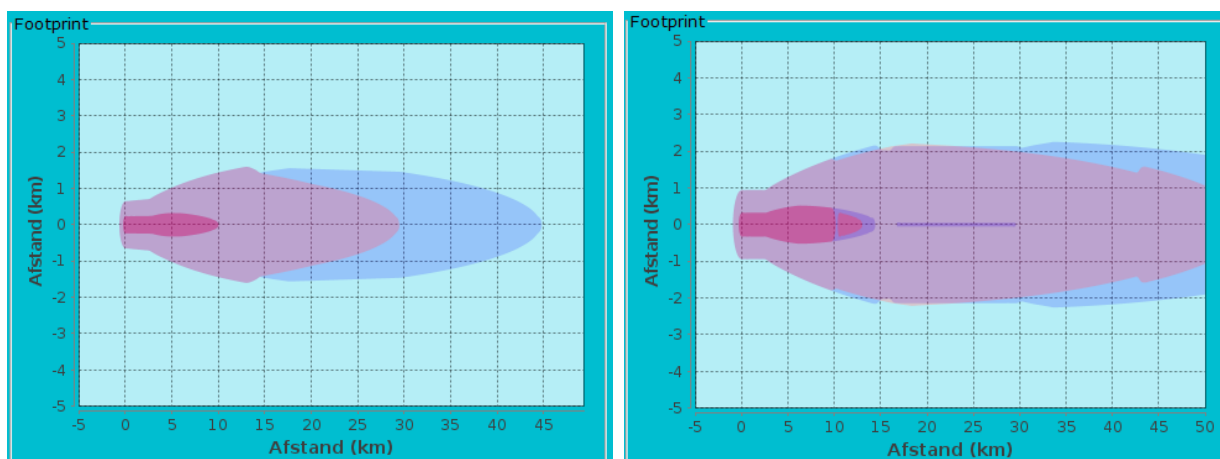
Een analyse van werkelijke vliegbanen op de luchthaven Maastricht (zie Figuur 35) laat zien dat naderende toestellen op verschillende hoogtes segmenten vliegen met een constante hoogte, waarbij de laagste hoogte ongeveer 2.000 ft boven zeeniveau ligt. Zoals te zien is in de figuur ligt dit segment in verreweg de meeste gevallen echter op grotere hoogte, waardoor het vliegen van een CDO pas op grotere afstand een effect heeft.



Figuur 35: Hoogteprofielen van nadering op MAA

3.2.8.1 Effect op geluid

Door het hoger aanvliegen en gereduceerd motorvermogen zijn de geluidniveaus lager (Commissie MER, 2016). Voor de Boeing 737-800 is het geluidniveau bij een CDO onder het passerende vliegtuig tot maximaal 14 dB(A) lager dan bij een nadering met een horizontaal segment op een hoogte van 2.000 ft. Links en rechts van de vliegbaan worden kleinere afnames berekend. De grootste afnames worden bereikt op 20 tot 25 km voor de luchthaven, al hangt de locatie met de grootste afnames in de praktijk af van de lengte van het horizontale segment (de grootste afname wordt bereikt nabij het punt waar het horizontale segment begint). In Figuur 36 zijn de zogeheten geluid “footprints” weergegeven voor een Boeing 737-800 en B7447-400 voor een 2.000 ft nadering (blauw) en een CDO-nadering (rood). De gekleurde gebieden komen overeen met het gebied waarbinnen het berekende geluidniveau 55 dB(A) of hoger is.



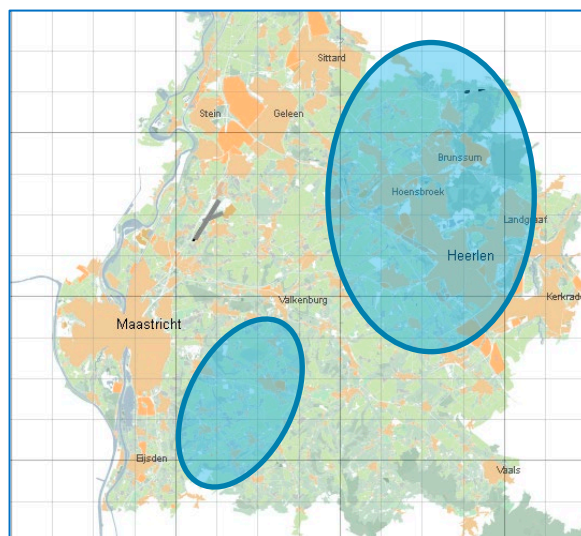
Figuur 36: Geluid "footprints" (55 en 75 dB(A)) - B738-800 (links) en B747-400 (rechts) met een 2.000 ft nadering (blauw) en een CDO nadering (rood)

In (K. White, 2014) wordt bevestigd dat de geluidsniveaus van CDO-naderingen lager zijn dan van een nadering op 2.000 ft (609 meter). Ten aanzien van de beleving wordt opgemerkt dat een CDO-nadering (die passeert op 3.000 ft/914 meter) toch als hinderlijker ervaren kan worden doordat deze langer hoorbaar is.

Figuur 34 laat zien dat het vliegen van CDO procedures pas een effect heeft vanaf een afstand van ongeveer 10 km van het landingspunt indien deze procedure wordt gebruikt als vervanging van een 2.000 ft nadering. Doordat MAA ruim 100 meter boven zeeniveau ligt en doordat de hoogte van 2.000 ft ten opzichte van het zeeniveau (en dus niet ten opzichte van het niveau van de luchthaven) is gemeten, is er voor MAA al dichterbij de luchthaven een effect dan bijvoorbeeld voor Schiphol. Het hoger aanvliegen resulteert in een verschil van maximaal 1.000 ft (ruim 300 meter). Op een locatie recht onder de route zal het geluidsniveau door deze toename in afstand maximaal 3 dB(A) afnemen (zie Figuur 24). Voor naderingen die nu al hoger aanvliegen zal het verschil kleiner zijn en pas vanaf grotere afstand.

Situatie MAA

Voor naderingen die vanuit het zuiden over België naderen wil dit zeggen dat er geen verschil hoorbaar zal zijn boven Nederlands grondgebied. Voor de overige naderingen is in Figuur 37 een indicatie gegeven voor gebieden waar de grootste effecten op kunnen treden. Hierbij gaat het om landingen die vanuit het zuiden over Parkstad Limburg vliegen om vervolgens boven Duits grondgebied een bocht te maken richting de luchthaven. Daarnaast gaat het om naderingen vanuit het noordoosten, naderend over het gebied ten oosten van Maastricht, om vervolgens boven België een bocht te maken richting de luchthaven.



Figuur 37: Indicatie voor gebieden met grootste effecten door het vliegen van CDO-naderingen

3.2.8.2 Effect op emissies

De emissiereductie door invoering van de CDO nadering hangt af van de relatieve besparing t.o.v. de huidige naderingsprocedures en of de CDO nadering de huidige naderingsprocedures compleet vervangt, of dat de naderingsprocedures naast elkaar worden uitgevoerd. Hiervoor is nader specifiek onderzoek nodig voor Maastricht Aachen Airport.

Zoals in paragraaf 3.2.8 aangegeven, volgt het vliegtuig bij de CDO-nadering en bij de 2.000 ft (609 meter) nadering alleen boven de 2.000 ft een verschillend vliegpad. Emissies tot de 3.000ft worden meegenomen in de berekeningen van de luchtkwaliteit, dus het verschil in de naderingen tussen de 2.000 ft en 3.000 ft moet hierbij in acht genomen worden.

De CDO nadering wordt uitgevoerd met (gemiddeld) minder vermogen dan een nadering die ook horizontale gedeeltes bevat. Dat betekent dat de motoren in een CDO nadering minder brandstof verbruiken. Omdat het brandstofverbruik recht evenredig is met de CO₂-uitstoot betekent dit dat er in de CDO nadering minder CO₂ wordt uitgestoten. Er zijn vele studies gedaan naar de CO₂-reductie door uitvoering van een CDO nadering. (Alam, et al., 2010) geeft aan dat de CO₂-reductie ergens tussen de 160 en 470 kg ligt voor een korte tot middellange afstandsvlucht. Tevens is berekend dat met een CDO nadering de NO_x uitstoot met 11.6% kan worden verminderd. Daarmee heeft een CDO nadering een gunstig effect op het klimaat.

3.2.8.3 Effect op veiligheid

CDO's worden al vrij lang gevlogen zonder dat dit tot grote veiligheidsproblemen heeft geleid. Van belang is dat de werkbelasting van de vliegers niet al te veel wordt verhoogd. Sterk variërende windcondities kunnen sneller resulteren in een onstabiele nadering tijdens een CDO. Hedendaagse vliegtuigen beschikken over technologische oplossingen die de vliegers verder helpen om een CDO veilig en gemakkelijk te kunnen vliegen. Dit helpt te voorkomen dat een nadering onstabiel wordt tijdens het vliegen van een CDO.

3.2.8.4 Implementatietermijn

Het onderzoek naar de mogelijkheden voor het vliegen van geluidsarme naderingen, waaronder het vliegen van CDO's, staat al op de agenda bij de Commissie Regionaal Overleg voor MAA.

3.2.8.5 Kosten

De implementatie van CDO naderingen valt onder de reguliere werkzaamheden van de luchtverkeersleiding. Verdere kosten zijn niet voorzien.

3.2.8.6 Sturing op inzetbaarheid

Het vliegen van CDO's kan worden vastgelegd in de noise abatement procedures in het AIP. Onder voorbehoud van beperking opgelegd door verkeersleidingsaspecten, zijn CDO's door alle naderingen uit te voeren.

Gelet op de voordelen van CDO naderingen is het goed om de invoering hiervan op te pakken. De effecten van CDO naderingen zijn meegenomen in het doorgerekende scenario voor 50% reductie van het aantal ernstig gehinderden.

3.2.9 Aangepaste baanlengte en steilere naderingen

Op dit moment wordt op MAA gebruik gemaakt van verschoven baandrempels voor landingen uit beide richtingen. Dit wil zeggen dat vliegtuigen iets voorbij het begin van de baan landen, in plaats van helemaal aan het begin van de baan. De verschuiving van de baandrempel is in beide richtingen 250 meter (LVNL, Luchtverkeersleiding Nederland, n.d.). Daarnaast vindt het laatste deel van de nadering plaats onder een dalhoek van 3° (dit is wereldwijd verreweg de meest gangbare waarde voor de dalhoek van het laatste deel van een nadering).

In het Single European Sky ATM Research project (SESAR) zijn de in de vorige paragraaf genoemde maatregelen onderzocht, waarbij onder andere onderzoek is gedaan naar de effecten van dergelijke maatregelen op de omgeving. Het verschuiven van een baandrempel betekent dat vliegtuigen verder op de baan landen. Ten opzichte van de situatie waarin aan het begin van de baan geland wordt zal het vliegtuig zich op de vliegroute iets hoger bevinden. Dit heeft enerzijds tot gevolg dat de geluidsniveaus onder het vliegtuig buiten het luchthaventerrein iets lager liggen. Daarnaast zal het geluid in een iets breder gebied hoorbaar zijn, doordat het geluid van een vliegtuig op grotere hoogte verder uitstraalt.

Omdat MAA al gebruik maakt van een verschoven baandrempel, gecombineerd met de beschikbare baanlengte en het feit dat ook zware vrachtvliegtuigen gebruik maken van deze baan, is het niet te verwachten dat de baandrempels nog veel verder verschoven kunnen worden, doordat vliegtuigen dan in sommige gevallen te weinig baanlengte hebben om veilig tot stilstand te kunnen komen.

Een alternatieve invulling van deze maatregel is om te werken met verschillende baandrempels voor verschillende vliegtuigtypes (bijvoorbeeld één baandrempel voor zware toestellen, en één baandrempel voor het overige verkeer). Dit concept is onderzocht in SESAR, waaruit enerzijds bleek dat dit concept haalbaar en acceptabel is vanuit veiligheidsperspectief. Anderzijds werd er geconcludeerd dat nog nader onderzoek nodig was om dit concept te implementeren, waardoor de implementatie een langdurig en complex proces zal zijn (SESAR, 2016).

Het effect van een verschuiving van de baandrempel op de vlieghoogte is overigens beperkt. Iedere verschuiving van 100 meter, resulteert in een toename van de vlieghoogte met ongeveer 5 meter. Daarnaast kan de verschuiving ertoe leiden dat vliegtuigen iets later kunnen oplijnen met de baan doordat de vliegroute verlengd wordt.

Naast de verschoven baandrempels wordt momenteel niet de volledige baanlengte van 2.750 meter gebruikt voor startend verkeer, maar maximaal 2.500 meter. Hierdoor moeten vliegtuigen die in zuidelijke richting starten eerder loskomen van de grond en zullen ze zich op grotere hoogte bevinden. In de praktijk kunnen grote vrachtvliegtuigen hierdoor niet met het maximale gewicht vertrekken vanaf MAA. Vliegtuigen die in noordelijke richting starten, vertrekken niet vanaf het meest zuidelijke punt van de baan, maar 250 meter noordelijker. Daardoor zullen vliegtuigen zich na de start net iets lager bevinden dan wanneer ze vanaf het begin van de baan zouden starten.

Steilere naderingen

Het verhogen van de daalhoek heeft als gevolg dat vliegtuigen gedurende het laatste deel van de landing steiler richting de baan vliegen. Een voorbeeld van een luchthaven waar dit toegepast moet worden is London City, waar een daalhoek van 5.5° gehanteerd wordt (NATS, 2020). Op dit vliegveld mag echter alleen geland worden met vliegtuigen die gecertificeerd zijn om te landen met deze daalhoek en mede daarom landen er alleen relatief kleine verkeersvliegtuigen, dus zeker geen zware vrachtvliegtuigen zoals op MAA. In het SESAR onderzoek wordt aangegeven dat een daalhoek tot 3.5° sowieso mogelijk is; dit kan routinematig worden gevlogen. Bij grotere daalhoeken (tussen 3.5° en 4.5°) zou de werkbelasting wat kunnen verhogen en kunnen staartwind condities moeilijkheden opleveren. Daarbij komt dat de vraag is of alle vliegtuigen die op MAA vliegen geschikt zijn voor dergelijke naderingshoeken.

Een alternatief is om gebruik te maken van een concept met twee daalhoeken, ook wel 'dual slope' of 'two segment' genoemd. Hierbij wordt eerst onder een steilere daalhoek (bijvoorbeeld 4.5°) en vervolgens onder de gebruikelijke 3° genaderd. Dit is echter een complex concept, waarvan in het SESAR onderzoek wordt aangegeven dat het nog niet voldoende volwassen is voor implementatie. Daarnaast is het onduidelijk in hoeverre het voordelen voor de omgeving oplevert. Daarom wordt deze optie als niet realistisch beschouwd.

3.2.9.1 Effect op geluid

Bij een verschuiving van de baandrempel kan globaal worden aangenomen dat ook de bijdragen van landingen aan de geluidbelasting met dezelfde afstand verschuiven als de baandrempel. Omdat verwacht wordt dat geen grote (extra) baandrempelverschuiving mogelijk is op MAA, zal deze maatregel een klein effect hebben op de geproduceerde geluidniveaus: in ieder geval aanzienlijk minder dan 1 dB(A) en daarnaast neemt het effect snel af naarmate een vliegtuig zich verder van het vliegveld bevindt doordat het hoogteverschil dan relatief kleiner wordt ten opzichte van de absolute vlieghoogte. Het werken met meerdere baandrempels kan een iets grotere verschuiving geven, waarbij wel geldt dat de extra baandrempelverschuiving dan niet geldt voor de zwaarste (en meest luidruchtige) vliegtuigen.

Het inkorten van de maximale baanlengte voor starts resulteert in een grotere vlieghoogte voor starts in zuidelijke richting, wat leidt tot lagere geluidniveaus recht onder de vliegroute, terwijl opzij van de vliegroute mogelijk iets hogere geluidniveaus voor kunnen komen doordat het geluid in een breder gebied onder het vliegtuig neerkomt. Doordat zwaardere toestellen niet alleen later loskomen van de baan, maar ook langzamer klimmen, zal dit effect langzaam toenemen naarmate het toestel zich verder van het vliegveld begeeft. Voor starts in noordelijke richting geldt dat ze de meest zuidelijke 250 meter van de baan niet gebruiken, hetgeen ertoe leidt dat vliegtuigen later loskomen met hogere geluidniveaus onder het vliegtuig en mogelijk iets lagere niveaus verder van de route tot gevolg. Met name in het zuidelijke deel van Schietecoven kunnen de geluidniveaus iets lager blijven doordat verkeer dat in noordelijke richting start minder dicht bij dit deel van Schietecoven komt.

Aangezien in de praktijk slechts een beperkt deel van de vrachtvliegtuigen gebruik zal maken van de extra baanlengte en omdat deze vliegtuigen doorgaans niet de volledige extra 250 meter zullen benutten, is de verwachting dat het beperken van de startlengte slechts een zeer kleine invloed heeft op de totale geluidbelasting ten gevolge van alle vliegverkeer en op het aantal ernstig gehinderden.

Evenals bij de verschoven baandrempel, geldt dat de hogere vlieghoogte resulteert in minder geluid onder het vliegp pad en mogelijk een iets groter gebied waar geluid hoorbaar is naast het vliegp pad. Het verhogen van de baanhoek van 3° naar 3,5° heeft een beperkt effect op de vlieghoogte gedurende de eindnadering. Op een afstand van 10 km van de landingsbaan zou deze aanpassing bijvoorbeeld resulteren in een hoogteverschil van een kleine 90 meter.

Het verhogen van de daalhoek zal naar verwachting een klein effect hebben op de geluidbelasting doordat in het beste geval slechts een verhoging van maximaal 0,5° mogelijk is.

3.2.9.2 Effect op emissies

In het SESAR onderzoekskader is er onder andere ook onderzoek gedaan naar het effect van het verleggen van de baandrempe l op CO₂-uitstoot en brandstofverbruik. Hieruit bleek dat er geen significante afname is in CO₂-uitstoot en brandstofverbruik bij het verleggen van de baandrempe l, behalve voor naderingen met een naderingshoek groter dan 3,5°. Echter, zoals eerder aangegeven, beschikken de type vliegtuigen die op Maastricht Aachen Airport vliegen niet over het certificaat voor steep approaches, dus zal dit buiten beschouwing blijven. Het uitvoeren van de naderingen met verschoven baandrempe l en hogere naderingshoek zal geen significante gevolgen hebben.

Voor de bepaling van de lokale luchtkwaliteit, worden NO_x- en UFP-emissies meegerekend die tot 3.000 ft (914 meter) worden uitgestoten. De maximale verschuiving van de baandrempe l is 250 meter vanuit beide richtingen, de vlieghoogte zal hierdoor met maximaal 12,5 meter toenemen. Dit verschil in vlieghoogte heeft een zeer beperkt effect op de emissies binnen het LAQ gebied. Het verschuiven van de baandrempe l heeft in dit opzicht dus geen invloed op de lokale luchtkwaliteit.

3.2.9.3 Effect op veiligheid

Een verschoven baandrempe l introduceert geen extra risico's voor de landing aangezien de vliegoperatie zelf niet anders wordt dan voor een baandrempe l die ligt bij het fysieke begin van de landingsbaan.

Met betrekking tot het toepassen van verschillende landingspunten wordt in het eerder in deze paragraaf beschreven onderzoek vanuit het SESAR project geconcludeerd dat het een haalbaar en acceptabel concept betreft vanuit veiligheidsperspectief.

Steilere naderingen

Steilere naderingen tot 3,5° vereisen wel een iets hogere daalsnelheid van het vliegtuig om op het glijpad te blijven. Echter dit verhoogt niet de kans op een onstabiele nadering aangezien het nog steeds mogelijk is om met een normale ILS de nadering uit te voeren waardoor er een nauwkeurige verticale begeleiding is van het vliegtuig. In principe kan elk vliegtuig tot 4,5° glijpad landen en tot 3,5° kan het routinematig worden gevlogen. Naderingen tussen de 3,5- en 4,5 graden zou de werkbelasting wat kunnen verhogen en moeilijkheden kunnen geven bij staartwind condities. Dit verschilt per vliegtuigtype. Naderingen van meer dan 4,5° vereisen een speciale certificatie van het vliegtuig en training van de bemanning. Veruit de meeste vliegtuigen die vliegen op Maastricht Aachen Airport zijn hiervoor niet gecertificeerd.

3.2.9.4 Implementatietermijn

Het verschuiven van de baandrempel lijkt onwenselijk. Het invoeren van verschillende baandrempels voor verschillende vliegtuigtypes is zeer experimenteel en de implementatie hiervan zal daarom veel tijd vergen.

Het gebruik van een baanlengte van 2.750 meter in plaats van 2.500 meter kan desgewenst na goedkeuring door de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) en afstemming met omwonenden, luchtverkeersleiding, de luchthaven en luchtvaartmaatschappijen op korte termijn worden geïmplementeerd.

Het implementeren van steilere naderingen zal ook een aanzienlijke implementatietijd vergen van meer dan een jaar omdat dit aanzienlijke gevolgen heeft voor vliegprocedures, navigatieapparatuur op de grond, luchtverkeersleiding en luchtvaartmaatschappijen.

3.2.9.5 Kosten

Het verschuiven van de baandrempel is onwenselijk. Het invoeren van verschillende baandrempels voor verschillende vliegtuigtypes is zeer experimenteel en zal derhalve veel onderzoek vergen, waarmee ook hoge kosten gemoeid zijn. Ook is onzeker hoe hoog de kosten zijn aan de infrastructuur om deze optie mogelijk te maken.

Het gebruik van een baanlengte van 2.750 meter in plaats van 2.500 meter zal tot beperkte extra kosten leiden, mede omdat in het verleden reeds met deze baanlengte gewerkt is.

De kosten voor het implementeren van steilere naderingen zullen hoog zijn, doordat dit een complex proces is.

3.2.9.6 Sturing

Deze maatregelen dienen in samenspraak met luchtverkeersleiding, de luchthaven en de luchtvaartmaatschappijen verder worden uitgewerkt. Belemmeringen hierbij kunnen zijn dat het toepassen van deze maatregelen mogelijk niet in lijn is met aanbevelingen van vliegtuigfabrikanten en dat voor een deel van de maatregelen nog veel onderzoek nodig is naar de haalbaarheid. Daarnaast kan ook het gewicht van het vliegtuig meespelen; de zware vrachtvliegtuigen hebben meer baanlengte nodig waardoor een verschoven baandrempel of steilere landing niet mogelijk is.

