

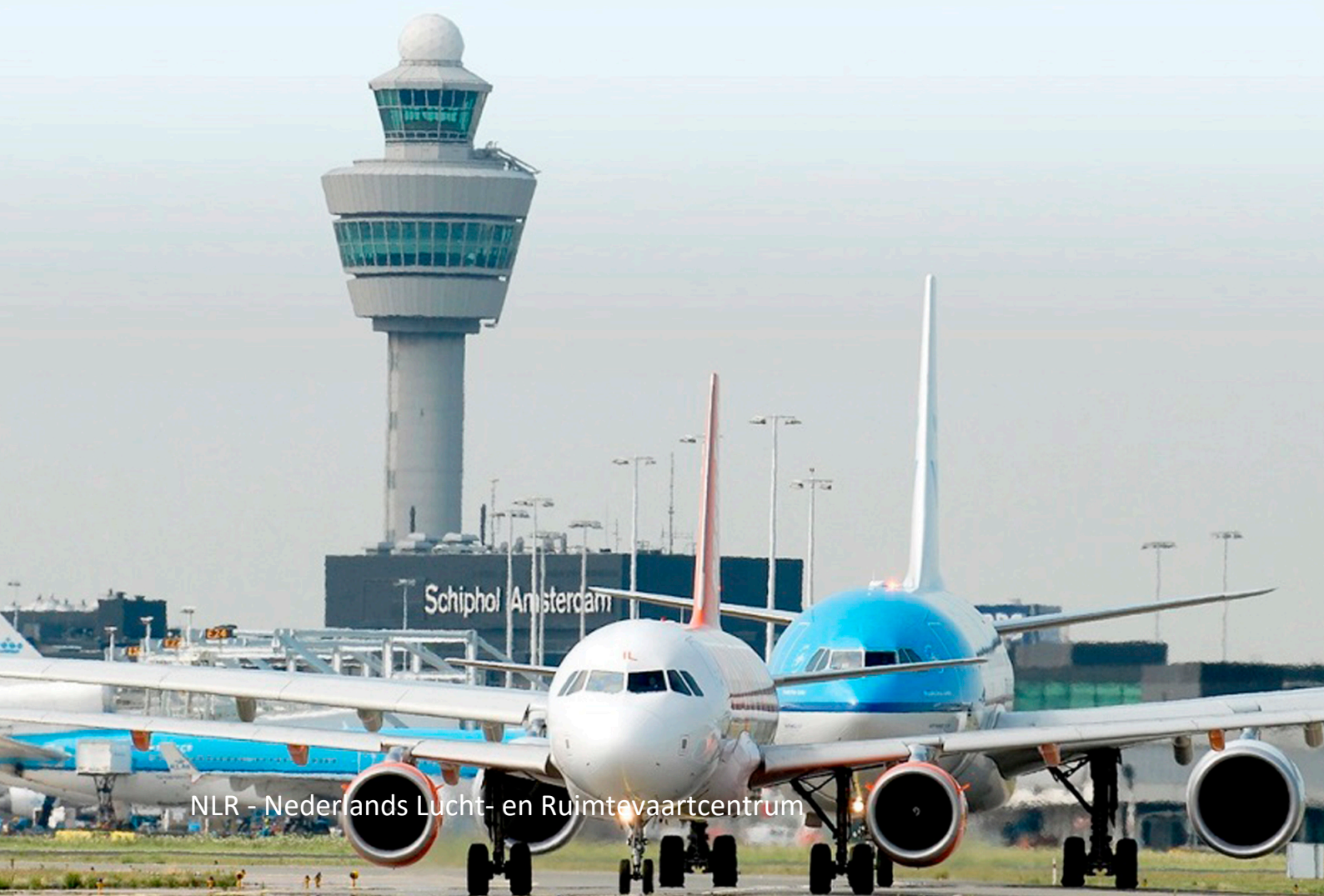


Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2017-313 | februari 2018

Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

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

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

Opgericht in 1919 en met 650 betrokken medewerkers, realiseerde NLR in 2016 een omzet van 71 miljoen euro. Driekwart hiervan is afkomstig uit contractonderzoek, het overige betreft een overheidsbijdrage.

Voor meer informatie bezoek: www.nlr.nl

Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol



Probleemstelling

In april 2017 heeft de Onderzoeksraad voor de Veiligheid (OVV) een rapport uitgebracht over de veiligheid van het vliegverkeer op de luchthaven Schiphol. De OVV concludeert dat er geen signalen zijn dat de veiligheid op Schiphol onvoldoende is, maar beveelt wel aan om bij cruciale besluiten over (de groei van) Schiphol de gevolgen voor veiligheid in de volle breedte te beoordelen. Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat wil ten behoeve van de voorziene besluitvorming over een verdere groei van Schiphol boven de 500 duizend vliegbewegingen na 2020 (via de 50/50-verdeling van de milieuwinst) daarom een integrale veiligheidsanalyse laten uitvoeren. Het ministerie heeft aan het NLR opdracht verleend voor een integrale analyse van de veiligheidseffecten van een beperkte groei op Schiphol (tot maximaal 550 duizend bewegingen) binnen het huidige operationele concept. De centrale onderzoeksvraag van de integrale veiligheidsanalyse is als volgt geformuleerd: is binnen het huidige operationele

RAPPORTNUMMER

NLR-CR-2017-313

AUTEUR(S)

J.G. Verstraeten
P.J. van der Geest
G.W.H. van Es
M.K.H. Giesberts
B. Klein Obbink
A.L.C. Roelen

RUBRICERING RAPPORT

ONGERUBRICEERD

DATUM

februari 2018

KENNISGEBIED(EN)

Luchtvaartveiligheid

TREFWOORD(EN)

Veiligheidsanalyse
Groei Schiphol

concept van Schiphol een beperkte groei van het aantal vliegbewegingen mogelijk zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt?