3.2.10 Lage weerstand nadering

Wanneer een vliegtuig een nadering inzet en snelheid gaat minderen zullen op een gegeven moment de kleppen worden uitgeslagen. Ook het landingsgestel zal kort voor landing uitgeklapt worden. Dit zorgt er voor dat de weerstand van het vliegtuig wordt verhoogd waardoor met hogere thrust settings moet worden gevlogen. Dit resulteert in een toename in geluid en emissies van zowel de motoren als de extra wervels die vrijkomen bij uitgeslagen kleppen en landingsgestel.

Om dit te voorkomen wordt zo lang mogelijk met een zogeheten 'clean airframe' gevlogen. Hierdoor kan gevlogen worden met een lagere stuwkracht en/of hogere snelheid, met daardoor minder geluid en emissies als gevolg. Twee mogelijkheden tijdens de landing hiervoor zijn:

1. Landingen met minder ver uitgeslagen vleugelkleppen.
2. Het landingsgestel zo laat mogelijk naar beneden laten komen tijdens de landing.

Indien tijdens de nadering de vleugelkleppen minder ver worden uitgeschoven, neemt de weerstand af en is minder stuwkracht nodig. Daarmee wordt brandstof bespaard en minder geluid geproduceerd door zowel het verminderde motorvermogen, de hogere snelheid (waardoor het geluid korter hoorbaar is) en door vermindering van het geluid veroorzaakt door de vliegtuigconstructie zelf (minder uitstekende delen). Indien vliegtuigen hun landingsgestel later uitklappen, zal dit ertoe leiden dat het moment waarop de geluidproductie toeneemt ook later plaatsvindt.

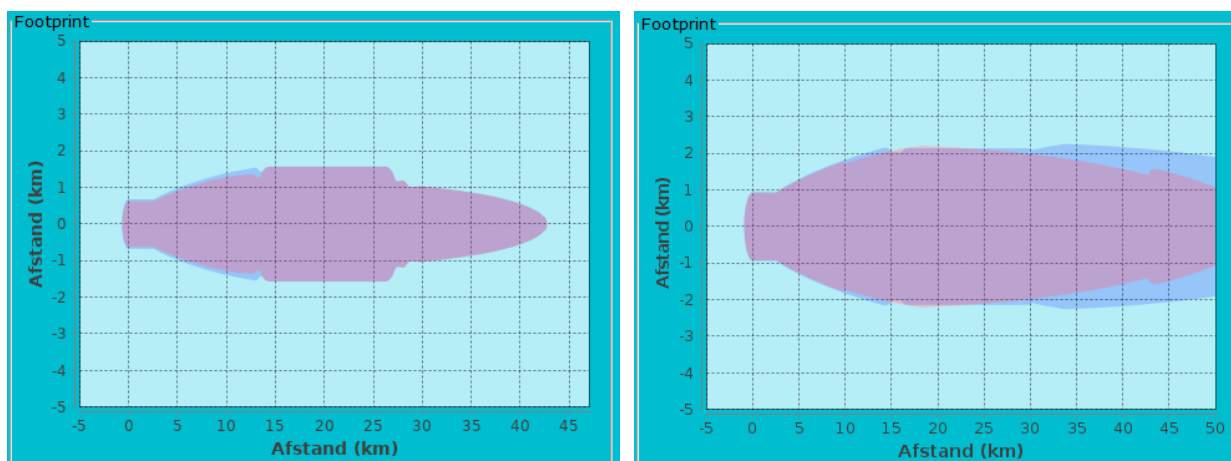
Voor de situatie op Schiphol wordt er van uitgegaan dat bij bijna alle naderingen het gebruik van gereduceerde klepuitlagen (reduced flaps) wordt toegepast. Dit uitgangspunt is gebaseerd op informatie van maatschappijen en volgt uit de handboeken.

Situatie MAA

Voor MAA is niet bekend op welk punt vliegtuigen gemiddeld hun landingsgestel laten zakken en zijn geen specifieke naderingsprocedures vastgelegd. Niet bekend is of, en hoe vaak, van gereduceerde klepuitlagen gebruik gemaakt wordt. De procedure heeft tot gevolg dat de minimale naderingssnelheid en dus ook de landingssnelheid van een vliegtuig toeneemt. Daardoor zal een vliegtuig meer baanlengte nodig hebben om tot stilstand te komen. In het geval van zware vrachtvliegtuigen is de baanlengte van MAA doorgaans niet afdoende om te kunnen landen met lagere klepuitlagen. Ook voor kleinere toestellen kan de baanlengte onder bepaalde omstandigheden (zoals bij rugwind of te weinig tegenwind) onvoldoende zijn. Dit kan vaker voorkomen als ten gevolge van preferentieel baangebruik (zie paragraaf 3.2.6) vaker geland wordt met rugwind. Het later laten zakken van het landingsgestel kan wel voor alle vliegtuigtypes en onder alle omstandigheden toegepast worden.

3.2.10.1 Effect op geluid

De geluidniveaus voor naderingen met een lagere klepuitlag laten onder de vliegbaan een afname zien van maximaal 2 dB(A). In Figuur 38 zijn de zogeheten geluid “footprints” weergegeven voor een nadering met een horizontaal segment op 2.000 ft hoogte, uitgevoerd met een Boeing 737-800 met full flaps (blauw) en met reduced flaps (rood). De gekleurde gebieden komen overeen met het gebied waarbinnen het berekende geluidniveau 55 dB(A) of hoger is.



Figuur 38: “footprints” (55 dB(A)) - Boeing 737-800 en B747-400 2.000 ft nadering met full flaps (blauw) en reduced flaps (rood)

Uit een inventarisatie onder de vliegmaatschappijen zou moeten blijken of op dit punt nog mogelijkheden zijn voor hinderbeperking. In principe kunnen alle passagiersvliegtuigen met reduced flaps naderen; voor vrachtvliegtuigen wordt er van uitgegaan dat die niet met reduced flaps zullen naderen.

Referentie (CAA, 2017) geeft aan dat het uitklappen van het landingsgestel resulteert in een toename van het geluidniveau tot 5 dB. Hierbij is aangegeven dat het landingsgestel normaal gesproken uiterlijk op ongeveer 9 km van de baan uitgekapt dient te zijn. In de praktijk bleek bij de Londense vliegvelden Heathrow en Gatwick dat er een grote variatie was in het moment waarop het landingsgestel uitging, waarbij dit in een deel van de gevallen al meer dan 5 km eerder dan noodzakelijk gebeurde.

Voor MAA is niet bekend op welk punt vliegtuigen gemiddeld hun landingsgestel laten zakken. Dit zal eerst onderzocht dienen te worden om inzicht te krijgen in het gebied waar een geluidreductie behaald kan worden en in de omvang van dit gebied. Op basis van bovengenoemde Engelse studie is de verwachting dat dit vooral speelt in het gebied tussen de 9 en 14 km van de baan, waarbij de potentiële geluidreductie afneemt naarmate de afstand tot het vliegveld toeneemt.

Een kanttekening die moet worden geplaatst: zowel het toepassen van een verdere verschuiving van de baandrempel, als het naderen met een reduced flap procedures kan ertoe leiden dat vaker gekozen wordt voor het gebruik van straalomkeerders (zie paragraaf 3.1.1). Dit komt respectievelijk door de kortere beschikbare baanlengte en de hogere landingssnelheid.

3.2.10.2 Effect op emissies

Voor de typen vliegtuigen die op Maastricht Aachen Airport vliegen is besparing in het bereik van 8-45kg brandstof mogelijk (Roberson & Johns, 2010). Dit komt doordat voor de uitvoering van een reduced flaps nadering minder stuwkracht benodigd is dan voor een standaard nadering, waardoor het brandstofverbruik van de motor ook lager is. Voor een representatief charter vliegtuigtype als de Boeing 737-800 op Maastricht Aachen Airport bespaart dit 8 kg per nadering wanneer de flaps op 30° geconfigureerd zijn, en is er een winst van 16 kg voor een flaps configuratie van 40°. Voor een representatief vrachtlucht vliegtuigtype als de Boeing 777-200 is de winst voor deze flaps configuraties respectievelijk 27 kg en 45 kg. Dit komt overeen met een reductie van 25 kg CO₂ (voor een besparing van 8 kg brandstof) tot 140 kg CO₂ (voor een besparing van 45 kg brandstof). Reduced flaps naderingen hebben daarmee een beperkt positief effect op het klimaat.

Bij het later uitklappen van het landingsgestel wordt er ook brandstof bespaard, doordat voor een langer deel van de landing minder weerstand wordt veroorzaakt door het landingsgestel. Echter, wanneer het landingsgestel op een later moment wordt uitgekapt, zal op dat moment ook een hoger motorvermogen benodigd zijn, wat zorgt voor een hogere NO_x uitstoot dichtbij de grond. In hoeverre dit effect heeft op de totale NO_x uitstoot tijdens de landing ten opzichte van het tijdig uitklappen van het landingsgestel, behoeft verder onderzoek.

3.2.10.3 Effect op veiligheid

In deze procedure wordt de selectie van de flapstand voor de landing zolang mogelijk uitgesteld tot de hoogte waarop de nadering stabiel moet zijn (in IMC condities is dat op 1000 ft AFE). Soms wordt ook het uitklappen van het landingsgestel vertraagd hoewel dat niet altijd standaard is.

Een risico van deze procedure is dat het vliegtuig niet tijdig de juiste flapstand heeft voor de landing of dat het landingsgestel nog niet uit is bij de voorgeschreven hoogte. Ook kan de snelheid te hoog zijn. Wanneer de nadering niet stabiel is, moet een vlieger altijd een doorstart maken. Dit gebeurt echter niet altijd. Doorzetten van de nadering kan dan leiden tot bijvoorbeeld harde landingen.

De kans dat de nadering onstabiel is door het uitstellen van de selectie van de definitieve flapstand of het laat uitklappen van het landingsgestel wordt groter wanneer de atmosferische condities ongunstig zijn (veel hoogtewindveranderingen en of turbulentie). In een rustige atmosfeer is de kans vrij klein dat de nadering onstabiel wordt door de vertraging in flap selectie of het later uitklappen van het landingsgestel.

3.2.10.4 Implementatietermijn

Deze maatregel kan na afstemming met luchtverkeersleiding, de luchthaven en luchtvaartmaatschappijen op de korte termijn worden geïmplementeerd.

3.2.10.5 Kosten

In eerste instantie zullen beperkte kosten gemaakt moeten worden om de huidige situatie nader te inventariseren, bijvoorbeeld met betrekking tot het moment waarop het landingsgestel wordt uitgekapt. Indien potentiële verbeteringen gesignaleerd worden zijn beperkte kosten nodig om voorschriften en procedures aan te passen en voor communicatie met luchtvaartmaatschappijen.

3.2.10.6 Sturing

Deze maatregelen dienen in samenspraak met luchtverkeersleiding, de luchthaven en de luchtvaartmaatschappijen verder te worden uitgewerkt. Een belemmering hierin kan zijn dat bepaalde vliegtuigfabrikanten niet onder alle condities het toepassen van lagere klepuitslagen aanbevelen. Hierdoor is deze maatregel niet onder alle omstandigheden en voor alle vliegtuigtypes bruikbaar. Daarbij speelt ook het gewicht van het vliegtuig mee. Zware vrachtvliegtuigen hebben meer baanlengte nodig om een reduced flap landing goed uit te kunnen voeren. Om desgewenst te zorgen dat het landingsgestel later wordt uitgekapt zal met luchtvaartmaatschappijen gecommuniceerd moeten worden zodat gezorgd wordt dat piloten deze maatregel gaan uitvoeren.

3.2.11 AMAN/DMAN

Arrival Management (AMAN) en Departure Management (DMAN) zijn planningsprocessen die respectievelijk voor aankomend en vertrekkend verkeer gebruikt worden.

Een goed AMAN-proces zorgt ervoor dat vliegtuigen op een efficiënte manier in een “treintje” worden geplaatst voor de landing. Er wordt dan gezorgd voor voldoende afstand tussen de vliegtuigen zodat er een efficiënte stroom verkeer naar de landingsbaan ontstaat. Dit proces is dus vooral van belang indien er meerdere vliegtuigen in een korte periode moeten landen. Het meeste geavanceerde type AMAN is cross-border AMAN (XMAN). In dat geval begint het bijsturen van de vliegtuigen al in andere (buitenlandse) sectoren. Verder kan een AMAN niet alleen een potentieel probleem identificeren maar ook een oplossing aan de verkeersleider voorstellen.

Een verbeterde planning heeft de potentie te leiden tot minder vlucht vertraging en een efficiëntere vluchttuitvoering. Hoe groter het aantal vliegtuigbewegingen hoe meer vertraging kan worden voorkomen. Doordat het totale aantal vliegbewegingen op MAA beperkt is, zal AMAN ook slechts een beperkt effect hebben.

Het DMAN-proces plant vertrekkende vliegtuigen. Door dit proces goed in te richten kan een optimale tijd bepaald worden waarop vliegtuigen moeten beginnen met taxiën richting de startbaan. Dit kan voorkomen dat meerdere

vliegtuigen tegelijk bij de startbaan aankomen en dat dan gewacht zal moeten worden. Ook hier geldt dat dit op MAA niet of slechts heel beperkt speelt gezien de beperkte hoeveelheid verkeer.

Een meer geavanceerde vorm van DMAN kan zorgen voor afstemming van vertrekkend verkeer met verkeer van andere vliegvelden. Dit is vooral van belang bij vertrekroutes die een interactie hebben met routes van andere vliegvelden zoals Geilenkirchen en Luik. In dat geval kan door een goede afstemming voorkomen worden dat de verkeersleider tactisch moet ingrijpen om een conflict te voorkomen. Dit kan leiden tot meer efficiënte vliegpaden waarbij minder risico bestaat dat dichter bewoond gebied overvlogen wordt en waardoor minder om gevlogen hoeft te worden.

3.2.11.1 Effect op geluid

Daar waar AMAN- en DMAN-interactie met verkeer van Geilenkirchen en Luik kan voorkomen, kan het gebruik van dergelijke systemen ervoor zorgen dat altijd de gewenste routes gevolgd kunnen worden, wat kan leiden tot minder geluidhinder. Gezien de relatief beperkte hoeveelheid verkeer op MAA is de verwachting dat dit effect beperkt zal zijn. Echter heeft de beperkte hoeveelheid verkeer wel als voordeel dat de planning van de vlucht gemakkelijker is aan te passen ten gevolge van ruimere planningsmarges.

Tenslotte kan door een geavanceerde vorm van DMAN gezorgd worden dat vertrekroutes bijvoorbeeld vaker gebruik kunnen maken van een continu klimprofiel (CCO). De verwachting is dat dit een zeer beperkt positief effect op geluid kan hebben. Vergelijkbaar kan het gebruik van AMAN helpen bij het zoveel mogelijk vliegen van CDO naderingsprocedures (zie paragraaf 3.2.8 voor meer informatie over CDO naderingen).

3.2.11.2 Effect op emissies

Door verschillende naderingen beter op elkaar af te stemmen worden naderingen efficiënter afgehandeld en zullen deze minder emissies uitstoten in de lucht. Door vertrekkend verkeer efficiënter te plannen, zal het taxiën efficiënter verlopen en zal er minder onnodig opgelijnd en gewacht moeten worden op de taxibanen voor de startbaan. Gezien de geringe hoeveelheid vertrekkend verkeer vanaf MAA zal het effect voor dit verkeer beperkt zijn. Deze efficiëntere vliegoperaties zullen de emissies op de grond en op hoogte worden beperkt. Dit komt de luchtkwaliteit en het klimaat ten goede. Echter, doordat het totale aantal vliegbewegingen op MAA beperkt is, zal de implementatie van AMAN en DMAN voor een geringe afname in uitstoot zorgen.

3.2.11.3 Effect op veiligheid

De luchtverkeersleiding is verantwoordelijk voor het handhaven van de minimale onderlinge separatie tussenvliegtuigen die zich in het verkeersleidingsgebied bevinden. Gebruik van AMAN of DMAN verandert deze rol niet. Voordat een AMAN of DMAN systeem kan worden ingevoerd zal de gebruiker een gedetailleerde safety case moeten maken. Dit proces waarborgt de veilige introductie en gebruik.

3.2.11.4 Implementatietermijn

Deze maatregel zou gezamenlijk moeten worden opgepakt door MAA, de vliegbasis Geilenkirchen en de luchthaven van Luik en hun luchtverkeersleiding. Het gaat hierbij dus om drie luchthavens uit drie verschillende landen, waarvan een militaire basis. Om die reden, en omdat het om een technisch complex systeem gaat dat meerdere verkeersstromen op elkaar moet afstemmen zal implementatie de nodige tijd nodig hebben en kan een dergelijk systeem op de middellange termijn kunnen worden geïmplementeerd.

3.2.11.5 Kosten

Zoals in de voorgaande paragraaf beschreven is sprake van een complexe situatie met vliegvelden uit drie landen waarvan een militaire basis, waardoor veel tijd en dus ook geld nodig zal zijn om afspraken te maken en om het systeem te implementeren. Daar komt bij dat het opzetten van een dergelijk systeem ook technisch complex is waardoor ook de ontwikkeling van het systeem hoge kosten met zich meebrengt. De daadwerkelijke kosten van een dergelijk systeem zijn niet goed in te schatten, omdat dit van vele factoren afhangt. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om hoe eenvoudig de systemen die de luchtverkeersleiding op de betreffende velden hanteren op elkaar kunnen worden afgestemd en om de vraag of deze velden nu al gegevens zoals vluchtplannen geautomatiseerd delen met andere partijen zoals de Europese luchtverkeersleidingsorganisatie EUROCONTROL.

Door het grote aantal betrokkenen zal ook het nodige overleg nodig zijn om te bepalen wie voor welk deel van de kosten verantwoordelijk is.

3.2.11.6 Sturing

Introductie van genoemde planningsprocessen is een taak voor de Luchtverkeersleiding. Hierbij zal uitgebreid contact met de vliegvelden van Luik en Geilenkirchen noodzakelijk zijn om de implementatie van deze maatregel mogelijk te maken.

3.2.12 Conclusies operationele maatregelen

De maatregelen die in voorgaande sectie zijn geïnventariseerd, hebben voornamelijk betrekking op het vliegen van routes en procedures voor starts en landingen. Het gros van deze maatregelen heeft op regionaal niveau effect, waarbij de effecten voor de locaties dicht bij de luchthaven beperkt zijn en verder weg van de luchthaven groter worden.

De meest kansrijke maatregelen lijken te bestaan uit routeoptimalisaties en het creëren van rustperiodes door alternerend baan- en routegebruik. Hierbij kunnen de vrijheden in toekenning van de baanrichting worden benut voor het maken van duidelijke afspraken over de baanpreferentie. Ook het minder vliegen in specifieke periodes kan aanzienlijk bijdragen in de hinderreductie.

Daarnaast zijn voor landingen de CDO procedure en lage weerstand nadering mogelijke maatregelen om door te voeren, voor zowel geluid- als emissiereductie. Een kanttekening die hierbij moet worden geplaatst is dat dit niet altijd voor alle typen vliegtuigen mogelijk is; dat hangt niet alleen af van het type vliegtuig, maar ook bijvoorbeeld van het actuele gewicht van het vliegtuig. Voor startprocedures kan onderzocht worden welke procedure voor de omgeving van MAA resulteert in de minste hinder en/of tot het ontzien van specifieke gebieden. Daarbij dient bijvoorbeeld rekening gehouden te worden met de ligging van woonkernen rondom de luchthaven en de vloot zoals die op MAA vliegt. Voor een deel van deze maatregelen moeten onder andere de luchtverkeersleiding en luchtvaartmaatschappijen worden betrokken. De implementatiekosten voor deze maatregelen worden relatief laag geschat.

Voor minder vliegen in specifieke periodes, baanpreferentie, CDO en lage weerstand nadering is te verwachten dat het effect hiervan ook wordt teruggezien in het 50% reductie scenario. De maatregel die zich richt op rustperiodes

door alternerend routegebruik zal niet zichtbaar zijn in jaargemiddelde berekeningen, maar wel degelijk lokaal de hinder kunnen verminderen.

3.3 Maatregelen in de omgeving

Deze paragraaf gaat in op maatregelen die zouden kunnen worden toegepast in de omgeving rondom de luchthaven. Het gaat dan om fysieke aanpassingen in het landschap, of de plaatsing van gebouwen of obstakels, met als doel om de propagatie van geluid te beïnvloeden en daarmee hinder te reduceren. Hierbij valt te denken aan geluidsoverlast door APU-gebruik, proefdraaien, taxiën en startende vliegtuigen. Met name in Schietecoven en Ulestraten wordt hierdoor hinder ervaren.

De volgende maatregelen worden behandeld:

- Barrières;
- Beplanting (olifantsgras) en bodemgebruik;
- Oriëntatie en vorm van gebouwen en stille zijden;
- Gevelmaterialisatie, 'groene' muren, geluidwerende ramen;
- Geluidsabsorberende voorzieningen binnenshuis
- Zichtbaar groen en maskerende geluiden

3.3.1 Barrières

Het aanbrengen van (geluidswerende of geluidsabsorberende) barrières is een manier om het effect van startende, landende of taxiënde vliegtuigen te reduceren. Dit kan bestaan uit een brede (schanskorf)muur, gebouw, heuvel of andere vorm van een verhoging die wordt aangelegd achter de startpositie van een vliegtuig. De eigenschap van de barrière is dat die geluid absorbeert, verstrooit of terugkaatst richting de geluidsbron. Om ook de lage tonen (bas) te kunnen dempen zullen bredere en massieve structuren gewenst zijn. Door slimme ruimtelijke planning en ontwerp wordt een barrière geïntegreerd in gebouwen of gebruiksfuncties, bijvoorbeeld een gebouw dat puur functioneel wordt gebouwd zoals een serverruimte of opslagruimte. Een barrière kan ook vlakbij de ontvanger worden geplaatst, maar dan zal de barrière hoger moeten zijn om effect te kunnen hebben.

Voor de situatie van MAA kunnen barrières helpen om de geluidverspreiding van bijvoorbeeld APU's te reduceren. Zo wordt het D platform gebruikt voor de afhandeling van vrachtvliegtuigen. Achter dit platform ligt een aantal bedrijfsgebouwen en woonwijken. Vanuit de omwonenden is naar voren gekomen dat het geluid van de APU voor hinder zorgt. De APU wordt vooral langer dan gebruikelijk gebruikt voor het koelen van vracht. Momenteel is MAA bezig met het installeren van walstroom. Dit zou het APU-gebruik ook moeten terugdringen. Ook een geluidwerende wand zou hier een oplossing kunnen zijn.

Bij de baankop ligt het dorpje Schietecoven. Hier wordt hinder ervaren door taxiënde, draaiende en startende vliegtuigen. De huizen zijn goed geïsoleerd, echter ervaren bewoners in de zomer overlast wanneer men zich in de tuin bevindt. Hiervoor zou een tactisch geplaatste barrière een geluidluwe zone kunnen worden gecreëerd in de tuin van de desbetreffende huizen.

3.3.1.1 Effect op geluid

Het effect hangt sterk af van de vorm van de barrière. Wanneer een barrière als een landschapsingreep wordt aangelegd, zoals bij de Polderbaan op de luchthaven Schiphol, is er effect over een afstand van 2 kilometer ongeveer 10 dB in het beste geval (uitgaande van de lage tonen in het geluid). Wanneer een hoge barrière dicht bij de startbaan wordt aangelegd is de schatting dat een reductie kan worden behaald van meer dan 10 dB van de lage tonen in het geluid (TNO, 2014) (Bosschaart, 2012)

De mate waarin slaapverstoring wordt verminderd hangt af van de locatie van de woning ten opzichte van de barrière en de uiteindelijk gekozen vorm van de barrière. Bepaalde materiaalsoorten kunnen extra geluiddempend werken. Wanneer op de juiste manier toegepast, dragen barrières bij aan het verminderen van het aantal slaapverstoorden.

3.3.1.2 Effect op emissies

Afhankelijk van de locatie, hoogte, vorm en materiaalgebruik in de barrière kan de verspreiding van uitlaatgassen en de mate waarin het neerslaat worden beïnvloed. De concentraties kunnen toenemen ter plaatse van de barrière en verderop afnemen. Voor omwonenden zal dit meestal leiden tot een verbetering van de luchtkwaliteit wanneer de barrière hun woning scheidt van de baan.

Een lokale toename van NO_x en UFP concentraties kan invloed hebben op de luchtkwaliteit in de directe omgeving binnen de barrières. Stikstofdepositie kan in de directe omgeving van de luchthaven toenemen, wanneer er ook sprake is van ophoping van NO_x emissies.

De barrières hebben geen invloed op het brandstofverbruik en de CO₂-uitstoot, dus er zal geen effect zijn op het klimaat.

3.3.1.3 Effect op veiligheid

Het effect op de veiligheid van het plaatsen van barrières hangt mede af van de locatie t.o.v. de baan en de hoogte van de constructie. Ook de constructie van de barrière zelf kan een rol spelen. In de strip (gebied direct om de baan heen) mogen geen hoge constructies staan behalve die nodig zijn voor de vliegveiligheid. Het plaatsen van een barrière in dit gebied is daarom normaal niet mogelijk. Vlak buiten de strip zijn er ook beperkingen aan de hoogte van een barrière zoals voorgeschreven door standaard hoogtevlakken opgegeven door ICAO en EASA. Wanneer de barrière boven deze vlakken uitsteekt zal er een speciale studie moeten worden uitgevoerd om te bepalen of dit de vliegveiligheid nadelig beïnvloed. Als dat het geval is moeten er mitigerende maatregelen worden getroffen. Als dat niet mogelijk is moet de constructie verlaagd worden.

3.3.1.4 Implementatietermijn

De implementatie zal afhangen van de omvang van het project, maar ook de landeigenaren rondom de luchthaven. De minimale aanlooptijd zal ongeveer vijf jaar bedragen, uitgaande van een simpele barrière. Op de korte termijn zal een geluidexpert moeten aanschuiven bij een ontwerpteam voor het voorzien van akoestisch advies (expertise, modellering, tests).

3.3.1.5 Sturing op inzetbaarheid

Zie ook implementatie; om aanpassingen te doen in de omgeving van de luchthaven is de medewerking van de landeigenaren nodig. Daarnaast is er vooronderzoek nodig om tot een ontwerp te komen. Van belang is dat ook de (externe) veiligheid hierin wordt meegenomen.

3.3.1.6 Kosten

Indien een barrière wordt geïntegreerd in een breder ruimtelijk ontwerp zullen kosten waarschijnlijk relatief laag zijn. Wanneer een barrière wordt aangelegd zoals bij de Polderbaan (Buitenschot) zullen de kosten enkele miljoenen euro's bedragen. Advies en uitwerking van varianten zal, afhankelijk van de omvang van de werkzaamheden, grofweg tussen de €50.000 en €100.000 aan advieskosten bedragen.

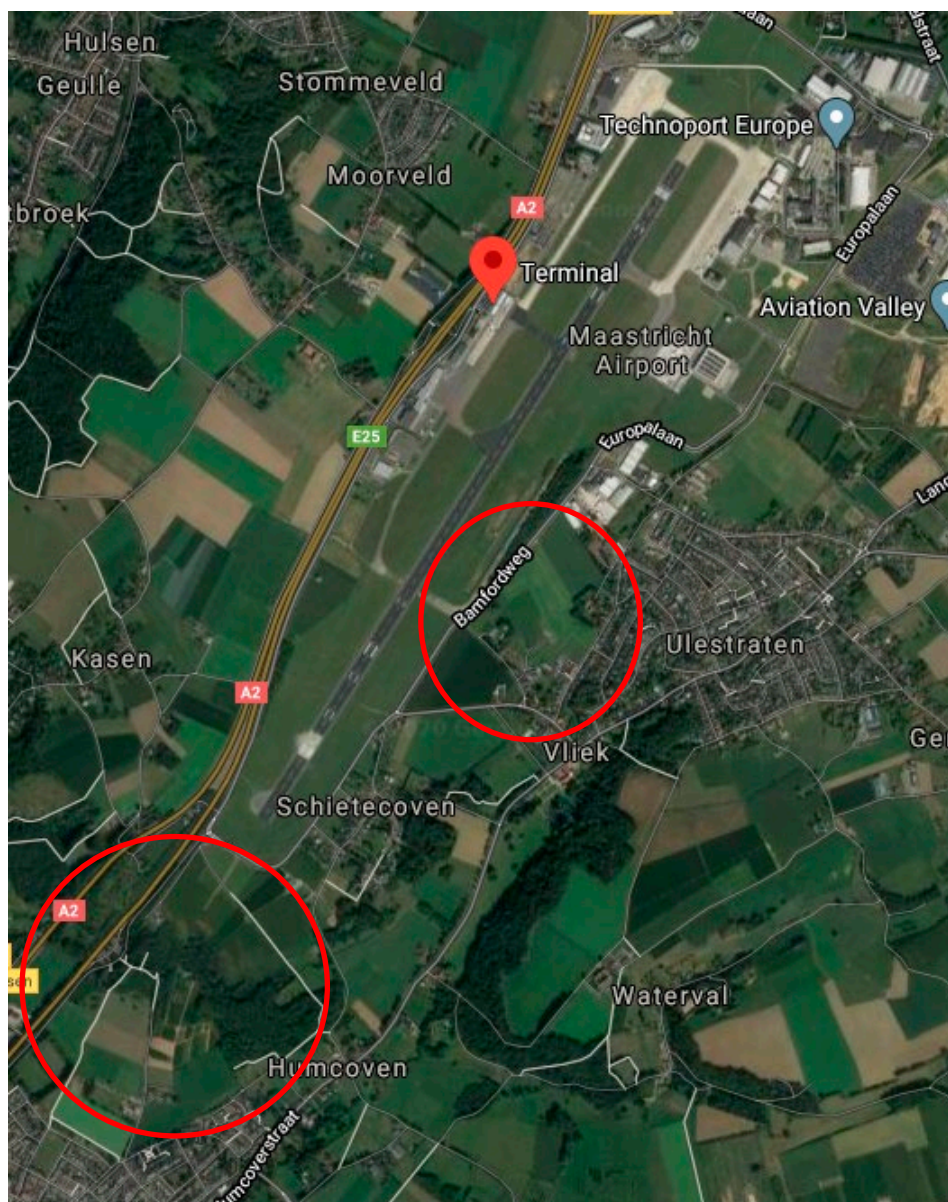
3.3.2 Beplanting (olifantsgras) en bodemgebruik

Het aanbrengen van dichte en hoge gewassen, zoals olifantsgras, of het regelmatig omploegen van de grond tussen de start- en landingsbaan kan de geluidniveaus in achterliggende gebieden verminderen. Zo kent olifantsgras diverse voordelen: het helpt het dempen van geluidsgolven. Daarnaast is olifantsgras onaantrekkelijk voor een bepaald type vogels, waardoor de kans op birdstrike wordt verminderd. Verder is dit rietachtige gewas bruikbaar als strooisel voor in stallen, als kachelbrandstof of (na bewerking) als bouw materiaal, papier, bioplastics of biobrandstoffen. Hierdoor kan het planten van olifantsgras een aantrekkelijke optie zijn voor landeigenaren. Tot slot neemt olifantsgras CO₂ op, waardoor het voordelig is voor het klimaat. Nabij Schiphol zijn tientallen hectares aan olifantsgras geplant.



Figuur 39: Olifantsgras nabij Schiphol. (Bron afbeelding: Vincent Kuypers via (Kuypers, 2014))

Aangezien in Schietecoven en Ulestraten hinder wordt ondervonden van taxiënde en startende vliegtuigen zou olifantsgras mogelijk effect kunnen hebben op de propagatie van de geluidsgolven. Ook ten noorden van Meerssen lijkt ruimte te zijn voor het beplanten van olifantsgras. Zie ook Figuur 40. Uiteraard dient dat in overleg te gaan met de landeigenaren en is nog wel extra onderzoek nodig naar de precieze locatie. Het gaat hier om lokaal maatwerk waarbij moet worden gezocht naar de beste oplossing per locatie. Dat wordt mede bepaald door hoogteverschillen, het karakter van het geluid, etc.



Figuur 40: Mogelijke locaties voor het aanplanten van olifantsgras

3.3.2.1 Effect op geluid

Het effect hangt sterk af van het weer, de dichtheid van de begroeiing en de afstand waarover de maatregel wordt toegepast. In het beste geval kan een reductie van zo'n 10 dB over een afstand van 2 kilometer vanaf de baan worden behaald (schatting Alterra Wageningen University & Research). Bij veel regenval zal het effect gering zijn omdat water de porositeit van de ondergrond teniet zal doen. Wat betreft de kwantitatieve effecten voor de omgeving van MAA is het lastig een schatting af te geven. De afstand waarover de begroeiing kan worden aangebracht speelt hierbij een rol, evenals de karakteristieken van de geluidsbronnen op desbetreffende locaties. Hiervoor is nader onderzoek nodig.

Omdat de werking van gewassen/bodemgebruik sterk afhangt van de wijze waarop dit wordt gedaan en de weersomstandigheden, is er geen eenduidig effect op slaapverstoring te benoemen.

3.3.2.2 Effect op emissies

Olifantsgras kan fijnstof afvangen (WUR, 2014). Daarnaast heeft de aanwezigheid van vegetatie invloed op de verspreiding van stoffen in de atmosfeer. Tevens is olifantsgras een relatief gunstig gewas dat in grote mate CO₂ afvangt uit de lucht en omzet in suikers, wat klimaatverandering tegengaat.

Olifantsgras is een mogelijke bron voor biobrandstof (WUR, 2014) en kan daarmee bijdragen aan het tegengaan van klimaatverandering.

3.3.2.3 Effect op veiligheid

Het risico dat schuilt in het aanbrengen van bepaalde beplanting en bodemgebruik is dat het mogelijk veel vogels kan aantrekken. De aanwezigheid van veel vogels in de buurt van de luchthaven vormt een direct gevaar voor de vliegveiligheid. Hoewel vliegtuigen ontworpen zijn om botsingen met vogels zonder al te grote problemen te kunnen weerstaan zijn vooral grote vogels en vogels die zich in grote groepen ophouden nog steeds gevaarlijk voor de vliegoperatie.

Dichte en hoge gewassen zoals olifantsgras worden juist soms gebruikt om vogels te weren. In dat geval kan het juist gunstig zijn om dit te planten. Andere beplanting kunnen juist weer aantrekkelijk zijn voor bepaalde vogels. Het regelmatig omploegen van de grond kan aantrekkelijk zijn voor bepaalde vogels die voedsel zoeken welke naar boven komt na deze behandeling. Voorzichtigheid is daarom geboden bij deze activiteiten.

3.3.2.4 Implementatietermijn

De implementatie zal afhangen van de grondeigenaarsituatie. Wanneer er slechts enkele grondeigenaren zijn kan er relatief snel en zonder hoge meerkosten worden begonnen met het planten van geluid-absorberende gewassen.

3.3.2.5 Kosten

Advies en uitwerking van varianten zal, afhankelijk van de omvang van de werkzaamheden, grofweg tussen de €50.000 en €100.000 aan advieskosten bedragen. Daarbij wordt aangeraden om een meerjarig meetplan te koppelen aan de implementatie van dit voorstel om effecten te monitoren.

3.3.2.6 Sturing op inzetbaarheid

Om gewassen te kunnen verbouwen moet met de grondeigenaren overeenstemming worden gevonden over de bestemming van desbetreffende grond.

3.3.3 Oriëntatie en vorm van gebouwen en stille zijden

De oriëntatie en vorm van (nieuw te bouwen) gebouwen kan een effect hebben op de effecten van *overvliegende* vliegtuigen. Om deze effecten te verminderen, is de oriëntatie en vorm van gebouwen van belang. Afhankelijk van de afstand tussen een vliegroute en een gebouw is er sprake van stille of geluidluwe gebouwsijden. Door de gebouwworm plaatselijk te verhogen kan het geluid-afschermend effect van het gebouw worden vergroot. Aan deze zijden zouden vervolgens geluidgevoelige activiteiten moeten worden geplaatst, zoals slaapvertrekken en tuinen. Deze manier van bouwen kan dus effect hebben op woningen en gebouwen die wat verder van de luchthaven afliggen, zoals Beek, Rothem, Meerssen, Maastricht, Geleen.

3.3.3.1 Effect op geluid

Het effect hangt sterk af van de locatie ten opzichte van de vliegroute en de vlieghoogte. Het geluidniveau aan een geluidluwe kan meer dan 10 dB(A) lager zijn (zowel het piekniveau L_{Amax} als de L_{Aeq}) aan een geluid-belaste zijde van een gebouw. Een gebouwworm, met dak-uitkragingen en loggia's, kan de geluidniveaus verder lokaal verlagen.

De lagere geluidniveaus zullen, afhankelijk van de hoogte van de gereduceerde geluidniveaus, kunnen bijdragen aan het terugdringen van slaapverstoring.

3.3.3.2 Effect op emissies

De vorm en oriëntatie van gebouwen speelt een rol bij mogelijke oververhitting in de gebouwen (Climate Proof Cities Consortium, 2014). Dit kan een effect hebben op het energieverbruik van het gebouw. Daarnaast kan de verspreiding van stoffen in de atmosfeer en daarmee de luchtkwaliteit (lokaal) worden beïnvloed. Over het algemeen is een open ruimte rondom gebouwen gunstiger voor de luchtkwaliteit ter plaatse.

De vorm en oriëntatie van gebouwen is van belang bij de mogelijke oververhitting in gebouwen. Dit kan effect hebben op het energieverbruik van het gebouw en daarmee op het klimaat.

3.3.3.3 Effect op veiligheid

Oriëntatie en vorm van een gebouw hebben een directe invloed op de vliegveiligheid.

3.3.3.4 Implementatietermijn

De maatregel kan relatief eenvoudig worden geïntegreerd in nieuwbouwprojecten, bij voorkeur bij uitleglocaties. Bij stadvernieuwingsprojecten kan worden gekeken hoe nieuwbouw de geluidniveaus in straten kan verminderen. De implementatie zal minimaal vijf jaar duren, uitgaande van een normaal verloop van de vergunning- en bouwprocedure.

3.3.3.5 Kosten

Advies en uitwerking van varianten zal, afhankelijk van de omvang van de werkzaamheden, grofweg tussen de € 50.000 en € 100.000 aan advieskosten bedragen. Daarbij wordt aangeraden om een langjarig meetplan te koppelen aan de implementatie van dit voorstel om effecten te monitoren.

3.3.3.6 Sturing op inzetbaarheid

Deze maatregel kan worden meegenomen in nieuwbouwprojecten. Het kan nuttig zijn om in overleg met de omliggende gemeenten te bepalen welke (stadsvernieuwings)projecten hiervoor in aanmerking kunnen komen. Ook tijdens ontwikkeling van bestemmingsplannen is het goed rekening te houden met deze manier van inrichten van de omgeving.

3.3.4 Gevelmaterialisatie, 'groene' muren, geluidwerende ramen

Reflecties van geluid tussen gebouwen kunnen worden verminderd door het aanbrengen van geluid-absorberende oppervlakken en/of groene gevels. Dit vermindert de reflectie van geluid richting geluidluwe zijden van gebouwen.

Daarnaast kan worden overwogen om geluidwerende ramen in te zetten. Hier wordt momenteel onderzoek naar gedaan door onder andere de Delftse startup DeNoise. Deze startup ontwikkelt zogeheten 'noise cancelling' ramen:

een kit die wordt geïnstalleerd op bestaande ramen. Het principe is gebaseerd op het creëren van een tegentrilling in het laagfrequente gebied. Hierdoor wordt laagfrequent geluid actief geweerd (Noordhollands Dagblad, 2020).

Grondgeluid kenmerkt zich door laagfrequent geluid. Hier zouden geluidwerende ramen mogelijk de effecten van kunnen verminderen. Voor omwonenden in Schietecoven of Ulestraten die aan de rand van de bebouwing wonen aan de luchthavenzijde, zou dit een interessante optie kunnen zijn in de toekomst.

3.3.4.1 Effect op geluid

Het effect hangt sterk af van de locatie ten opzichte van de aanvliegroute en de aanvlieghoogte. Het effect van gevelmaterialisatie en/of groene gevels zal grofweg tussen de 2dB(A) en 5dB(A) aan extra geluidreductie kunnen opleveren.

Over het effect van geluidwerende ramen zijn nog geen (onderzoeks)resultaten bekend. De effectiviteit van de ramen hangt ook samen met of ramen en deuren goed gesloten blijven op zomerse dagen.

3.3.4.2 Effect op emissies

Groene gevels houden gebouwen in de zomer koel waardoor er minder energie voor koeling nodig is. Daarnaast kunnen ze fijnstof opnemen. Dit betekent dat ze een positieve invloed op de luchtkwaliteit en het klimaat kunnen hebben.

Geluidwerende ramen hebben geen invloed op emissies of de verspreiding daarvan.

3.3.4.3 Effect op veiligheid

Er is geen invloed van de maatregelen op de vliegveiligheid.

3.3.4.4 Implementatietermijn

De maatregel kan relatief eenvoudig worden geïntegreerd in nieuwbouwprojecten, bij voorkeur bij uitleglocaties. Bij stadvernieuwingsprojecten kan worden gekeken hoe nieuwbouw de geluidniveaus in straten kan verminderen. Afhankelijk van de wijk en eigenaren kan een project binnen twee tot vijf worden gerealiseerd.

3.3.4.5 Kosten

Advies en uitwerking van varianten zal, afhankelijk van de omvang van de werkzaamheden, grofweg tussen de € 50.000 en € 100.000 aan advieskosten bedragen. Daarbovenop zullen er kosten voor de maatregel zijn, ongeveer € 400/m², en jaarlijks onderhoud.

Voor geluidwerende ramen zijn nog geen aanschafkosten bekend gemaakt.

3.3.4.6 Sturing op inzetbaarheid

Deze maatregel kan worden meegenomen in nieuwbouwprojecten. Het kan nuttig zijn om in overleg met de omliggende gemeenten te bepalen welke (stadsvernieuwings)projecten hiervoor in aanmerking kunnen komen. Ook met bestemmingsplannen is het goed rekening te houden met deze manier van inrichten van de omgeving.

Voor bestaande wijken moet rekening worden gehouden met de wensen van huiseigenaren en regels zoals beschermde dorp- en stadsgezichten.

3.3.5 Geluidsabsorberende voorzieningen binnenshuis

In de nabije omgeving van MAA zijn verschillende woningen geïsoleerd om de geluidniveaus binnenshuis terug te dringen. In aanvulling daarop, of daar waar nog geen isolatie heeft plaatsgevonden, kunnen geluidsabsorberende voorzieningen binnenshuis worden aangebracht hetgeen kan helpen om de nagalm tegen te gaan in een woning. Want hoewel geluidwerende voorzieningen een groot deel van de geluidbelasting van buiten kan wegnemen, worden deze effecten soms deels teniet gedaan door open ramen en deuren. Vooral in de zomermaanden houden mensen vaak veel ramen en deuren open. Zeker 's nachts kan dit ervoor zorgen dat het geluidsniveau binnenshuis hierdoor hoger is, ondanks de geluidwerende voorzieningen. Een mogelijkheid die effecten te reduceren, is het aanbrengen van absorberende bekleding binnenshuis. Dit kan helpen om de nagalm tegen te gaan in een woning. Hiervoor zijn metingen nodigen binnenshuis, om het spectrum te bepalen en daarmee de specifieke materialen voor geluidsabsorptie.

Het aanbrengen van geluidsabsorberende materialen binnenshuis is een relatief eenvoudige en goedkope manier waarmee wordt bereikt dat vooral in zomermaanden de effecten van nagalm worden gereduceerd.

3.3.5.1 Effect op geluid

Wanneer binnenshuis geluidsabsorberende voorzieningen worden aangebracht levert dit niet per se een geluidsreductie op maar wel een reductie in de nagalmtijd. Dit is voor elke woning weer anders, omdat dit vooral ook afhangt van interieur maar ook exterieur zoals groen rondom de woning.

Zowel geluidwerende als geluidsabsorberende voorzieningen kunnen voor een vermindering van de slaapverstoring zorgen (Gezondheidsraad, 2004). Hierover zijn echter geen kwantitatieve gegevens beschikbaar. Zoals eerder benoemd speelt slaapverstoring door vliegtuiggeluid in de zomer een grotere rol ten gevolge van open ramen en deuren, dan in de winter.

3.3.5.2 Effect op emissies

Deze maatregelen hebben geen invloed op emissies.

3.3.5.3 Effect op veiligheid

Er is geen invloed van de maatregelen op de vliegveiligheid.

3.3.5.4 Implementatietermijn

Het aanbrengen van geluidwerende middelen via andere initiatieven dan het Rijk (zoals een Leefbaarheidsfonds), kunnen op korte termijn worden geïmplementeerd. Hiervoor kan een ingenieursbureau worden ingezet die gespecialiseerd is in het isoleren van woningen of het aanbrengen van geluidsabsorberende bekleding.

3.3.5.5 Kosten

De kosten variëren per woning en zijn sterk afhankelijk van de geluidssituatie. De kosten voor het aanbrengen van geluidwerende voorzieningen kunnen variëren tussen de € 10.000 en € 50.000 per woning.

3.3.5.6 Sturing op inzetbaarheid

Voor het toepassen van deze maatregel is het belangrijk om duidelijke regels te hebben wie hiervoor in aanmerking kan komen. Dat zelfde geldt ook voor de financiering daarvan.

3.3.6 Zichtbaar groen en maskerende geluiden

Het zicht op groen vermindert de hinder die mensen van geluid ervaren. Dit is aangetoond voor weg- en vliegtuiggeluid (GGD Amsterdam). Daarnaast kan de aandacht van vliegtuiggeluid worden afgeleid door het aanbrengen van natuurlijke geluiden, zoals het geluid van dieren of mensen.

3.3.6.1 Effect op geluid

Het effect van zichtbaar groen op het beperken van geluidhinder wordt geschat op het *equivalent* van 10 dB(A). Het effect van natuurlijke geluiden is lastiger te schatten, en zal afhangen van de locatie. Grove schatting is dat maskerende geluiden een *equivalente hinderreductie* tussen de 5 dB(A) en 10 dB(A) kunnen realiseren (Van Renterghem, 2018).

Waarschijnlijk heeft deze maatregel weinig tot geen effect ten aanzien van vermindering van slaapverstoring. Nader onderzoek zal dit moeten uitwijzen.

3.3.6.2 Effect op emissies

Onderzoek van het RIVM en de GGD Amsterdam geeft aan dat vegetatie (bomen en planten) de luchtkwaliteit in een stad niet significant kan verbeteren en die zelfs kan verslechteren. Dit wordt als volgt verwoord (RIVM, GGD, 2011): *“Door de aanwezigheid van vegetatie in of langs straten met verkeer neemt de windsnelheid in die straat namelijk af. Als gevolg hiervan gaan de concentraties van alle stoffen die door het verkeer worden uitgestoten omhoog. De aanwezigheid van vegetatie in een groot gebied kan wel de achtergrondconcentraties van stikstofdioxide en fijn stof positief beïnvloeden, maar het effect is zeer beperkt – in de orde van een half procent tot mogelijk enkele procenten bij grootschalige extra inzet van vegetatie. De onzekerheid hierover in verschillende studies is aanzienlijk.”*

Bij het toepassen van deze maatregel in stedelijke gebieden dient hier dus aandacht naar te gaan. Vergroening van de omgeving gaat vanwege de opname van CO₂ klimaatverandering tegen.

3.3.6.3 Effect op veiligheid

Er is geen invloed van de maatregelen op de vliegveiligheid.

3.3.6.4 Implementatietermijn

De maatregel kan relatief eenvoudig worden geïntegreerd in nieuwbouwprojecten, bij voorkeur bij uitleglocaties. Het enige probleem is dat vegetatie, vooral bomen, tijd nodig heeft om tot wasdom te komen (circa 5 tot 10 jaar).

3.3.6.5 Kosten

Advies en uitwerking van varianten zal, afhankelijk van de omvang van de werkzaamheden, grofweg tussen de € 20.000 en € 50.000 aan advieskosten bedragen. Het aanbrengen van groen zal afhangen van de gekozen optie, tussen de € 50 en € 400 (groene gevels) per m² bedragen.

3.3.6.6 Sturing

Deze maatregel kan worden meegenomen in nieuwbouwprojecten. Het kan nuttig zijn om in overleg met de omliggende gemeenten te bepalen welke (stadsvernieuwing)projecten hiervoor in aanmerking kunnen komen. Ook tijdens de ontwikkeling van bestemmingsplannen is het goed rekening te houden met deze manier van inrichten van de omgeving.

3.3.7 Conclusies maatregelen in de omgeving

De maatregelen die in paragraaf 3.3 zijn benoemd, richten zich op het doen van aanpassingen in het landschap of aan gebouwen. Het aanbrengen van barrières, in de vorm van een wand of bijvoorbeeld een gebouw, kan helpen om te zorgen dat omwonenden in de directe omgeving van de luchthaven minder gehinderd worden door grondgeluid.

Wanneer slim wordt omgegaan met oriëntatie van nieuw te realiseren woongebouwen, het aanbrengen van gewassen en zichtbaar groen, kan geluidhinder worden gereduceerd. Onderzocht kan worden of olifantsgras tussen de luchthaven en Meerssen en bij Ulestraten een reductie kan opleveren van geluidniveaus van startende of taxiënde vliegtuigen. Tegelijkertijd geeft groen, wanneer correct toegepast, de mogelijkheid voor het (beperkt) invangen van fijnstof en CO₂. Het zicht op groen en natuurlijke geluiden kunnen een positief effect hebben op hinderbeleving. De meeste maatregelen kunnen worden meegenomen in (nieuw)bouwprojecten.

3.4 Overige maatregelen

Een luchthaven kan stimulerende maatregelen inzetten om zo hinder te verminderen en vervuilende toestellen tegen te gaan. Dit kan worden gedaan door bijvoorbeeld vliegtuigmaatschappijen te stimuleren om hun vloot te moderniseren. Modernere vliegtuigen hebben meestal zuinigere motoren die ook minder geluid produceren.

Momenteel heeft MAA een aantal initiatieven ondernomen om schonere en stillere vliegtuigen naar de luchthaven te trekken. Zo zijn in 2017 nieuwe luchtvaartmaatschappijen aangetrokken op basis van criteria voor moderne en relatief schone vloot. Sinds november 2018 worden bepaalde Antonov toestellen niet meer toegestaan. Per 1 april 2019 wordt het inzetten van de Boeing 747-400 en Airbus A310 ontmoedigd. Ook wordt het vliegen met vrachtvliegtuigen vóór 7 uur en na 19 uur ontmoedigd. Daarnaast zijn verhoogde tarieven ingesteld om verouderde en vervuilde toestellen te weren (Maastricht Aachen Airport, 2020).

3.4.1 Stimuleren van vlootvernieuwing

Vliegtuigfabrikanten Boeing, Airbus en Embraer hebben alle drie recentelijk nieuwe generaties vliegtuigen in productie genomen. Vliegtuigen van deze nieuwe generatie worden sinds ongeveer twee jaar door luchtvaartmaatschappijen opgenomen in hun vliegtuigvloot.

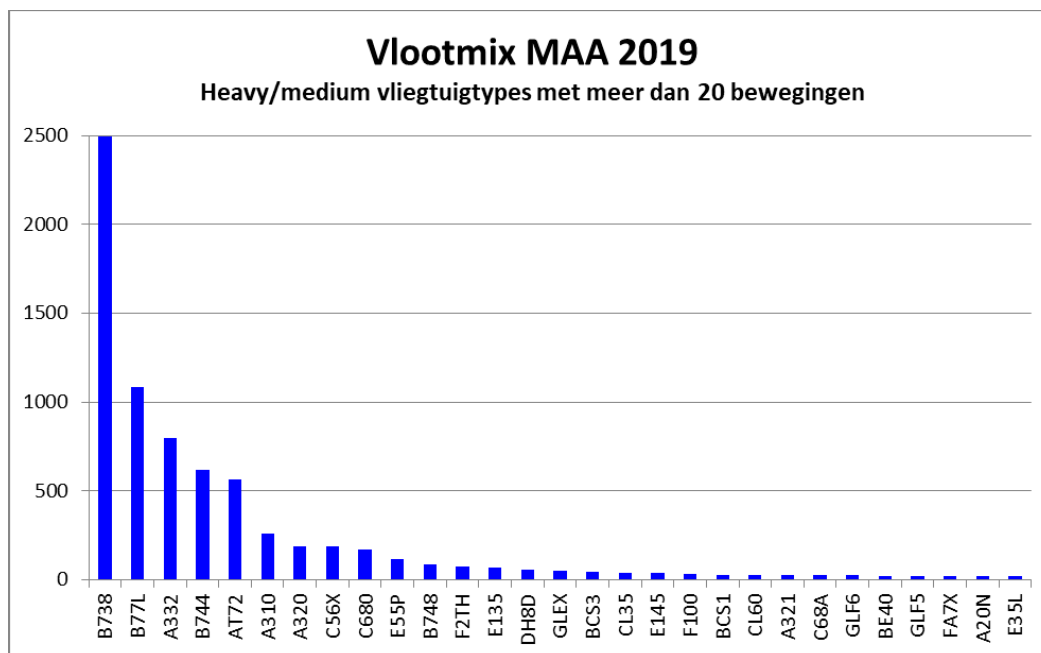
De brandstofefficiëntie van vliegtuigen⁸ is door de jaren heen verbeterd door gebruik van nieuwere motoren, verbeterde aerodynamica en toepassing van lichtere materialen in vliegtuigen. Ook met betrekking tot de geluidniveaus op de grond zijn met deze nieuwe generatie vliegtuigtypes verbeteringen gerealiseerd. In meerdere opzichten is het daarom positief om deze types in de dagelijkse operatie van een luchthaven te hebben.

Vlootmix MAA

In onderstaande figuur is de vlootmixverdeling weergegeven van MAA in het jaar 2019. Het betreft hier de zwaardere vliegtuigtypes: de gewichtsklassen heavy (136 ton en zwaarder) en medium (tussen 7 en 136 ton). Onderstaande types, die vaker dan 20 bewegingen hadden in 2019, representeren 95% van al het heavy en medium verkeer.

⁸ Brandstofefficiëntie is de gemiddelde hoeveelheid brandstof die nodig is om één passagier of 1kg vracht over één kilometer te vervoeren.

Zoals is op te maken uit de figuur, is het meest gebruikte type de Boeing 737-800, gevolgd door de B777-200LR.



Figuur 41: Verdeling heavy/medium vliegtuigtypes in 2019)

Wanneer deze vlootsamenstelling wordt vergeleken met gegevens uit voorgaande jaren, zijn de volgende verschuivingen te zien:

- Daling van het aantal vliegbewegingen met B747-400;
- Toename van B777-200 (drie luchtvaartmaatschappijen die veel met B747-400 op MAA vlogen zetten nu steeds vaker een B777-200 in);
- Afname van vliegbewegingen met A310;
- Toename voor A330-200 (één luchtvaartmaatschappijen die voorheen met A310 op MAA vloog zet nu een A330-200 in);
- Met het type ATP wordt niet meer op MAA gevlogen;
- Het aantal vliegbewegingen met AT72 is toegenomen;
- Het aantal vliegbewegingen met A320 is toegenomen. De eerste vliegtuigen van de nieuwe generatie Airbus vliegtuigen, A320Neo en A321Neo, vlogen in 2019 op MAA;
- Het aantal vliegbewegingen met B737-800 is toegenomen.

Deze verschuivingen zijn het gevolg van vlootvernieuwing door luchtvaartmaatschappijen. Ook stimulerende maatregelen die al door de luchthaven zijn genomen hebben hieraan bijgedragen; denk hierbij aan het ontmoedigen of het verbieden van het inzetten van bepaalde types vliegtuigen.

Naast de verschuivingen die al hebben plaatsgevonden zullen ook in de nabije toekomst verdere verschuivingen plaatsvinden. Naar verwachting zal het aandeel B747-400 verder afnemen. Daarnaast wordt verwacht dat Corendon en Ryanair voor de passagiersvluchten op meer dan 60% van de vluchten, die nu met B737-800 worden uitgevoerd, de B737MAX inzetten. De Airbus A320, die nu een klein aandeel heeft in de passagiersvluchten, zal deels worden vervangen door A320Neo.

3.4.1.1 Effect op geluid

Tijdens de proefcasus Eindhoven is de te verwachten geluidreductie bij overgang naar nieuwe vliegtuigtypes in kaart gebracht tijdens de analysefase door (To70, 2018). Over de effecten op de geluidniveaus van individuele vluchten werd daar geschreven:

“Voor de nadering zijn de geluidniveaus van de B737 MAX en de Airbus A320/A321 NEO 1,8 tot 3,1 EPNdB lager en voor starts 2,5 tot 4,6 EPNdB. Zijwaarts van het vliegp pad zijn de niveaus 5,0 tot 6,8 dB lager. Een geluidvermindering van 3 dB komt overeen met een halvering van de geluidsintensiteit.”⁹

Om ook inzicht te kunnen geven in de verschillen in de piekniveaus zijn geluidgegevens uit de zogeheten Aircraft Noise and Performance (ANP) Database van Eurocontrol bekeken. Op basis hiervan is een vergelijking gemaakt is tussen de B737-8 MAX en de Boeing 737-800. Deze gegevens betreffen geluidtabellen waarin de piekniveaus (L_{Amax}) staan voor verschillende stuwkrachtinstellingen en voor verschillende afstanden tussen het vliegtuig en de ontvanger. Daar waar voor beide toestellen gegevens beschikbaar waren voor dezelfde stuwkracht en dezelfde afstand zijn deze vergeleken. Omdat de B737-8 MAX een lagere weerstand zal hebben ten gevolge van een beter aerodynamisch ontwerp, zal dit toestel in de praktijk iets minder stuwkracht nodig hebben. Hierdoor geeft de vergelijking van de geluidtabellen een conservatieve inschatting voor de geluidreductie in de praktijk.

Voor landingen geven de ANP-gegevens een vergelijkbaar beeld met bovenstaande certificatiegegevens, waarbij de B737-8 MAX gemiddeld 1.8 dB(A) stiller is. Hierbij wordt opgemerkt dat vooral bij beperkte afstand tussen vliegtuig en ontvanger en voor relatief hogere stuwkracht (dus tijdens de laatste fase van de nadering) grotere verschillen gevonden worden.

Bij starts is de B737-8 MAX gemiddeld 4.7 dB(A) stiller. Daarbij wordt opgemerkt dat de grootste verschillen gevonden worden bij hoge stuwkrachtinstellingen. Doordat juist daarvoor een goede vergelijking tussen beide types niet altijd mogelijk is omdat de stuwkrachtinstellingen in de ANP-gegevens voor beide types anders zijn, is de gemiddelde reductie naar verwachting in de praktijk nog duidelijk hoger. Dit geldt vooral tijdens het eerste deel van de start waar de hoogste stuwkracht gebruikt wordt.

Gelet op het feit dat het grootste deel van de passagiersvliegtuigen op MAA nu een B737-800 betreft, zal bij een gelijkblijvend aantal vliegbewegingen de geluidbelasting afnemen. In de berekeningen voor het scenario met 50% reductie van het aantal gehinderden is het effect van vervanging door de B737MAX meegenomen.

Lagere geluidniveaus zullen ook positief bijdragen aan het terugdringen van slaapverstoring. Dit zal zeker niet voor alle locaties rondom de luchthaven gelden. De mate waarin dit gebeurt, is afhankelijk van de afstand tussen de waarnemer en de vlucht.

3.4.1.2 Effect op emissies

Het grootste effect op klimaat zal veroorzaakt worden door de komst van de B737 MAX en de B777-200, doordat deze het grootste deel van de huidige B737-800 en B747-400 zal vervangen. Volgens Boeing is de B777-200 gemiddeld ongeveer 15-20% zuiniger dan de B747-400 en de B737 MAX 20% zuiniger dan de B737-800 (ATAG, n.d.) (ICCT, 2017) Door de uitfasering van de B747-400, en de overstap naar B777-200 door drie luchtvaartmaatschappijen, neemt de CO₂ en waterstof uitstoot af, wat een positief effect heeft op het klimaat.

Verder is de verwachting dat op MAA de A320neo types de oudere generatie A320 vervangt. Volgens de fabrikant is de A320neo 15-20% zuiniger dan zijn voorganger de A320.

⁹ Effective perceived noise in decibels (EPNdB) is een maat voor het geluidniveau van een individuele vliegtuigpassage, welke gebruikt wordt voor de geluidcertificatie van vliegtuigen.

Per vliegbeweging leidt het gebruik van zuinigere vliegtuigen tot een reductie van CO₂ en waterdamp van zo'n 15-20%. Omdat de verwachting is dat niet direct 100% van de B737-800 toestellen vervangen wordt door de B737 MAX is de CO₂-reductie per vliegbeweging over de gehele vloot gemiddeld lager. Het aandeel in A320 toestellen op MAA is zeer beperkt, waardoor het effect op het klimaat door de komst van de A320neo zeer gering zal zijn.

Ook de toename in AT72 en uitfasering van British Aerospace ATP vliegtuigen zal voor een positief klimaateffect zorgen, doordat de AT72 veel zuiniger is dan de ATP. Ten slotte zal de afname in de oudere generatie A310 en toename in de nieuwere generatie A330-200 voor een beperkt positief effect zorgen.

Bij de beschouwing van het effect op luchtkwaliteit gaat het vooral om de stikstofoxiden en (ultra-)fijnstofemissies van het vliegverkeer op en nabij de luchthaven. Hoewel de luchtkwaliteit afhangt van de hoeveelheid én de locatie (inclusief hoogte tot ongeveer 914m) van de emissies van het vliegverkeer, wordt bij een vergelijking van twee vliegverkeer scenario's vaak alleen gekeken naar de hoeveelheid emissies die worden uitgestoten tijdens de zogenaamde LTO-cyclus.

De hoeveelheid emissies die een vliegtuigtype in de LTO-cyclus uitstoot is afhankelijk van het motortype waarmee het vliegtuig is uitgerust. Afhankelijk van de verschillende motortypen waarmee de beschouwde vliegtuigtypen op MAA kunnen worden uitgerust kan de NO_x-uitstoot bij vlootvernieuwing lager (voor de A320neo) of juist hoger (voor de B737 MAX) liggen. Dit heeft (van Bokhorst & Faber, 2018) berekend voor Eindhoven Airport voor dezelfde toestellen. Hoewel op MAA andere waarden voor de LTO-cyclus zullen resulteren, is het aannemelijk dat voor dit type motoren gelijke af- en toenames te zien zullen zijn. Voor dit type motoren werd tevens aangenomen dat de PM₁₀ emissies gelijk blijven. Dit betekent dat, hoewel de nieuwe vliegtuigtypen zuiniger (CO₂) zijn, ze voor wat betreft NO_x mogelijk minder schoon zijn dan de vliegtuigtypen die ze vervangen, en even schoon voor wat betreft PM₁₀. Dit heeft een mogelijk negatief effect op luchtkwaliteit.

3.4.1.3 Effect op veiligheid

Moderne vliegtuigen zijn volgens de laatste certificatie eisen gebouwd. Ook bevatten deze vliegtuigen veelal nieuwe technologie om de vliegveiligheid verder te verbeteren. Daardoor laten dit soort nieuwe vliegtuigen een betere vliegveiligheidsstatistiek zien (lagere ongevalskansen) dan eerdere generatie vliegtuigen.

3.4.1.4 Implementatietermijn

Luchtvaartmaatschappijen kunnen om verschillende redenen kiezen om een nieuwer vliegtuig(type) aan te schaffen:

- De vraag is toegenomen en er kan een extra toestel worden ingezet
- De vraag is toegenomen en er kan een (iets) groter toestel worden ingezet
- Economische overwegingen: een nieuw vliegtuig is goedkoper in operatie en/of onderhoud dan een ouder vliegtuig, waarbij vervanging uiteindelijk netto winst kan opleveren
- Een vliegtuig wordt geweerd door regelgeving op luchthavens (bijvoorbeeld op basis van geluidsnormen).

Indien maatschappijen nog geen nieuwe toestellen in bestelling hebben kan het na het plaatsen van een order enkele jaren duren alvorens de bestelde vliegtuigen ook daadwerkelijk geleverd worden. In het algemeen kan gesteld worden dat het vernieuwen van de vloot bij vrachtvliegtuigen gemiddeld genomen minder snel gaat dan bij passagiersvliegtuigen. Daarnaast hebben een aantal maatschappijen, zoals eerder in deze paragraaf beschreven, reeds de Boeing 747-400 vervangen voor Boeing 777 vrachtvliegtuigen, waardoor juist in een deel van de vrachtvloot recent al sprake is van vlootvernieuwing.

Een aantal vliegtuigmaatschappijen die nu op de luchthaven MAA vliegen zijn reeds bezig met de introductie van nieuwe generatie vliegtuigen in hun vloot. De exacte planningen die maatschappijen hiervoor hebben zijn niet bekend. De laatste status, op basis van bekendmakingen is:

- Corendon wil in de toekomst weer gaan vliegen met B737 MAX vliegtuigen. Op dit moment is niet bekend wanneer dit toestel weer kan gaan vliegen (momenteel is er een wereldwijd vliegverbod voor dit type) en wanneer de maatschappij weer vliegtuigen van dit type geleverd zal krijgen. Vervolgens is vraag wanneer dit nieuwe type op MAA zal vliegen.
- Ryan Air heeft B737 MAX vliegtuigen in bestelling. Op dit moment is niet bekend wanneer de eerste leveringen volgen, en wanneer dit nieuwe type op MAA zal vliegen.
- Turkish Airlines is bezig met vervanging B747-400 door B777-200 en A310 door A330-200.
- Ook Saudi Arabian Airlines en Emirates Airlines vervangen hun B747-400 door B777-200.

Door de nog niet volledig te overziene effecten van de Corona-pandemie is het op dit moment uitdagend om een inschatting te kunnen maken op welk tempo de vlootveranderingen zullen doorzetten. Enerzijds is te zien dat passagiersversies van de B747-400 door sommige luchtvaartmaatschappijen versneld wordt uitgefaseerd, anderzijds voegen sommige maatschappijen dit toestel juist als vrachtvliegtuig (tijdelijk) weer toe aan de vloot. Daarnaast is niet bekend wanneer nieuwe vliegtuigtypes worden toegevoegd aan de vloot.

3.4.1.5 Sturing

De luchthaven kan, binnen de wettelijke bepalingen die zijn vastgelegd in de Wet Luchtvaart, vlootvernieuwing verder stimuleren door tariefdifferentiatie toe te passen in de landingsgelden. Hierbij wordt dan voor meer luidruchtige en/of meer vervuilende vliegtuigen een hoger tarief gerekend terwijl de stillere/schonere vliegtuigen korting ontvangen. Een dergelijke aanpak wordt gehanteerd op meerdere luchthavens, bijvoorbeeld Schiphol, Brussel en Gatwick. Het effect van deze maatregel hangt af van meerdere factoren (zoals lopende leasecontracten en kostenoverwegingen) die een rol spelen bij luchtvaartmaatschappijen om te komen tot inzet van vliegtuigen.

Verouderde toestellen, zoals B747-400, worden sinds 2019 op MAA ontmoedigd door middel van hogere tarieven. Ook zijn bepaalde vliegtuigtypes, zoals de Antonov, vanaf november 2018 geweerd op MAA.

Om te voorkomen dat luchthavens met de laagste landingsgelden de oudere vliegtuigen houden, zal de (Europese) overheid hierin regulerend moeten optreden.

3.4.1.6 Kosten

De kosten voor het doorvoeren van een stuurmaatregel in de vorm van gedifferentieerde landingsgelden kunnen worden gezien als kosten van de dagelijkse operatie van de luchthaven.

3.4.2 Retrofitting

Retrofitting is het vervangen van sommige onderdelen van een bestaand vliegtuig waardoor brandstofbesparing, geluidsreductie of emissiereductie kan worden behaald. De laatste jaren is vooral veel winst behaald door toepassing van winglets, het upgraden van motoren en vernieuwde avionica.

Voorbeelden van retrofitting zijn:

- **Nieuwe winglets**^[1]: deze verlagen de weerstand rondom de vleugeltips waardoor brandstof wordt bespaard doordat de tipwervels plaatselijk worden verminderd. Veelal gaat dit gepaard met minder geluidsoverlast: vliegtuigen hebben een lager startgewicht doordat ze minder brandstof mee hoeven te nemen. Daarnaast zorgen de minder krachtige tipwervels voor verminderde geluidproductie.
- **Performance Improvement Packages**^[2] (PIPs): deze verlagen het brandstofverbruik en/of de onderhoudskosten.
- **Herinrichting van de cabine**: meer stoelen, comfort, en gewichtsreductie. Dit gebeurt veelal met het groot onderhoud en wordt door veel maatschappijen uitgevoerd. Hierdoor kunnen meer passagiers per vlucht worden vervoerd, en/of brandstof worden bespaard.
- **Nieuwe avionica**^[3]: dit kan leiden tot een meer optimale vluchttuitvoering wat resulteert in een besparing op brandstof.
- **Minder verflagen of toepassing van weerstand verminderende verf**: Vliegtuigen krijgen tijdens groot onderhoud vaak een nieuwe verflaag, met minder lagen. Naar weerstand verminderende verf wordt onderzoek gedaan.
- **Vervanging van onderdelen**: het vervangen door een lichtere versie van het onderdeel. Bijvoorbeeld door gebruik te maken van composieten materialen. Hiermee wordt gewicht en dus brandstof bespaard. De ontwikkeling van deze onderdelen is tijdrovend en vergt certificatie.
- **Antennes met minder weerstand**. Door de grote vraag naar on-board internet en telefoon neemt de hoeveelheid antennes toe op een vliegtuig en wordt het belangrijker om de weerstand hiervan te verlagen; hiernaar wordt onderzoek verricht.
- **Wegnemen A320 fluittoon**. Op de A320 kan een geluidreducerende component worden aangebracht, de zogeheten “vortex generator” die de hoge fluittoon reduceert (tot 4 dB) die kenmerkend is voor de A320.

3.4.2.1 Effect op geluid, emissies en veiligheid

De effecten op geluid, luchtkwaliteit, klimaat en slaapverstoring zijn per retrofit erg verschillend. Dat komt omdat het een grote diversiteit aan maatregelen betreft. Daarnaast kan niet elke retrofit op elk vliegtuigtype worden toegepast. De meeste van bovengenoemde maatregelen besparen brandstof en dragen daarmee bij – zij het soms heel beperkt – aan een verbetering van de luchtkwaliteit en het verminderen van de klimaatimpact. Wanneer een efficiëntieverbetering behaald kan worden via een retrofit, leidt dit namelijk tot brandstofbesparing en een bijbehorende vermindering in emissies van verbrandingsproducten. Sommige retrofits hebben een ander doel dan prestatieverbeteringen, bijvoorbeeld onderhoudskosten verlagen. In dit geval is er geen effect op emissies en klimaat.

3.4.3 Hybride-elektrisch vliegen

Hybride-elektrische voorstuwing is één van de potentiële oplossingen om de luchtvaart te verduurzamen op de langere termijn. Onder deze noemer worden More Electric Aircraft (MEA) en (Hybride)-elektrische voortstuwing kort beschouwd.

^[1] Een winglet is een meestal opstaande verlenging van de vleugeltip.

^[2] Een Performance Improvement Package betreft een pakket verbeteringen op onder meer het gebied van vliegtuig aerodynamica en motoren.

^[3] Avionica betreft de elektronica in het vliegtuig

More Electric Aircraft

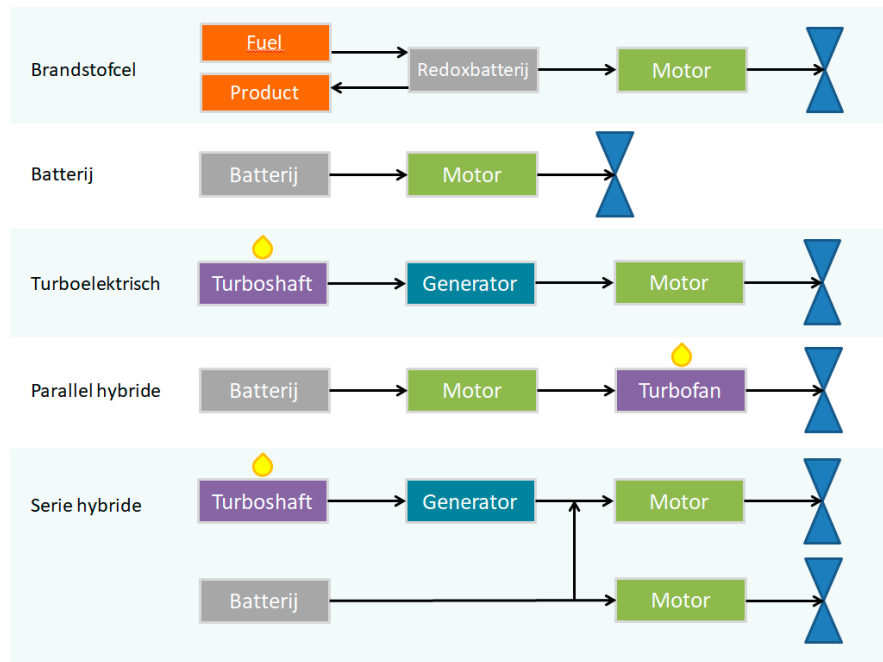
Elektrificering binnen de luchtvaart hoeft niet meteen te leiden tot een volledig elektrisch aangedreven vliegtuig. Er wordt op grote schaal gewerkt aan het ontwikkelen van More Electric Aircraft (MEA); conventioneel aangedreven vliegtuigen waarin hydraulische en pneumatische processen worden geëlektrificeerd. Voorbeelden van systemen die geëlektrificeerd worden zijn het environmental control system, het flight control system, het landingsgestel, de remmen op de wielen, de vorstbescherming en de thrust reverser. In de eerste plaats is dit concept aantrekkelijk omdat elektrische systemen voordelen bieden ten opzichte van hydraulische en pneumatische systemen op het gebied van onderhoud en betrouwbaarheid. Daarnaast kan het elektrificeren ook bijdragen aan gewichtsbesparing. De Boeing 787, Airbus A350 en F35 Joint Strike Fighter zijn voorbeelden van huidige vliegtuigen waar More Electric systemen geïmplementeerd zijn. (Roland Berger, 2017)

(Hybride-)elektrische voortstuwing

Momenteel zijn voortstuwingssystemen in de luchtvaart voornamelijk gebaseerd op de thermale decompositie (verbranding) van koolwaterstoffen. Brandstof wordt verbrand in pistonmotors of gasturbines waarmee mechanisch vermogen wordt gegenereerd. Dit mechanisch vermogen drijft een aerodynamisch voortstuwingmechanisme aan, meestal een propeller of fan. Na verbranding worden de reststoffen in de atmosfeer losgelaten. Dit is negatief voor de omgeving en de klimaateffecten van luchtvaart, maar het heeft een positief effect op prestatie van het vliegtuig omdat gewicht afneemt gedurende de vlucht.

Een elektrisch voortstuwingssysteem kan stuwkracht genereren via omzetting van elektrische energie in mechanische energie, waarmee een propeller of fan wordt aangedreven. Een vaste batterij of brandstofcel zou een volledig elektrisch systeem kunnen aandrijven, echter vormen energiec capaciteit en vermogen in dit geval een beperking. Dit geldt vooral tijdens het opstijgen wanneer een grote stuwkracht vereist is om voldoende lift te genereren. Met de huidige batterijssystemen lijken hybride systemen daarom op korte termijn een realistischer voortstuwingsconcept. In deze paragraaf worden een aantal hybride en volledig elektrische voortstuwingsconcepten toegelicht.

Voor een hybride elektrische aandrijving zijn verschillende configuraties mogelijk. In deze paragraaf worden de mogelijke configuraties besproken, namelijk brandstofcelsystemen, batterijen, turbo-elektrisch, parallel-hybride en serieel-hybride (Hepperle, 2012).



Figuur 42: Type voortstuwingsmechanismes voor (hybride-)elektrische vlucht.

Hybride-elektrisch vliegen op MAA

Hybride-elektrisch vliegen voor commerciële vluchten is voorlopig nog even toekomstmuziek. Het aantrekken van kleine elektrische sportvliegtuigen zou echter op korte termijn al kunnen worden gedaan. Hiermee zouden bijvoorbeeld de lesvliegtuigen kunnen worden vervangen. Zo vliegt de Pipistrel Alpha Electro al gecertificeerd rond. Dit is een elektrische tweezitter die ongeveer een uur kan vliegen op een volle accu en zich daarom goed leent voor vlieglessen.

3.4.3.1 Effect op geluid

Het effect op geluid hangt af van het type vliegtuig dat wordt ingezet. Voor More Electric Aircraft zal er waarschijnlijk weinig tot geen geluidreductie zijn.

Voor de vliegtuigen die elektrisch (via batterij of brandstofcel) worden aangedreven en gebruik maken van een propeller, wordt een geluidwinst verwacht. De mate van reductie is nog lastig te voorspellen; dit hangt ook sterk samen met de grootte van het vliegtuig en ook de manier van voortstuwing. Wanneer meerdere kleinere propellers worden gebruikt kan dit een ander type geluid opleveren dan één grote propeller. Omdat de frequentie van het geluid anders is dan bij conventionele straalvliegtuigen kan de geluidbelasting weliswaar lager zijn, maar de ervaren hinder anders zijn. Hier moet nog meer onderzoek naar worden gedaan.

Daarnaast speelt het aantal vliegtuigen ook een rol in de hinder; op de korte termijn is het goed denkbaar dat een conventioneel verkeersvliegtuig 'opgedeeld' wordt in meerdere, kleinere, stillere elektrische vluchten. Of de som van de kleine vliegtuigen uiteindelijk minder hinder oplevert dan één groot, luidruchtig conventioneel vliegtuig, is nog de vraag.

Voor de turbo-elektrisch en serieel hybride vliegtuigen geldt dat een turbine wordt gebruikt om energie op te wekken. Deze turbine maakt geluid. Afhankelijk van of deze constant in bedrijf is, zal dit meespelen in de geluidproductie van dit vliegtuig.

3.4.3.2 Effect op emissies

Klimaat

More electric aircraft: de gewichtsbesparing door elektrificatie van systemen leidt ook tot brandstofbesparing. Hierdoor wordt er minder CO₂ en H₂O uitgestoten, wat een positief effect heeft op klimaatverandering.

Brandstofcelsystemen: de brandstofcelsystemen hebben weinig emissies, wat een positief effect heeft op klimaatverandering. NO_x wordt als bijproduct van verbranding in vliegtuigmotoren bij hoge drukken en temperaturen gevormd. Doordat de decompositie van de brandstof bij brandstofcelsystemen bij lage temperaturen en hoge efficiëntie plaatsvindt, is de vorming van NO_x aanzienlijk lager dan bij conventionele vliegtuigmotoren. De menging van uitstootgassen met de omgevingslucht kan leiden tot de vorming van condensstrepen. Hiervoor moet echter aan een aantal voorwaarden voldaan worden: de uitgestoten lucht moet vochtig en warm genoeg zijn en de buitenlucht moet droog en koud genoeg zijn wanneer deze zich mengen. Wanneer dit niet het geval is, zullen er geen condensstrepen ontstaan. Doordat de verbrandingstemperatuur bij gebruik van brandstofcelsystemen laag is en er weinig emissies zijn, is de kans op condensstrepen beperkt.

De uitstoot tijdens de vlucht wordt met 100% gereduceerd met volledig elektrisch vliegen met batterijsystemen. Echter is dit niet het geval wanneer men naar de volledige levenscyclus van een batterij kijkt. Bij het opwekken van de benodigde energie om de batterijen op te laden, komt namelijk nog CO₂ vrij. Een mitigerende maatregel is om de batterijen op te laden met hernieuwbare energie dat bijvoorbeeld door de luchthaven (eventueel elders) wordt opgewekt.

Turbo-elektrische systemen

Een distributed turbo-elektrisch systeem kan het brandstofverbruik tot 20% verminderen wanneer er tevens gebruik wordt gemaakt van de boundary layer ingestion methode (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicines, 2016). Bij deze methode wordt er zo gevlogen, dat de instromende lucht in de motoren een zo laag mogelijke snelheid hebben, zodat er minder voortstuwingsvermogen nodig is voor stuwkracht generatie.

Hybride-elektrisch

Door gebruik te maken van een Electrically Assisted Propulsion System (EAPS) turbofan, kan een emissiereductie van 5.5% behaald worden, met een NO_x emissiereductie van 3.7% (Ang, Rao, Kanakis, & Lammen, 2018). Dit heeft een positief effect op het klimaat.

De Boeing Sugar VOLT, is een truss-based wing hybride vliegtuig. Deze maakt gebruik van twee hybride turbofans die conventionele brandstof verbranden bij het opstijgen. Vervolgens schakelt het over naar de elektrische systemen om de motoren aan te drijven tijdens het vliegen. Dit systeem kan de emissies met 70% verminderen ten opzichte van huidige vliegtuigen van gelijke klasse (2019).

Luchtkwaliteit

Brandstofcelsystemen:

Doordat er efficiënter en bij lagere temperaturen brandstof wordt omgezet, wordt er minder of vrijwel geen NO_x gevormd. Vooral tijdens de start is dit relevant, waar er bij conventionele vliegtuigen relatief veel NO_x wordt uitgestoten dichtbij de grond ten opzichte van de totale vlucht. Bij gebruik van brandstofcelsystemen zal de NO_x uitstoot afnemen, wat positief is voor de lokale luchtkwaliteit.

Elektrisch vliegen met batterijsystemen:

Elektrisch vliegen neemt de NOx emissies tijdens de volledige vlucht weg, waardoor de elektrische vliegtuigen niet bijdragen aan de lokale luchtkwaliteit.

Turbo-elektrische systemen:

Door verbeterde aerodynamica en optimale gewichtsverdeling rond de vleugel, kan met dit systeem efficiënter worden opgestegen en geland. Hierdoor zou er brandstof bespaard kunnen worden en minder NOx uitgestoten kunnen worden. Dit heeft een beperkt effect op luchtkwaliteit.

Hybride-elektrisch:

Een EAPS systeem kan de emissies op en rondom een luchthaven verminderen doordat het gebruikt kan worden voor elektrisch taxiën en doordat er minder brandstof benodigd is bij het opstijgen en landen. Hierdoor neemt de uitgestoten NOx af, wat de lokale luchtkwaliteit verbetert.

De uitstoot tijdens het opstijgen is met de Boeing Sugar VOLT relatief minder, doordat het een grote aspect ratio heeft: hierdoor heeft het een kortere startbaan nodig. Hiermee wordt er minder NOx uitgestoten, wat een positief effect heeft op de lokale luchtkwaliteit.

3.4.3.3 Effect op veiligheid

(Hybride)-elektrische vliegtuigen moeten ook worden ontworpen conform certificeringseisen. In principe heeft het vliegen van een elektrisch vliegtuig geen effect op de veiligheid. Op het platform zal wel rekening moeten worden gehouden met een andere manier van 'tanken', namelijk het opladen van een batterij. Hierin zijn nog volop ontwikkelingen gaande. Wanneer op MAA elektrisch vliegen zou worden geïntroduceerd, is het aan te raden om een veiligheidsstudie te doen voor het operationeel gebruiken en laden van elektrische vliegtuigen.

3.4.3.4 Implementatietermijn

Het aantrekken van kleine elektrische sportvliegtuigen is op de korte termijn al mogelijk. Zo vliegt de Pipistrel Alpha Electro al gecertificeerd rond. Voor de vliegschool zou bij voldoende financiële middelen al op korte termijn kunnen worden gevlogen met elektrische vliegtuigen. De ontwikkeling van grotere toestellen bestemd voor passagiersvervoer zal nog vele jaren duren, waardoor deze toestellen, als de ontwikkeling ervan al technisch haalbaar is, pas op de lange inzetbaar zijn.

3.4.3.5 Sturing op inzetbaarheid

Het aantrekken van elektrische vliegtuigen valt of staat bij laadfaciliteiten. Om elektrische vliegtuigen aan te trekken zou het aanleggen van laadinfrastructuur een eerste stap kunnen zijn.

3.4.3.6 Kosten

De kosten voor de aanschaf van nieuwe type vliegtuigen ligt primair bij de luchtvaartmaatschappijen. Of dat in de toekomst nog steeds volledig het geval is, is de vraag. Het kan denkbaar zijn dat bijvoorbeeld batterijen uitwisselbaar gaan worden en dat hiervoor een andere businesscase ontstaat. In dat geval kan de luchthaven of derde partij eigenaar zijn van batterijen inclusief de laadfaciliteiten. Hierover is echter nog veel onbekend, omdat dit ook afhankelijk is van de ontwikkelingen die spelen bij vliegtuigfabrikanten en batterijproducenten.

Voor de luchthaven zal in ieder geval de infrastructuur moeten worden aangepast om hybride-elektrische vliegtuigen te kunnen faciliteren. Denk hierbij aan (snel)laders of battery swapping stations. Voor een snellaadstation wordt

tussen de €10.000 en €50.000 aan investeringen verwacht, afhankelijk van de benodigde infrastructuur. Een reguliere laadpaal is er al vanaf een paar duizend euro. Voor het leggen van de benodigde infrastructuur (bekabeling, etc.) is zo'n €10.000 euro mee gemoeid (MAHEPA, 2019).

3.4.4 Conclusies overige maatregelen

In paragraaf 3.4 zijn maatregelen en ontwikkelingen behandeld die van toepassing zijn op de vloot die wordt ingezet op MAA. Daarvan wordt op de korte termijn vlootvernieuwing als het meest kansrijk gezien, met name voor maatschappijen die al stillere toestellen in bestelling hebben staan. Hierbij worden aanzienlijke geluidsreducties en emissiereducties verwacht door de nieuwe types vliegtuigen die luchtvaartmaatschappijen van plan zijn te gaan inzetten of al hebben ingezet.

Wat betreft retrofitting zijn reducties afhankelijk van het type retrofit dat wordt gedaan. Hierdoor is het lastig te schatten wat hiervan voor MAA het effect zal zijn.

Naast deze ontwikkelingen is momenteel ook (hybride)-elektrisch vliegen volop in ontwikkeling. De effecten op geluid zijn nog niet volledig duidelijk. Geschat wordt dat dit type vliegtuigen een stuk stiller zal zijn, maar dat de frequentie van vliegbewegingen toe al nemen omdat deze vliegtuigen kleiner zijn. Wat dat doet met de hinder is nog niet bekend. Afhankelijk van het type vliegtuig, hybride of volledig elektrisch, zal het vliegen (bijna) emissievrij zijn. De luchthaven zou al op korte termijn kunnen beginnen met het aantrekken van kleine elektrische (sport)vliegtuigen, door het aanleggen van laadinfrastructuur. De ontwikkeling van grotere toestellen bestemd voor passagiersvervoer zal nog vele jaren duren, waardoor deze toestellen, als de ontwikkeling ervan al technisch haalbaar is, pas op de lange termijn inzetbaar zijn.

4 Hinderbeleving

Bij hinder wordt al snel gedacht aan geluid of geluidsoverlast. Hinderbeleving bestaat echter uit meer aspecten dan geluid alleen. In dit hoofdstuk wordt de (per definitie) subjectieve kant van hinder nader beschouwd. Het vertrekpunt hiervoor is het begrip de ‘kwaliteit van leven’ van omwonenden welke naast geluid ook uit andere factoren bestaat die volgens wetenschappelijk onderzoek bijdragen aan hinderbeleving en welzijn. Van daaruit wordt verder ingezoomd op de niet-akoestische factoren van geluidhinder. Tot slot wordt kort ingegaan op de huidige aanpak van MAA op dit gebied.

4.1 Kwaliteit van leven

Het debat rondom luchtvaart en hinder wordt traditioneel met name gevoerd rond economische factoren (onder andere werkgelegenheid en het aanbod voor passagiers) enerzijds en geluidsoverlast bij omwonenden anderzijds. Dit is zowel een erg beperkte blik als een weinig constructieve aanpak; beperkt aangezien ook onderwerpen als klimaat, gezondheid en verbondenheid een steeds belangrijkere rol spelen en weinig constructief als je kijkt naar het verharde debat en ontstane impasses tussen omwonenden en de Rijksoverheid of luchthaven. Kwaliteit van leven (KvL; Engels: Quality of Life of QoL) biedt een kader om de impact van een luchthaven op de omgeving breder te beschouwen. KvL geeft de zorgen van omwonenden over klimaat en gezondheid een plek en biedt tegelijkertijd luchthavens de mogelijkheid om ook positieve aspecten als werkgelegenheid, economische ontwikkeling van de regio en de toevoeging aan het transportaanbod beter te benadrukken. Op basis hiervan kunnen afwegingen gemaakt worden die een betere balans bieden tussen de lusten en lasten van luchtvaart met als beoogd resultaat minder hinder voor omwonenden en meer draagvlak voor de luchthaven.

4.1.1 Definitie van KvL

Kwaliteit van leven is een concept dat al sinds de jaren zeventig bestaat. In de literatuur bestaan verschillende omschrijvingen voor KvL, maar na herziening van een reeks definities (van bijvoorbeeld de WHO, EUROSTAT, het Nederlands Sociaal en Cultureel Planbureau en het Britse Office for National Statistics), wordt hier de volgende definitie hier gehanteerd (Roosien, Schreckenberger, Benz, Kuhlmann, & Hooper, 2018):

“Kwaliteit van Leven omvat alle omgevingsparameters met betrekking tot welzijn, alsook iemands tevredenheid met de situatie nu en diens verwachtingen van de toekomst.”

Gezien het veelzijdige karakter van het concept, is KvL verder onderverdeeld. Dit maakt KvL tastbaarder. Bovendien wordt het hiermee eenvoudiger om KvL te meten en systematisch te verbeteren. Er zijn negen verschillende indicatoren: materiële welvaart, werk of andere hoofdactiviteit, gezondheid, opleiding, vrije tijd en sociale interacties, economische en fysieke veiligheid, bestuur en grondrechten, leefomgeving, en de algemene tevredenheid over het leven. Deze negen indicatoren zijn in Figuur 43 weergegeven.



Figuur 43: Objectieve omgevingsparameters gerelateerd aan de subjectieve reflectie van een persoon over het huidige en toekomstige welzijn. Bovenstaande figuur laat negen indicatoren zien voor de kwaliteit van leven in relatie tot de luchtvaart

4.1.2 KvL en luchthavens

Luchthavens wereldwijd maken werk van tal van hinderbeperkende maatregelen. Deze staan echter dikwijls los van elkaar in plaats van dat ze deel uitmaken van een integrale aanpak. Ook is er weinig bekend over de waarde van individuele maatregelen voor de bewoners en de impact ervan op de KvL van bewoners. Welke invloed heeft een geluidsgeïsoleerd raam op het woongenot van omwonende dicht bij een luchthaven? Welke aspecten van maatschappelijke betrokkenheid kunnen de KvL van omwonenden verbeteren? En daarmee: met welke dingen moeten we het eerste aan de slag?

Een eerste stap kan bestaan uit het houden van een audit waarbij bestaande maatregelen in beeld worden gebracht en uitgedrukt worden door middel van KvL-indicatoren. Welke elementen van KvL relevant zijn voor een luchthaven is erg afhankelijk van de specifieke situatie en context. Denk hierbij aan de hoeveelheid verkeer, nabijheid van bebouwing, maar ook of de luchthaven een sterke groei heeft doorgemaakt en eventuele conflicten uit het verleden. Om relevant te zijn moet een factor in ieder geval te beïnvloeden zijn door de luchthaven en door omwonenden als belangrijk te worden gevonden voor hun KvL. Welke dat zijn kan dus per luchthaven verschillen.

Voorbeeld-indicatoren die onderdeel uit maken voor KvL voor luchthavens zijn:

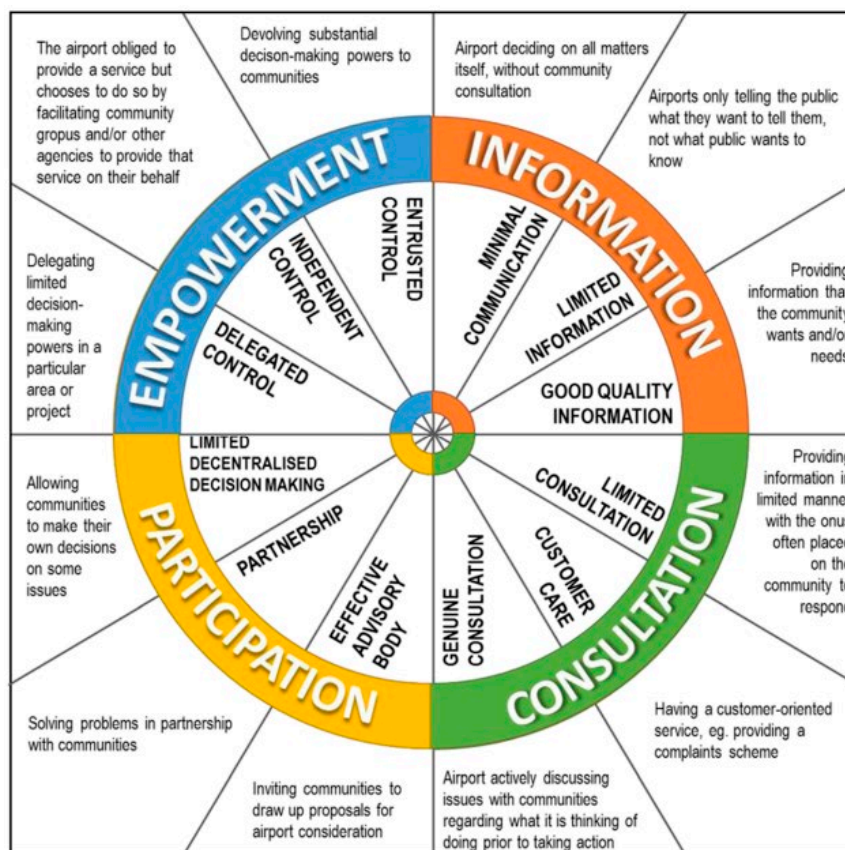
- Geluidsbelasting in L_{DEN} als maat voor gemiddelde geluidsbelasting;
- Aantal geluidsevents boven bepaalde ondergrens, al dan niet uitgesplitst in dag-nacht, voor piekgeluid;
- Aantal klagers (individueen);
- Grondgebonden CO₂- en NO_x-emissies;
- Plaatsgebonden-risicocontouren als maat voor veiligheid;
- Investerings in groen, recreatie en sport in de nabijheid van de luchthaven;
- Aantal stage/opleidingsplaatsen, gastlessen op lokale scholen;
- Aantal voltijd werkplekken.

Dit maakt KvL meetbaar en brengt eventuele gaten in de aanpak aan het licht. Door goede implementatie en monitoring kan de impact van maatregelen worden gemeten en kan de effectiviteit van maatregelen mogelijk worden verhoogd. Daarnaast maakt monitoring de complexe interactie tussen luchthavens, omgeving en hinder beter bespreekbaar, zorgt het voor meer transparantie tussen burgers en overheden, en draagt het daarmee bij aan een nieuwe benadering voor de uitdagingen rondom hinder en vliegen. (Roosien, Schreckenberger, Benz, Kuhlmann, & Hooper, 2018)

4.1.3 KvL en participatie

De toepassing van **effectieve communicatiestrategieën** en de mogelijkheid om **inspraak** te geven kan positieve invloed hebben op de KvL indicatoren *bestuur en grondrechten* en *leefomgeving*. Een effectieve communicatiestrategie kan een belangrijke rol spelen bij de acceptatie van geluid dat wordt veroorzaakt door activiteiten op luchthavens (Vader R. , 2007). Enerzijds betreft dat informatievoorziening, maar de mogelijkheid tot inspraak en overleg kan communicatie verbreden en verdiepen tot coöperatie.

Vaak gaat het dan om **participatie**processen. Het zogenaamde “Wheel of Participation”, weergegeven in Figuur 44, toont daarvan verschillende vormen. Participatie en dialoog met een brede vertegenwoordiging van stakeholders is uitermate geschikt om dilemma’s aan te pakken, bijvoorbeeld een situatie waarin vliegroutes meer worden geconcentreerd. Omwonenden onder of rond het oude en meer verspreide vliegp pad merken een verbetering; anderen mogelijk een achteruitgang. Een participatieproces kan helpen bij het maken van een dergelijke keuze, of het uitdenken van mogelijke alternatieven.



Figuur 44: Het "Wheel of Participation" toont verschillende vormen van participatie (Davidson, 1998; Asensio, Gasco, & de Arcas, 2017). Rechtsboven is de inspraak vrij beperkt en is er vooral één-richtingscommunicatie. Met de klok mee wordt de inspraak steeds groter: via actieve consultatie, tot traditionelere vormen van participatie, tot vormen waarbij controle (deels) uit handen wordt gegeven aan andere stakeholders. Het laat ook zien dat ieder doel andere activiteiten vergt

Participatie – en samenwerking in bredere zin – kan bijdragen aan het versterken van **vertrouwen** tussen verschillende partijen. Wanneer die samen een (gedeeltelijk) onzekere toekomst tegemoet gaan, bijvoorbeeld als het gaat om de toekomstige ontwikkeling van een luchthaven of regio, kan vertrouwen een belangrijke rol spelen. Het is relevant om te benadrukken dat vertrouwen twee kanten op gaat – en ook moet gaan. Omwonenden moeten de luchthaven kunnen vertrouwen in het meewegen van hun belangen, maar de luchthaven moet er ook van omwonenden op aan kunnen dat wensen van de luchthaven niet uit het oog worden verloren.

Participatie en vertrouwen raken ook sterk aan de beïnvloedbare niet-akoestische factoren, zoals “het hebben van een stem”, “gehoord worden” of “invloed hebben op een beslissing of verandering”. Dit is alleen mogelijk als kansen voor echte “tweerichtingscommunicatie” worden aangeboden.

Participatie moet gebaseerd zijn op concepten van empowerment, vertrouwen en leren. Zonder deze concepten is het minder waarschijnlijk dat participatie en betrokkenheid kan worden gecreëerd en sociaal optimale resultaten kunnen worden bereikt.

Omwonenden moeten een eerlijke kans krijgen om bijvoorbeeld de implementatie van een operationele procedure te kunnen beïnvloeden en een deel uitmaken van de processen die leiden tot een beslissing (Gasco L, 2017). Als mensen

het gevoel hebben dat ze serieus worden genomen en zich gehoord voelen ontstaat een gevoel van “empowerment” en kan vertrouwen worden opgebouwd. Op deze manier hebben “invloed hebben” en “een stem hebben” positieve invloed op de KvL omdat mensen zich in hun grondrechten voelen bevestigd. Belangrijk is om – bij voorkeur gezamenlijk – vast te stellen welke inspraak gewenst en passend is voor welke onderwerpen. Voor een goed participatieproces is het namelijk van belang dat partijen kennis van zaken hebben en beschikbare informatie goed kunnen interpreteren (Webler, 1995).

Daarnaast geeft een transparante, (inter)actieve manier van participatie blijk dat de luchthaven positieve invloed op de leefomgeving wil uitoefenen. Het tonen van die *goodwill*, waaruit blijkt dat de luchthaven en haar omgeving bepaalde waarden, prioriteiten of doelen delen, draagt eveneens bij aan vertrouwen (Mayer, Davis, & Schoorman, 1995). Hiervoor is het belangrijk om omgevingsafspraken duidelijk te definiëren om samen met alle stakeholders haalbare verwachtingen te creëren. De mogelijkheid van inspraak van stakeholders en vooral omwonenden over de onderwerpen en de uitvoering van omgevingsafspraken zorgt ervoor dat draagvlak wordt gecreëerd en de afspraken worden geaccepteerd. Op deze manier kan worden gewerkt aan de balans tussen economische factoren en leefbaarheid. Het staat buiten kijf dat gemaakte afspraken moeten worden nagekomen. Dat niet doen zorgt voor beschadigingen aan de relatie die niet eenvoudig te herstellen zijn.

De impact en de invloed door de luchthaven op ieder indicator verschilt afhankelijk van de locatie en de gewenste operationele verandering. Daarnaast kunnen ook interacties tussen verschillende KvL-indicatoren of overlap ontstaan. **Niet-akoestische factoren** (zie sectie 4.2) hebben vaak invloed op de beleving van hinder door vliegtuiggeluid en zijn direct gekoppeld aan de KvL van omwonenden.

4.2 Niet-akoestische factoren

Geluidsbelasting is een van de akoestische factoren van hinder. Met ‘akoestische factoren’ worden die factoren bedoeld die te maken hebben met de natuurkundige eigenschappen van geluid en geluidstrillingen, en van invloed zijn op de perceptie van geluid. Dit kan een geluidsniveau zijn, het aantal vliegtuigpassages boven een bepaalde drempelwaarde of de tijd dat een bepaalde drempelwaarde wordt overschreden.

‘**Niet-akoestische factoren**’ zijn die factoren die niet te maken hebben met het geluid zelf, maar met andere zaken die toch van invloed zijn op de ervaren geluidshinder. In deze sectie wordt uitgelegd wat onder akoestische en niet-akoestische factoren (NAF) wordt verstaan. Vervolgens wordt de mogelijke impact van NAF op hinderbeleving en de implicaties voor MAA onderzocht.

4.2.1 Verschillende niet-akoestische factoren

Niet-akoestische factoren zijn in verschillende categorieën onder te verdelen. Het RIVM onderscheidt er vijf, namelijk:

- Situationele factoren,
- Persoonlijke factoren,
- Contextuele factoren,
- Sociale factoren,
- Demografische factoren.

Onder de categorieën vallen zaken als de omgeving (situationeel), de gevoeligheid van een persoon voor het geluid (persoonlijk), voorspelbaarheid van het geluid (contextueel), economische belangen bij de geluidsbron (sociaal) en leeftijd (demografisch). Belangrijker dan welke factor waaronder valt – de vijf onderscheiden groepen zijn namelijk niet uniform gedefinieerd – is de vraag “welke factoren hebben de meeste impact op de hinderbeleving”? De wetenschap dat niet-akoestische factoren daar voor een zeer belangrijk deel (volgens sommige onderzoeken tot 80%) aan bijdragen, is een cruciaal aspect aan het terugdringen van hinder.

4.2.2 Impact van NAF op hinderbeleving

Naar de invloed van NAF op geluidshinder wordt al 30 jaar onderzoek gedaan. Toch blijft het lastig om de precieze impact op hinder te bepalen vanwege de vele factoren die een rol spelen¹⁰ en het feit dat deze factoren zelden allen tegelijkertijd worden meegenomen in hinderonderzoek.

Als input op de Luchtvaartnota heeft het RIVM een kennisscan uitgevoerd op hinder door luchtvaartgeluid waarin specifiek is gekeken naar de invloed van woningisolatie en andere NAF (Van Kempen & Simon, 2019). Dit rapport geeft een goed overzicht van de huidige kennis in de Nederlandse context. Van belang is ook een gezondheidsonderzoek rondom Schiphol, dat uitgevoerd is in 2002 (Breugelmans, van Wiechen, van Kamp, Heisterkamp, & Houthuijs, 2004). In deze studie is een breed scala aan NAF onderzocht en wordt hun relevantie in relatie tot geluidshinder in cijfers uitgedrukt. De belangrijkste conclusies zijn hieronder opgesomd.

- Over de **invloed van de omgeving** op de hinderbeleving is in de kennisscan geen consistent beeld ontstaan. Deze factoren zijn redelijk stabiel in de tijd, maar wel beïnvloedbaar. Mogelijk kunnen ingrepen in de leefomgeving (*soundscaping*), bijvoorbeeld het toevoegen van beplanting of waterpartijen, bijdragen aan een vermindering van geluidshinder (Lugten, Karacaoglu, White, Kang, & Steemers, 2018).
- **Geluidsgevoeligheid** draagt bij aan hinder. Ook **angst** dat een vliegtuig neerstort lijkt bij te dragen aan hinder, maar er is geen eenduidig beeld. Ook zijn deze factoren moeilijk te meten, zeker bij een grote populatie, en moeilijk te beïnvloeden.
- **Inspraak en voorspelbaarheid** lijken samen te gaan met minder geluidshinder. Daarnaast lijken personen gevoeliger voor een toename van geluid dan voor een gelijkwaardige reductie in geluid. Dit betekent dat een verschuiving van geluidsbelasting naar een nieuwe groep tot een toename van hinder kan leiden zelfs al neemt de totale geluidsbelasting af of al worden er minder mensen blootgesteld.
- **Verwachtingen** over toekomstig geluid lijken sterk van invloed op de ervaren hinder. Ook de **houding** ten opzichte van luchtvaart lijkt van invloed: een positieve houding leidt tot minder ervaren hinder. De invloed van economische binding met de luchtvaart is onvoldoende onderzocht.

Vanuit het perspectief van de luchthaven is het logisch om te sturen op factoren die een grote invloed hebben op de hinderbeleving en beïnvloedbaar zijn. Het Europese project ANIMA onderzoekt nieuwe inzichten en methodieken om de hinder van vliegtuiggeluid terug te dringen, zelfs bij een gelijkblijvend of toenemend aantal vliegtuigbewegingen. Binnen dit project is ook gekeken naar de invloed van NAF op hinderbeleving rond luchthavens en naar hoe luchthavens deze beleving kunnen verbeteren (COMOTI, MMU, ZEUS, 2019).

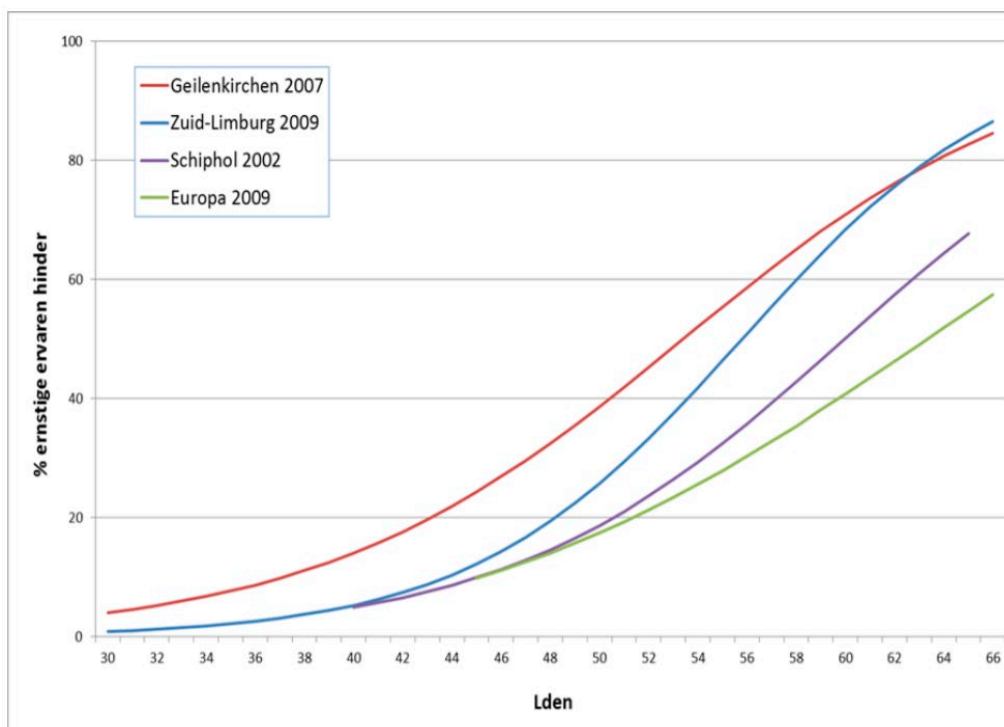
¹⁰ Een getal dat in luchtvaartkringen vaak wordt herhaald is dat slechts 20% tot 30% van de ervaren geluidshinder verklaard kan worden vanuit akoestische factoren. Dit getal komt voort uit een publicatie uit eind jaren 80 (Job, 1988). Hierin staat dat “10 tot 33% van de variantie in geluidshinder door het geluid van vliegverkeer verklaard kan worden”. Simpel gezegd: mensen hebben in verschillende mate last van geluidshinder. Deze spreiding is slechts voor 10 tot 33% te verklaren door verschillen in het geluid van vliegtuigen. Voor het overgrote deel zijn **verschillen** in ervaren hinder dus niet te herleiden tot verschillen in de hoeveelheid vliegtuiggeluid, maar hangen ze samen met andere, subjectieve zaken.

Tabel 6: Relatie tot hinder en mate sturing door luchthaven van NAF (Vader R. , 2007)

	Sterke relatie met hinderbeleving	Matige relatie met hinderbeleving	Zwakke relatie met hinderbeleving
Beïnvloedbaar	• Relatie t.o.v. bron • Invloed op maatregelen (bijv. isolatie of persoonlijke compensatie) • Inspraak m.b.t. operatie • Gevoel van controle • Erkenning • Vertrouwen	• Mogelijkheid tot vermijden geluid • Invloed op maatregelen (maatschappelijke compensatie) • Verwachtingen over toekomstig geluid • Voorspelbaarheid van geluid • Eerlijk proces	• Media-aandacht • Maatschappelijke status
Niet beïnvloedbaar	• Lagere leeftijd (<55 jr) • Inkomen • Persoonlijke gevoeligheid voor geluid • Eerdere ervaring met geluid	• Hoelang een persoon al woont in de buurt van de luchthaven • Angst voor geluid • Huiseigenaar of huurder (i.v.m. waarde woning)	• Hogere leeftijd (55+) • Bekendheid met negatieve effecten geluid • Aantal kinderen • Opleidingsniveau
Beïnvloedbaarheid onbekend	• Overtuiging dat geluid verminderd of vermeden kan worden	• Persoonlijke baten bij luchthaven • Culturele verschillen • Land van herkomst	

4.2.3 Niet-akoestische factoren en MAA

Voor Schiphol (2002), Geilenkirchen (2007) en Zuid-Limburg (2009) zijn dosis-responserelaties opgesteld waarmee het aantal ernstig gehinderden bepaald kan worden (zie Figuur 45). Voor slaapverstoring is wel een relatie voor Schiphol afgeleid, maar zijn geen relaties voor Zuid-Limburg of Geilenkirchen beschikbaar.



Figuur 45: Dosis-effect relaties Geilenkirchen, Zuid-Limburg en Schiphol. (Bron afbeelding: (RIVM, 2014))

Er is geen specifieke relatie opgesteld voor vliegverkeer van MAA. Dit maakt dat niet-akoestische factoren minder goed kunnen worden meegenomen in de schatting van geluidshinder rondom de luchthaven, bijvoorbeeld doordat niet-akoestische factoren die een rol spelen nabij vliegbasis Geilenkirchen ook zijn meegenomen in de relatie voor Zuid-Limburg. Daarbij komt dat in de regio Zuid-Limburg ook sprake is van hinder ten gevolge van verkeer van of naar de luchthaven van Luik. Hierdoor is het afhankelijk van het gebied niet uitgesloten dat ook dit verkeer bijdraagt aan de beleefde hinder rondom MAA.

Niveau van achtergrondgeluid

Naast gebieden waar hinder door vliegtuigen van buitenlandse vliegvelden een bijdrage kent, zijn er ook verschillende gebieden rondom MAA waar vliegverkeer van en naar MAA geluid veroorzaakt. Dit verkeer resulteert bijvoorbeeld in geluid in stedelijk gebied, zoals Maastricht, maar ook in meer landelijk gebied, zoals het heuvelland. In het meer landelijke gebied zullen de achtergrondgeluidniveaus doorgaans lager liggen. Dit kan tot gevolg hebben dat vliegtuiggeluid hier beter hoorbaar is dan in meer stedelijke gebieden waar het niveau van het achtergrondgeluid hoger is. Dit is een voorbeeld van een situationele factor, die ertoe kan leiden dat vliegtuiggeluid van MAA in verschillende gebieden rond de luchthaven verschillend ervaren wordt.

Ingrepen in de omgeving

Situationele factoren zijn mogelijk van invloed op de hinderbeleving. Een prettige omgeving kan mogelijk leiden tot minder beleefde hinder, bijvoorbeeld door toevoeging van beplanting, bomen of waterinstallaties. Sectie 3.3 bevat meer voorbeelden van dit type maatregelen. Een voordeel van dergelijke ingrepen is dat ze een langere tijd bestaan en daardoor niet veranderlijk zijn. Ook zijn het zaken die de luchthaven zelf, in samenspraak met omgeving en de gemeente, in gang kan zetten. Gedetailleerd onderzoek is nodig om uit te zoeken welke maatregelen het grootste en meest langdurige effect sorteren voor de omgeving van MAA.

Communicatie en inspraak

Contextuele factoren zoals de voorspelbaarheid van geluid en mogelijkheden tot inspraak hebben duidelijk invloed op de hinderbeleving en zijn door de luchthaven goed te beïnvloeden. Denk hierbij aan duidelijke informatieverschaffing over wat er wanneer gaat gebeuren of waarom er wordt afgeweken van 'het normaal'. Dit kan door middel van een goed toegankelijke, goed onderhouden website en/of (digitale) nieuwsbrief en via sociale media in geval van wijzigingen of uitzonderlijke situaties. Heldere en consistente communicatie staat hierbij centraal. In de CRO wordt de vergelijking gemaakt met andere luchthavens (de helft van de CO²-emissies van Schiphol) of een NOx-uitstoot gelijk aan 200 koeien. Dergelijke vergelijkingen kunnen helpen ingewikkelde cijfers te duiden.

In het verlengde van communicatie ligt het organiseren van inspraakmogelijkheden. Die zijn van grote invloed en zijn te organiseren vanuit de luchthaven. Dit maakt het echter nog niet gemakkelijk. Inspraak vereist vertrouwen tussen luchthaven en omgeving (over-en-weer). Dit gaat per definitie gepaard met het deels uit handen geven van controle. Logischerwijs gaat dat stapje voor stapje, en vergt dit dus een lange adem. Inspraak dient niet enkel uit de kast gehaald te worden in geval van crisissituaties. Veelgehoorde kritiek op inspraakprocedures is dat 'alles toch al vast staat' of dat een luchthaven er 'iets doorheen wil drukken'.

Vanuit MAA wordt er een actieve en duurzame relatie gezocht met de directe omgeving. Verschillende maatregelen of voorbereidingen daartoe zijn inmiddels getroffen:

- Proactief en open informeren, bijvoorbeeld over proefdraaien;
- Informatiebijeenkomsten;
- Overleg met (direct) omwonenden;
- Vragen, opmerkingen en klachten via telefoon of mail;
- Communicatie via website en sociale media.

Sociale factoren

Sociale factoren, zoals iemands relatie ten opzichte van de geluidsbron, zijn belangrijk voor de hinderbeleving. MAA kan hierop sturen door het zijn van 'een goede buur'. Dit kan door het bieden van een goede context, door het bieden van een aantrekkelijk aanbod van diensten voor de omgeving en door het benadrukken van de relatie met de lokale economie. Dat geldt zowel voor werkgelegenheid als relevantie voor lokaal bedrijfsleven uit de Aviation Valley. De link met de lokale omgeving komt nu nog onvoldoende uit de verf.

Vanuit de CRO klinkt de behoefte aan dialoog met de luchthaven door om samen te zoeken naar een balans tussen economie en leefbaarheid:

Door het maken van omgevingsafspraken wordt beoogd de duurzame verankering van de luchthaven Maastricht Aachen Airport in de Limburgse economie hand in hand te laten gaan met behoud van de leefkwaliteit voor omwonenden.

Niet te beïnvloeden factoren

Persoonlijke factoren zijn relevant voor de hinderbeleving, maar niet of nauwelijks beïnvloedbaar door de luchthaven. Het enige dat MAA kan doen is erkennen dat persoonlijke factoren bestaan: hetzelfde geluid kan voor de ene persoon een totaal andere ervaring geven dan voor de andere. Ook kan de luchthaven het gesprek aangaan met bezorgde omwonenden over de (beperkte) risico's van luchtvaart. In de nabijheid van Geilenkirchen maakt men zich bijvoorbeeld meer zorgen over de veiligheid en is de houding negatiever dan rondom Schiphol. Ook kan MAA

informatie verschaffen waarmee omwonenden hinder eventueel kunnen vermijden, bijvoorbeeld als een bijzonder luid vliegtuig de luchthaven bezoekt.

Demografische factoren zijn moeilijk te beïnvloeden. Desondanks kan MAA demografische informatie gebruiken om de toonzetting en detailniveau van de communicatie af te stemmen op de bewoners dicht bij de luchthaven.

Beschikbaarheid van begrijpelijke informatie en het gevoel serieus genomen te worden zorgen voor vertrouwen, wat een bepalende factor is in de hinderbeleving.

5 Conclusies

Dit hoofdstuk vat de conclusies samen van het onderzoek naar hinderbeperkende maatregelen en hinderbeleving. De centrale vraagstelling bij het onderzoek was:

Welke hinderbeperkende maatregelen zijn bij Maastricht Aachen Airport mogelijk; wat zijn de effecten van deze maatregelen op geluid, geluidhinder, luchtkwaliteit, geuroverlast en slaapverstoring; wat is de termijn waarop deze maatregelen kunnen worden toegepast met de daarbij behorende kosten; en op welke wijze kan worden gestuurd op het toepassen van de maatregelen?

Het uitgangspunt van het onderzoek was primair de consultatieronde die heeft plaatsgevonden onder omwonenden, vertegenwoordigers van het bedrijfsleven en regionale overheden. Gedurende het onderzoekstraject heeft afstemming plaatsgevonden met de Werkgroep Hinderbeperking.

Voor elk van de maatregelen is onderzocht wat het effect is op geluid, emissies en veiligheid. Daarnaast is een schatting gegeven van de kosten, de implementatietermijn en de sturingsmogelijkheden. De maatregelen zijn ondergebracht in vier categorieën. Per categorie is een conclusie geschreven.

Maatregelen grondgeluid

De voorgestelde maatregelen kunnen verlichting bieden voor de omwonenden die hinder door grondgeluid ervaren. De effecten worden voornamelijk op lokale schaal verwacht.

Op basis van de inventarisatie die is gedaan, en de schatting van de effecten, is het reduceren van APU- en GPU-gebruik de meest in het oog springende maatregel. Deze maatregel is al in gang gezet door de luchthaven door te investeren in pre-conditioned air en walstroom. Naast een reductie van geluidniveaus zal dit ook terug te zien zijn in de emissies die worden uitgestoten op het platform. Een andere maatregel waar de luchthaven momenteel de mogelijkheden van verkent, is het doen van aanpassingen aan de baan lay-out. Afhankelijk van de gekozen aanpassingen kan dit lokaal voor verbeteringen zorgen.

Van de andere maatregelen is het gereduceerd gebruik van straalomkeerders het meest kansrijk op de korte termijn, tegen relatief lage kosten. Met betrekking tot taxiën met minder motoren is, net als voor elektrisch taxiën, de verwachting dat hier geringe winst te behalen valt wat betreft geluidhinder; dit in verband met de benodigde warming-up en cooling-down van de motoren. Voor elektrisch taxiën geldt daarnaast dat hiervoor forse investeringen nodig zijn.

Ook voor het operationaliseren van waterinjectie bij proefdraaien geldt dat hier aanzienlijke kosten aan verbonden zijn, maar omdat proefdraaien om langduriger geluid gaat kan dit wel tot meer hinderreductie voor de omgeving leiden.

Hoewel de maatregelen die hier zijn geïnventariseerd kunnen leiden tot geluid- en hinderreductie, zullen ze geen effect hebben op de berekeningen voor het 50% reductie scenario, omdat dergelijke bronnen niet meegenomen worden in het wettelijk voorgeschreven model voor het berekenen van vliegtuiggeluid rondom luchthavens.

Operationele maatregelen

Het gros van de operationele maatregelen heeft op regionaal niveau effect, waar voor de locaties dichtbij de luchthaven de effecten beperkt zijn en verder weg van de luchthaven groter worden.

De meest kansrijke maatregelen lijken te liggen in de vorm van routeoptimalisaties en het creëren van rustperiodes door alternerend baan- en routegebruik. Hierbij kunnen de vrijheden in toekenning van de baanrichting worden benut voor het maken van duidelijke afspraken over de baanpreferentie. Ook het minder vliegen in specifieke periodes kan aanzienlijk bijdragen in de hinderreductie.

Daarnaast zijn voor landingen de CDO-procedure en lage weerstand nadering mogelijke maatregelen om door te voeren, voor zowel geluid- als emissiereductie. Een kanttekening die hierbij moet worden geplaatst is dat dit niet altijd voor alle typen vliegtuigen mogelijk is; dat hangt niet alleen af van het type vliegtuig, maar ook bijvoorbeeld van het actuele gewicht van het vliegtuig. Voor startprocedures kan onderzocht worden welke procedure voor de omgeving van MAA resulteert in de minste hinder en/of tot het ontzien van specifieke gebieden. Daarbij dient bijvoorbeeld rekening gehouden te worden met de ligging van woonkernen rondom de luchthaven en de vloot zoals die op MAA vliegt. Voor een deel van deze maatregelen moet onder andere de luchtverkeersleiding worden betrokken en ook de luchtvaartmaatschappijen. De implementatiekosten voor deze maatregelen worden relatief laag geschat.

Voor minder vliegen in specifieke periodes, baanpreferentie, CDO en lage weerstand nadering is te verwachten dat het effect hiervan ook wordt teruggezien in het 50% reductie scenario. De maatregel die zich richt op rustperiodes door alternerend routegebruik zal niet zichtbaar zijn in jaargemiddelde berekeningen, maar wel degelijk lokaal de hinder kunnen verminderen.

Maatregelen in de omgeving

De maatregelen in de omgeving richten zich op aanpassingen in het landschap of aan gebouwen. Het aanbrengen van barrières, in de vorm van een wand of bijvoorbeeld een gebouw, kan helpen om te zorgen dat omwonenden in de directe omgeving van de luchthaven minder gehinderd worden door grondgeluid. Wanneer slim wordt omgegaan met oriëntatie van nieuw te realiseren woongebouwen, het aanbrengen van gewassen en zichtbaar groen, kan geluidhinder worden gereduceerd. Onderzocht kan worden of olifantsgras tussen de luchthaven en Meerssen en bij Ulestraten een reductie kan opleveren van geluidsniveaus van startende of taxiënde vliegtuigen. Tegelijkertijd geeft groen, wanneer correct toegepast, de mogelijkheid voor het (beperkt) invangen van fijnstof en CO₂. Het zicht op groen en natuurlijke geluiden kunnen een positief effect hebben op hinderbeleving. De meeste maatregelen kunnen worden meegenomen in (nieuw)bouwprojecten.

Overige maatregelen

Van de overige maatregelen wordt op de korte termijn vlootvernieuwing als het meest kansrijk gezien, met name voor maatschappijen die al stillere toestellen in bestelling hebben staan. Hierbij worden aanzienlijke geluidsreducties en emissiereducties verwacht door de nieuwe types vliegtuigen die luchtvaartmaatschappijen van plan zijn te gaan inzetten of al hebben ingezet. Hiervan zullen de effecten ook terug te zien zijn in het 50% reductie scenario. Wat betreft retrofitting is het afhankelijk van het type retrofit dat wordt gedaan; hierdoor is het lastig te schatten wat hiervan voor MAA nu het effect zal zijn.

Naast deze ontwikkelingen is momenteel ook (hybride)-elektrisch vliegen volop in ontwikkeling. De effecten op geluid zijn nog niet volledig duidelijk. Geschat wordt dat dit type vliegtuigen een stuk stiller zal zijn, maar dat de frequentie van vliegbewegingen toe zal nemen omdat deze vliegtuigen kleiner zijn. Wat dat doet met de hinder is nog niet

bekend. Afhankelijk van het type vliegtuig, hybride of volledig elektrisch, zal het vliegen (bijna) emissievrij zijn. De luchthaven zou al op korte termijn kunnen beginnen met het aantrekken van kleine elektrische (sport)vliegtuigen, door het aanleggen van laadinfrastructuur. De ontwikkeling van grotere toestellen bestemd voor passagiersvervoer zal nog vele jaren duren, waardoor deze toestellen, als de ontwikkeling ervan al technisch haalbaar is, pas op de lange termijn inzetbaar zijn.

Cumulatie van geluid

Geluidhinder wordt niet alleen veroorzaakt door het vliegverkeer van MAA; er is ook sprake van cumulatie van geluid in Zuid-Limburg. Nabijgelegen velden zoals vliegbasis Geilenkirchen en Luik zorgen voor extra geluidhinder. Daarnaast is de hinder door geluid van andere bronnen zoals (snel)wegen ook aanwezig.

Hinderbeleving

Naast de inventarisatie en beoordeling van hinderbeperkende maatregelen is een uitwerking gegeven over hinderbeleving. Bij die uitwerking ligt de nadruk op de niet-akoestische factoren van hinderbeleving. Hierin kwam naar voren dat goede communicatie en participatie essentieel is voor het creëren van vertrouwen bij de mensen in de omgeving van de luchthaven. Niet-akoestische factoren zoals geluidsgevoeligheid, houding ten opzichte van de luchthaven en voorspelbaarheid spelen mee in de perceptie van geluidhinder. Die voorspelbaarheid komt ten dele ook terug in de hinderbeperkende maatregelen; als omwonenden weten op welke baanverdeling ze kunnen rekenen dan kan dat positief bijdragen aan de hinderbeleving.

6 Referenties

- (Dichter, Henderson, Riedel, & Riefer. (2020). How airlines can chart a path to zero carbon flying. *McKinsey & Company*.
- Adecs Airinfra. (2011). *Luchtvaartgebonden Luchtkwaliteit Maastricht Aachen Airport*. Adecs Airinfra.
- Airport, M. A. (n.d.). Retrieved 8 23, 2020, from <https://www.maa.nl/over-ons/cijfers/>
- Airports Council International. (2019). *ACA Annual report 2018-2019*. Montréal.
- Alam, S., Nguyen, M., Abass, H., Lokan, C., Ellejmi, M., & Kirby, S. (2010). A Dynamic Continuous Descent Approach Methodology for Low Noise and Emission. *Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. IEEE/AIAA.
- Allan, J. R. (2000, August). The cost of bird strikes and bird strike prevention. *Natural Resources Management and Policy Commons*, pp. 147-153.
- Ang, A. W., Rao, A. G., Kanakis, T., & Lammen, W. (2018). Performance analysis of an electrically assisted propulsion system for a short-range civil aircraft. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 1490-1502.
- Asensio, C., Gasco, L., & de Arcas, G. (2017). A Review of Non-Acoustic Measures to Handle Community Response to Noise around Airports. *Current Pollution Reports*, 3, 230-244.
- ATAG. (2009). Beginner's Guide to Aviation Biofuels. *Air Transport Action Group*.
- ATAG. (2009). Beginner's guide to aviation biofuels.
- ATAG. (n.d.). *Case Studies - A320 Neo*. Retrieved 07 28, 2020, from Aviation Benefits Beyond Borders: <https://aviationbenefits.org/case-studies/a320neo/>
- Atlas Leefomgeving. (2019). *Kaarten*. Retrieved 07 29, 2020, from Atlas Leefomgeving: <https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten?config=3ef897de-127f-471a-959b-93b7597de188&gm-x=150000&gm-y=455000&gm-z=3&gm-b=1544180834512,true,1;1553093826514,true,0.8;>
- Aviation, S. (2018). *Aircraft on the Ground CO2 Reduction Programme*.
- Avinor. (2019). *Electric Aviation*. Retrieved 2020, from <https://avinor.no/en/corporate/klima/electric-aviation/electric-aviation>
- Bal, D., Beijer, H. M., van Dobben, J. H., & van Hinsberg, A. (2007). *Overzicht van kritische stikstofdeposities voor natuurdoeltypen*. Ede: Ministerie van LNV, Directie Kennis.
- Basu, A. (2019, May). *Electric Taxiing Systems: Past, Present and the Possible Future*. Retrieved March 9, 2020, from Avionics International: interactive.aviationtoday.com/avionicsmagazine/may-2019/electric-taxiing-systems-past-present-and-the-possible-future
- Baumann, S., & Katja, H. (2016). *Akustische Evaluierung elektromobiler Schlepptechnologien für Flugzeuge - Der Beitrag von TaxiBot und eSchlepper zur Reduktion von Bodemlarm am Flughafen Frankfurt*.
- Bentsen, N. S., & Felby, C. (2012). Biomass for energy in the European Union - a review of bioenergy resource assessments. *Biotechnology for Biofuels*.
- Bergenson, A. (2020). *Shanghai airports to receive service from hydrogen powered shuttle buses*. Retrieved from Hydrogen Fuel News: <https://www.hydrogenfuelnews.com/shanghai-airports-to-receive-service-from-hydrogen-powered-shuttle-buses/8539812/>
- Bergmans, D., Van Engelen, J., & Hogenhuis, R. (2010). *COSMA deliverable report 1.3 & 1.4 part 1*. Amsterdam: NLR.
- Bewoners Aanspreekpunt Schiphol. (2015). Retrieved from Bewoners Aanspreekpunt Schiphol: <http://www.bezoekbas.nl/userfiles/Toelichting%20gewijzigde%20startprocedure%20KLM%2015042014.pdf>
- Biondi, K. M., Belant, J. L., Martin, J. A., DeVault, T. L., & Wang, G. (2011, September 22). White-tailed deer incidents with U.S. civil aircraft. *Wildlife Society Bulletin*.
- Bos, B. v. (2010). *Grondgebonden geluidsreductie (bij een F-16) door middel van waterinjectie*. NLR.

- Bosschaart, C. E. (2012). LF airport ground noise mitigation using scattering sections. *9th European Conference on Noise Control, EURONOISE 2012, 10-13 June 2012, Prague, Czech Republic*. Den Haag: TNO.
- Breugelmans, O., van Wiechen, C., van Kamp, I., Heisterkamp, S., & Houthuijs, D. (2004). *Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002*. Bilthoven: RIVM.
- CAA. (2017). *Review of Arrival Noise Controls*. Civil Aviation Authority.
- Cauberg-Huygen. (2011). *Aanwijzingsbesluit Maastricht Aachen Airport Onderzoek luchtkwaliteit*. Maastricht: Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs BV.
- CBS. (2020). *Energy Balance SHeet 2019*. Statline.
- Chesser, R. K., Caldwell, R. S., & Harvey, M. J. (1975). Effects of noise on feral populations of *Mus musculus*. *Physiological Zoology*, pp. 323-325.
- Choi. (2011). Amine-tethered solid adsorbents coupling high adsorption capacity and regenerability for CO₂ capture from ambient air. *Chemistry. Sustainability. Energy. Materials*.
- Christensen, A. (2020, June 4). Assessment of Hydrogen Production Costs from Electrolysis: United States and Europe. ICCT.
- Civil Aviation Authority. (2010). *ERCD REPORT 1007 Noise Measurements of Reverse Thrust at Heathrow and Stansted Airports*. Civil Aviation Authority.
- Climate Proof Cities Consortium. (2014). *Climate Proof Cities Eindrapport*. Climate Proof Cities Consortium. Retrieved from WUR.
- Climeworks. (2018). *Capturing CO₂ from Air*. Retrieved from <http://www.climeworks.com/co2-removal/>
- Commissie MER. (2016, augustus 25). Retrieved 08 25, 2020, from Commissie MER: https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p30/p3052/3052_tussentijds_toetsingsadvies.pdf
- COMOTI, MMU, ZEUS. (2019). *D2.4 Recommendations on annoyance mitigation and implications for communication and engagement*. ANIMA.
- Crisis- en herstelwet. (2019). Retrieved 07 29, 2020, from Overheid.nl: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0027431/2019-01-01>
- CRO Maastricht. (2019, 8 20). Retrieved from CRO Maastricht: <https://cromaastricht.nl/content/files/cro-190926-aanpak-afhandeling-dakpanschade.pdf>
- Davidson, S. (1998). Spinning the wheel of empowerment. *Planning*, 14-15.
- den Ouden, B., Kerkhoven, J., Warnaars, J., Terwel, R., Coenen, M., Verboon, T., . . . Koot, A. (2020). *Klimaatneutrale energiescenario's 2050 - Scenariostudie ten behoeve van de integrale infrastructuurverkenning 2030-2050*. Berenschot & Kalavasta.
- den Ouden, B., Lintmeijer, N., Bianchi, R., & Warnaars, J. (2018). *Richting 2050: systeemkeuzes en afhankelijkheden in de energietransitie*. Berenschot.
- Derei, J., & Meerstadt, C. J. (2019). *Elektrisch vliegen op korte afstand*. NLR.
- Dichter, A., Henderson, K., Riedel, R., & Riefer, D. (2020). *How Airlines can Chart a Path to Zero Carbon Flying*. Retrieved from McKinsey & Company: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-transport-infrastructure/our-insights/how-airlines-can-chart-a-path-to-zero-carbon-flying?cid=other-eml-alt-mip-mck&hlkid=ee0f780eab5449919f9850d77af88c7f&hctky=11757718&hdpid=6f7522a2-4e18-42db-95f>
- Dubois, T. (2011, February 11). *WheelTug, Safran-Honeywell and IAI Offer Three Rival Solutions for Airline Engine-off Taxiing*. Retrieved March 09, 2020, from AIN Online: <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2014-02-11/wheeltug-safran-honeywell-and-iai-offer-three-rival-solutions-airline-engine-taxiing>
- Dusseldorp, A. (2015). *Aanbevelingen voor de samenstelling en duiding*. Bilthoven: RIVM.
- EBN & Gasunie. (2017). *CO₂ transport en Opslag in Nederland*. in opdracht van EZK.
- EC. (2019, January 11). *Energy*. Retrieved from Renewable energy directive: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview>

- EC. (2019, January 11). *Energy - biofuels*. Retrieved from Sustainability criteria:
<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biofuels/sustainability-criteria>
- EC. (2020, June 02). *Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II)*. Retrieved from JEC:
<https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/renewable-energy-recast-2030-red-ii>
- Eindhoven Airport. (2019, December 1). Eindhoven Airport BurenApp. Eindhoven: Eindhoven Airport.
- Eurocontrol. (2005). *Aircraft Particulate Matter Emission Estimation through all Phases of Flight - EEC/SEE/2005/0014*. Eurocontrol.
- Eurocontrol. (2020, 05 15). *Taxi times - Winter 2019-2020*. Retrieved 07 15, 2020, from Eurocontrol:
www.eurocontrol.int/publication/taxi-times-winter-2019-2020
- European Commission. (2019). *Renewable Energy - Recast to 2030 (RED II)*. Retrieved from EU-EC:
<https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/renewable-energy-recast-2030-red-ii>
- European Commission. (2019). *Renewable Energy: Recast to 2030 (REDII)*.
- European Commission. (2020, July 8). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe.
- European Commission. (2020). *Green Deal: Sustainable Mobility*. Retrieved from
<https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal>
- Fasihi, M., Efimova, O., & Breyer, C. (2019). Techno-economic assessment of CO₂direct air capture plants. *Journal of Cleaner Production*, 957-980.
- Figuerola, J. D. (2008). Advances in CO₂ capture technology – the US Department of Energy’s Carbon sequestration program. *Int. J. Greenhouse Gas Control* 2, 9–20.
- Fleuti, E., & Hofmann, P. (2005). *Aircraft APU Emissions at Zurich Airport*. Zurich: Unique.
- Gasco L, A. C. (2017). Communicating airport noise emission data to the general public. *Sci. Total Environ.*
- Gezondheidsraad. (2004). *Over de invloed van geluid op de slaap en de gezondheid - 2004/14*. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Gezondheidsraad. (2018). *Gezondheidswinst door schonere lucht Nr. 2018/01*. Gezondheidsraad.
- GGD Amsterdam. (n.d.). *GGD Amsterdam*. Retrieved 08 12, 2020, from Informatieblad Groen en Geluid:
http://www.ggd.amsterdam.nl/publish/pages/472951/informatieblad_groen_en_geluid.pdf
- Gil, D., Honarmand, M., Pascual, J., Perez-Mena, E., & Macias Garcia, C. (2015, March-April). Birds living near airports advance their dawn chorus and reduce overlap with aircraft noise. *Behavioral Ecology*, pp. 435-443.
- Heathrow Airport - respite research. (n.d.). *Heathrow Airport - respite research*. Retrieved August 24, 2020, from Heathrow Airport - respite research: <https://www.heathrow.com/company/local-community/noise/making-heathrow-quieter/respice-research>
- Hepperle, M. (2012). *Electric Flight – Potential and Limitations*. German Aerospace Center, Institute of Aerodynamics and Flow Technology.
- Holladay, J., Hu, J., King, D., & Wang, Y. (2009). An overview of hydrogen production technologies.
- Hospodka, J. (2014). Cost-benefit analysis of electric taxi systems for aircraft. *Journal of Air Transport Management*, 81-88.
- Hoyas, F. (2016). *Single Engine Taxi for CDM*. Eurocontrol.
- Hydrogen Council. (2020, January). Path to hydrogen competitiveness - A cost perspective.
- Hydrogen Europe. (2020, May). Green Hydrogen Investment and Support Report - Hydrogen Europe’s input for a post COVID-19 recovery plan.
- IATA. (2008). *IATA 2008 Report on Alternative Fuels*.
- IATA. (2008). *Report on alternative fuels*.
- IATA. (2020). *Sustainable Aviation Fuels Factsheet*.
- ICAO. (2011). *Airport Air Quality Manual Doc 9889*. Quebec, Canada: ICAO.
- ICAO. (2019). *2019 Environmental Report: Destination Green, the Next Chapter*.

- ICCT. (2017, January). The European Commission's renewable energy proposal for 2030. ICCT.
- ICCT. (2017). *Transatlantic Airline Fuel Efficiency Ranking, 2017*. Washington: International Council on Clean Transportation.
- International Air Transport Association. (Accessed July 2020). *Sustainable Aviation Fuels: Factsheet*. Retrieved from <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-what-is-saf.pdf>
- International Airport Review. (2020). *Incheon Airport to operate fuel cell electric buses at Terminal 2*. Retrieved from <https://www.internationalairportreview.com/news/117316/fuel-cell-bus-operations-incheon-airport/>
- IRENA. (2019). Hydrogen: A renewable energy perspective.
- Janssen et al. (2011). : Black carbon as an additional indicator of the adverse effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. *Environ Health Perspect. Environ Health Perspect.*
- Job, R. (1988). Community response to noise: a review of factors influencing the relationship between exposure and reaction. *Journal of acoustic society of America*, 991-1001.
- K. White, M. A. (2014). Continuous Descent Approach (CDA) compared to regular descent procedures: Less annoying? *Internoise 2014*. Melbourne: VU.
- Kaveh Rajab Khalilpo. (2019). Chapter 5 - Interconnected Electricity and Natural Gas Supply Chains: The Roles of Power to Gas and Gas to Power. Academic Press.
- Kemp, L., & Mertens, P. (2018). *Energiescan gebouwen Maastricht Aachen Airport*. Sittard: Driven by Values.
- Kenniscentrum InfoMil. (n.d.). *Lokaal geurbeleid (provincie)*. Retrieved July 27, 2020, from Kenniscentrum InfoMil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/geur/lokaal-geurbeleid/>
- Khawaja, C., & Janssen, R. (2014). Sustainable supply of non-food biomass for a resource efficient bioeconomy - A review paper on the state-of-the-art. WIP - Renewable Energies.
- KICL. (2020, 9 22). *Klachten Informatie Centrum Luchtverkeer*. Retrieved from <https://www.kicl.nl/luchthavens/rapporten/maastricht/>
- Kintisch. (2014). *MIT Technology Review: Can Sucking CO2 Out of the Atmosphere Really Work?* Retrieved from <https://www.technologyreview.com/s/531346/can-sucking-co2-out-of-the-atmosphere-really-work/>,
- Koudis, G., Hu, S., Majumdar, A., Jones, R., & Stettler, M. (2017). Airport emissions reductions from reduced thrust takeoff operations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15-28.
- Kuijers, T., Hocks, B., Witte, J., Becchi, F., Wijnakker, R., Frijters, E., . . . de Vries, S. (2018). *Klimaat Energie Ruimte: Ruimtelijke verkenning energie en klimaat*. Klimaataakkoord / Government of the Netherlands.
- Kuypers, V. (2014, 10 31). *Miscanthus in de polder*. Retrieved 08 26, 2020, from TOPOS: <http://www.toposonline.nl/2014/miscanthus-in-de-polder/>
- Lam, M. K. (2012). Current status and challenges on microalgae-based carbon capture. *Greenhouse Gas Control* 10, 456–469.
- Lauenborg Møller, K., Brauer, C., Mikkelsen, S., Bonde, J. P., Loft, S., Helweg-Larsen, K., & Thygesen, L. C. (2020). Cardiovascular disease and long-term occupational exposure to ultrafine particles: A cohort study of airport workers. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, pp. 214-219.
- Leefomgeving, P. v. (2010). *Nieuwe inzichten stikstofdepositie: Minder depositie van stikstof dan eerder gedacht*. Retrieved from Planbureau voor de Leefomgeving: <https://themasites.pbl.nl/balansvandeleeftomgeving/jaargang-2010/klimaat-lucht-en-energie/lucht/nieuwe-inzichten-stikstofdepositie>
- Leguijt, C., van der Veen, R., van Grinsven, A., van Nieuwenhuijzen, I., Broeren, M., Kampman, B., . . . Pronk, I. (2020). Bio-Scope. *Toepassingen en beschikbaarheid van duurzame biomassa*. CE Delft.
- Lensink, R., & Heunks, C. (2011). *Effecten van veranderingen in het vliegverkeer van en naar luchtvaartterrein Maastricht Aachen Airport in relatie tot de vigerende natuurwetgeving*. Bureau Waardenburg bv Adviseurs voor ecologie & milieu.

- Lieverse CSO Milieu BV. (2016). *m.e.r.-beoordelingsnotitie - Aanvraag luchthavenbesluit Maastricht Aachen Airport*. London Heathrow. (2017). Retrieved 2018, from Heathrow.com: https://www.heathrow.com/file_source/HeathrowNoise/Static/HCNF_WG2_CAA_Departure_Profiles_Dec_2017.pdf
- London Heathrow Airport. (2015). *Heathrow's blueprint for reducing emissions*. London Heathrow Airport.
- Lugten, M., Karacaoglu, M., White, K., Kang, J., & Steemers, K. (2018). Improving the soundscape quality of urban areas exposed to aircraft noise by adding moving water and vegetation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2906-2917.
- LVNL. (2020). *AIP EHBK — MAASTRICHT/MAASTRICHT AACHEN*. Retrieved 07 14, 2020, from AIP EHBK — MAASTRICHT/MAASTRICHT AACHEN: <https://www.lvn.nl/eaip/2019-08-01-AIRAC/html/eAIP/EH-AD-2.EHBK-en-GB.html>
- LVNL, Luchtverkeersleiding Nederland. (n.d.). *AIP Maastricht Aachen Airport*. Retrieved August 21, 2020, from LVNL: AIP Maastricht Aachen Airport: <https://www.lvn.nl/eaip/2019-08-01-AIRAC/html/eAIP/EH-AD-2.EHBK-en-GB.html>
- M. Esposito, L. M. (2016). *Wet Electrostatic Scrubber For Gas Pollutants Emission Control*. Naples: University of Naples.
- MAA. (2020, 07 31). *Wet- en Regelgeving*. Retrieved from Maastricht Aachen Airport: <https://www.maa.nl/wet-en-regelgeving/>
- Maastricht Aachen Airport. (2019, September 11). *Gedeputeerde Staten pakken grondgebonden geluidoverlast MAA aan*. Retrieved July 15, 2020, from Maastricht Aachen Airport: <https://www.maa.nl/gedeputeerde-staten-pakken-grondgebonden-geluidoverlast-maa-aan/>
- Maastricht Aachen Airport. (2020). *Maastricht Aachen Airport Situatieschets - versie 1.0*. Maastricht: MAA.
- Maastricht Aachen Airport. (n.d.). *Cijfers Maastricht Aachen Airport*. Retrieved August 21, 2020, from Maastricht Aachen Airport: cijfers: <https://www.maa.nl/over-ons/cijfers/>
- MAHEPA. (2019). *Ground Infrastructure Investment Plan*.
- Mayer, R., Davis, J., & Schoorman, F. (1995). An integrative model of organizational trust. *Academy of Management Review*, 20(3), 709-734.
- Mertens, P., & Kemp, L. (2018). *Verduurzamen Maastricht Aachen Airport (presentatie)*. Sittard: DBV.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). *Verantwoord vliegen naar 2050 - Ontwerp-Luchtvaartnota 2020-2050*. Den Haag: Rijksoverheid.
- NASA. (1980). Study of Methane Fuel For.
- NASA. (2011, December 13). *Climate change may bring big ecosystem changes*. Retrieved from NASA Global Climate Change Vital Signs of the Planet: <https://climate.nasa.gov/news/645/climate-change-may-bring-big-ecosystem-changes/>
- NASA. (2016). *Spiral Development of Electrified Aircraft Propulsion from Ground to Flight*. NASA.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicines. (2016). *Commercial Aircraft Propulsion and Energy Systems Research: Reducing Global Carbon Emissions*. Washington, DC: The National Academies Press.
- NATS. (2020, 07 16). Retrieved 07 9, 2020, from NATS eAIS Package United Kingdom: <https://www.aurora.nats.co.uk/htmlAIP/Publications/2020-07-16-AIRAC/html/index-en-GB.html>
- New South Wales. (2003). *State of the Environment report*. Environment Protection Agency. Retrieved from https://www.stateoftheenvironment.des.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0003/1260615/soe-report-2003.pdf
- NLR. (2010, Feb 25). *Waterinjectie maakt F16 op de grond stiller*. Retrieved 07 29, 2020, from NLR.org: <https://www.nlr.nl/nieuws/waterinjectie-maakt-f-16-op-de-grond-stiller/>
- NLR. (2016). *NLR-CR-2016-568, Evaluatie vertrekroute 1B luchthaven Eindhoven*. Amsterdam: NLR.

- NLR. (2017, 08 28). *Increasing single-engine taxi operations or taxi on only inboard engines of 4-engine aircraft*. Retrieved 07 20, 2020, from NLR.org: <https://www.nlr.org/areas-of-change/increasing-single-engine-taxi-operations-taxi-inboard-engines-4-engine-aircraft/>
- NLR. (2018). *E-taxi brandstofverbruik en CO2-uitstoot – een quick scan; NLR-CR-2017-564*. Amsterdam: NLR.
- NLR. (2019, 09 30). *Maastricht Aachen Airport*. Retrieved 08 26, 2020, from Luchtverkeer boven Zuid-Limburg: <https://www.maa.nl/wp-content/uploads/2019/11/NLR-Luchtverkeer-boven-Zuid-Limburg-V3.pdf>
- NLR, R. H. (2018). *Trendvalidatie van Doc.29 berekeningen, NLR-CR-2017-371*. Amsterdam: NLR.
- Noordhollands Dagblad. (2020, July 07). *Herrie van vliegtuigen en auto's al bij ramen weren*. Retrieved 07 27, 2020, from Noordhollands Dagblad: https://www.noordhollandsdagblad.nl/cnt/dmf20200707_58660918/herrie-van-vliegtuigen-en-auto-s-al-bij-ramen-weren?utm_source=www.vlieghinder.nl&utm_medium=referral&utm_content=/nieuws/artikel/herrie-van-vliegtuigen-en-autos-al-bij-ramen-weren
- PAS-bureau. (2017, Februari). *Gebiedsrapportage 2016 Natura 2000 gebied nr. 153 Bunder- en Elsloerbos*. Utrecht: PAS-bureau en RIVM. Retrieved from https://www.bij12.nl/assets/153_Bunder-en-Elsloerbos.pdf
- Pels Rijcken. (2016, 10 13). *Het begrip "gebruiksruimte" uit de Omgevingswet*. Retrieved 07 29, 2020, from Blog Omgevingsrecht: <https://blogomgevingsrecht.nl/nieuws/begrip-gebruiksruimte-omgevingswet/>
- Poll, R. v., & al., e. (2018). *Beleving Woonomgeving in Nederland - Inventarisatie Verstoringen 2016; RIVM Rapport 2018-0084*. Bilthoven: RIVM.
- Rijksoverheid. (2019). *Nieuwe omgevingswet maakt omgevingsrecht eenvoudiger*. Retrieved 07 29, 2020, from Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/omgevingswet/vernieuwing-omgevingsrecht>
- RIVM. (2014). *Gezondheidsonderzoek vliegbasis Geilenkirchen (Desk Research) I - RIVM rapport 630028011*. Bilthoven: RIVM.
- RIVM. (2016). *Actualisatie kaarten afwegingskader leefomgevingskwaliteit in de Schipholregio - RIVM Briefrapport 2016-0175, 2017*. Bilthoven: RIVM.
- RIVM. (2016). *Gezondheid per buurt, wijk en gemeente*. Retrieved 07 01, 2020, from Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: <https://www.rivm.nl/media/smap/vliegverkeerhinder.html>
- RIVM, GGD. (2011). *Het effect van vegetatie op de luchtkwaliteit, Update 2011*. Bilthoven: RIVM.
- RIVM, KNMI, NLR. (2019). *Vliegtuiggeluid: meten, berekenen en beleven, Een verkenning van wensen en ontwikkelopties*.
- Roberson, W., & Johns, J. A. (2010, Q2). Fuel Conservation Strategies: Descent and Approach. *Aeromagazine*, pp. 25-28.
- Roland Berger. (2017). *Aircraft Electrical Propulsion – the next chapter of aviation?*
- Roland Berger. (2017). *Development of business cases for fuel cells and hydrogen applications for regions and cities*. Retrieved from FCH Europa: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/171121_FCH2JU_Application-Package_WG5_P2H_Green%20hydrogen%20%28ID%202910583%29%20%28ID%202911641%29.pdf
- Roosien, R., Schreckenber, D., Benz, S., Kuhlmann, J., & Hooper, P. (2018). *D3.1 Study to identify the gaps – Quality of Life indicators*. ANIMA. Retrieved from <https://zenodo.org/record/1549205>
- Ruiz, P., Sgobbi, A., Nijs, W., Thiel, C., Dalla Longa, F., Kober, T., . . . Hengeveld, G. (2015). The JRC-EU-TIMES model. Bioenergy potentials for EU and neighbouring countries. JRC Science Hub.
- Scheepers, M., Gamboa Palacios, S., Jegu, E., Pupo Nogueira De Oliveira, L., Rutten, L., van Stralen, J., . . . West, K. (2020). *Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050*. Amsterdam, The Netherlands: TNO.
- Schiphol Airport. (n.d.). *Fully electric buses: Europe's largest fleet*. Retrieved 2020, from <https://www.schiphol.nl/en/schiphol-group/page/europes-largest-fleet-of-fully-electric-buses/>
- SESAR. (2016). *Final Project Report, SESAR Project 06.08.08: Enhanced Arrival Procedures Enabled by GBAS*. SESAR.

- Shell. (2017). *Hydrogen: energy of the future?*
- Shell. (2018). *The road to sustainable fuels for zero emissions mobility*. 39th International Vienna Motor Conference.
- Shell. (2019). *Circulaire bestemming voor CO2 van Shell Pernis*. Retrieved from Shell: <https://www.shell.nl/over-ons/shell-pernis-refinery/news-archive-pernis/archief/berichten-2019/circular-destination-for-co2-from-shell-pernis.html>
- Shell, & Wuppertal Institut. (2017). *Energy of the future? Sustainable Mobility through Fuel Cells and H2*.
- Singh, J., & Dhar, D. W. (2019). Overview of Carbon Capture Technology: Microalgal Biorefinery Concept and State-of-the-Art. *Frontiers in Marine Science*.
- Sman, E. v. (2019). *Vliegen op Waterstof*. NLR.
- Terwel, R., & Kerkhoven, J. (2018). *Carbon Neutral Aviation with Current Engine Technology*.
- TNO. (2014). *Laag frequent geluid: van bron naar ontvanger*. Den Haag: TNO.
- TNO. (2020). *Ten things you should know about hydrogen*. Retrieved from <https://www.tno.nl/en/focus-areas/energy-transition/roadmaps/towards-co2-neutral-fuels-and-feedstock/hydrogen-for-a-sustainable-energy-supply/ten-things-you-need-to-know-about-hydrogen/>
- To70. (2018). *Quickscan Eindhoven Airport 2020, verkenning naar milieueffecten voor groeiscenario's Eindhoven Airport*. Den Haag: To70.
- Topsector Energie. (2018). *Contouren van een routekaart waterstof*.
- Trouw. (2020, April 17). *Geen vliegtuigen, volop vogelgefluit: wat de afwezigheid van herrie met ons doet*. Retrieved 07 22, 2020, from Trouw.nl: <https://www.trouw.nl/nieuws/geen-vliegtuigen-volop-vogelgefluit-wat-de-afwezigheid-van-herrie-met-ons-doet~b9411eb8/>
- Vader, R. (2007). *Noise annoyance mitigation at airports by non-acoustic measures*. R&D 07/026.
- Vader, R. (2007). *Noise Annoyance Mitigation at Airports by Non-Acoustic Measures*. D/R&D 07/026.
- van Bokhorst, M., & Faber, J. (2018). *CO2-, NOx- en PM10 emissies Eindhoven Airport*. Delft: CE Delft.
- Van Kempen, E., & Simon, S. (2019). *Kennisscan hinder door luchtvaartgeluid*. Bilthoven: RIVM.
- Van Renterghem, T. (2018). Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise. *Urban For. Urban Green*.
- van Wijk, A., & Chatzimakakis, J. (2020, March). *Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative*. Hydrogen Europe.
- Veerbeek, H. W., & Brouwer, M. A. (2012). *Noise measurement during a noise abatement departure procedure trial*. NLR.
- VVD, CDA, D66 & Christenunie. (2017). *Regeerakkoord 2017: Vertrouwen in de Toekomst*. Retrieved from Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/regering/documenten/publicaties/2017/10/10/regeerakkoord-2017-vertrouwen-in-de-toekomst>
- Waits, I. (2006, December 6-8). *Reduced Thrust Takeoff Capability Demonstration Problem*. FAA.
- Webler, T. (1995). *Right Discourse in Citizen Participation: An Evaluative Yardstick*. In O. Renn, T. Webler, & P. Wiedman, *Fairness and Competence in Citizen Participation: Technology, Risk and Society*. Boston: Kluwer.
- WHO. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO.
- WUR. (2014). *Dossier Olifantsgras - Miscanthus*. Retrieved July 21, 2020, from Wageningen University & Research: <https://www.wur.nl/nl/Dossiers/dossier/Olifantsgras-Miscanthus.htm>
- Xu, H. (2018). Flight of an aeroplane with solid-state propulsion. *Nature*, 532–535.
- Yugo, M., & Soler, A. (2019). A look into the role of e-fuels in the transport system in Europe (2030-2050). *Concawe*.
- Zhang, M., Huang, Q., Liu, S., & Li, H. (2019). Assessment Method of Fuel Consumption and Emissions of Aircraft during Taxiing on Airport Surface under Given Meteorological Conditions. *Sustainability*, 6110.
- Zürich Airport. (2017). *Taxi-Emissions at Zurich Airport – calculation analysis and opportunities*. Zürich: Zürich Airport.



Dedicated to innovation in aerospace

NLR - Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Koninklijke NLR werkt als neutraal opererend onderzoekscentrum met zijn partners aan een betere wereld van morgen. NLR biedt daarbij innovatieve oplossingen en technische expertise en zorgt voor een sterke concurrentiepositie van het bedrijfsleven.

NLR is ruim 100 jaar een kennisorganisatie met de diepgewortelde wil om te blijven vernieuwen en zet zich in voor een duurzame, veilige, efficiënte en effectieve lucht- en ruimtevaart.

De combinatie van diepgaand inzicht in de klantbehoefte, multidisciplinaire expertise en toonaangevende onderzoeksfaciliteiten, maakt snel innoveren mogelijk. NLR vormt in binnen- en buitenland de spilfunctie tussen wetenschap, bedrijfsleven en overheid, en overbruggt de kloof tussen fundamenteel onderzoek en toepassingen in de praktijk. Daarnaast werkt NLR als Groot Technologisch Instituut (GTI) sinds 2010 in de TO2-federatie samen aan toegepast onderzoek in Nederland.

Vanuit de hoofdvestigingen in Amsterdam en Marknesse en twee satellietvestigingen, draagt NLR bij aan een veilige en duurzame maatschappij en werkt met partners in vele (defensie)programma's, onder andere aan complexe composieten constructies voor verkeersvliegtuigen en aan doelgericht gebruik van het F-35-jachtvliegtuig. Daarnaast geeft NLR invulling aan Nederlandse en Europese (klimaat)doelstellingen conform de Luchtvaartnota, de European Green Deal, Flightpath 2050 en door deelname aan programma's zoals Clean Sky en SESAR.

Voor meer informatie bezoek: www.nlr.nl

Postal address

PO Box 90502
1006 BM Amsterdam, The Netherlands
e) info@nlr.nl i) www.nlr.org

NLR Amsterdam

Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam, The Netherlands
p) +31 88 511 3113

NLR Marknesse

Voorsterweg 31
8316 PR Marknesse, The Netherlands
p) +31 88 511 4444