Beschrijving van de werkzaamheden

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is éérst specifiek voor Schiphol gekeken naar het effect van verkeersgroei op de ongevalskans per vliegbeweging. Dit is gedaan voor een complete set ongevals categorieën. Als tweede stap worden Schiphol-specifieke beheersmaatregelen beschouwd, omdat eventuele effecten van verkeersgroei moeten worden beheerst of weggenomen zodat de ongevalskans per vliegbeweging niet toeneemt. Daarnaast worden ook autonome veiligheidsverbeteringen beschouwd. Wereldwijd wordt door tal van organisaties - ook Nederlandse - voortdurend gewerkt aan verdere verbeteringen van de veiligheid. Deze gezamenlijke inspanningen resulteren in autonome veiligheidsverbeteringen. De resultaten van de analyses van Schiphol-specifieke veiligheidseffecten en beheersmaatregelen, en autonome veiligheidsverbeteringen worden gebruikt om de centrale onderzoeksvraag te beantwoorden.

Resultaten en conclusies

In de analyse is vastgesteld dat in 9 van de in totaal 36 ongevalscategorieën een beperkte groei van het jaarlijkse aantal vliegbewegingen op Schiphol een negatieve invloed kan hebben op de ongevalskans per vliegbeweging. Daarnaast is vastgesteld dat er voor ieder van deze ongevalscategorieën concrete beheersmaatregelen genomen zijn of genomen kunnen worden die naar verwachting de negatieve effecten van verkeersgroei op de ongevalskans per vliegbeweging wegnemen. De autonome verbetering van de veiligheid van het vliegverkeer heeft - naast de specifieke beheersmaatregelen van de Schiphol-actoren - eveneens invloed op de veiligheid op Schiphol. Deze autonome ontwikkeling reduceert naar verwachting de ongevalskans per vliegbeweging op Schiphol met gemiddeld ongeveer 3 procent per jaar. De combinatie van in deze studie geïdentificeerde Schiphol-specifieke beheersmaatregelen en autonome verbeteringen van de veiligheid maken beperkte verkeersgroei binnen het huidige operationele concept van Schiphol mogelijk, zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt. 'Binnen het huidige operationele concept' betekent: zonder verhoging van de piekru capaciteit en zonder aanpassing van het huidige systeem waarbij wisselingen van baancombinatie plaatsvinden (mede) aan de hand van baanpreferenties op basis van geluid.

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

p) +31 88 511 3113 f) +31 88 511 3210

e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2017-313 | februari 2018

Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

AUTEUR(S):

J.G. Verstraeten NLR

P.J. van der Geest NLR

G.W.H. van Es NLR

M.K.H. Giesberts NLR

B. Klein Obbink NLR

A.L.C. Roelen 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	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
CONTRACTNUMMER	31131319
EIGENAAR	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
NLR DIVISIE	Aerospace Operations
VERSPREIDING	Bepakt
RUBRICERING TITEL	ONGERUBICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:												
AUTEUR			REVIEWER			BEHERENDE AFDELING						
J.G. Verstraeten			M.A. Piers			A.D.J. Rutten						
DATUM	1	9	0	1	1	DATUM	1	9	0	1	1	8

Samenvatting

INLEIDING

Schiphol in het kort

Schiphol is de grootste luchthaven van Nederland en één van de drukste internationale luchthavens in Europa. In 2017 bediende Schiphol 68,4 miljoen passagiers, passeerde 1,75 miljoen ton vracht de luchthaven en waren er 497 duizend vliegbewegingen naar 326 bestemmingen. Het grootste deel van het vliegverkeer is commercieel, uitgevoerd door grote, meermotorige vliegtuigen.

Schiphol is een zogenaamde hub: een centraal punt in het wereldwijde netwerk van luchthavens. Een kleine 40 procent van de passagiers op Schiphol zijn transferpassagiers. Vanwege het grote aantal transfers kent het afhandelsysteem pieken in de aankomst- en vertrektijden. Die zijn op elkaar afgestemd om de overstapmogelijkheden te optimaliseren. Veel processen, waaronder die van de luchtverkeersleiding, zijn dan ook ingericht op een hoge en robuuste capaciteit en punctualiteit.

Schiphol heeft zes start- en landingsbanen. Vier daarvan kunnen in beide richtingen gebruikt worden, de Polderbaan en de Aalsmeerbaan slechts in één richting. De luchtverkeersleiding stelt banen beschikbaar voor start- en landingsprocedures op grond van een aantal criteria, waaronder de verkeersvraag (hoeveelheden starts en landingen), de windcondities, het minimaliseren van de geluidsoverlast en het zicht.

Aanleiding voor de Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol

In april 2017 heeft de Onderzoeksraad voor de Veiligheid (OVV) een rapport uitgebracht over de veiligheid van het vliegverkeer op de luchthaven Schiphol. De OVV concludeert dat er geen signalen zijn dat de veiligheid op Schiphol onvoldoende is. Tegelijkertijd beveelt de raad wel aan om bij cruciale besluiten over (de groei van) Schiphol de gevolgen voor de veiligheid in de volle breedte te beoordelen. Ook in de besluitvorming over mogelijke groei boven 500 duizend vliegbewegingen moet veiligheid dus meegewogen worden. Om deze reden gaf het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat aan het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) de opdracht tot een integrale veiligheidsanalyse van de nationale luchthaven.

Doel van de Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol

Onderzoeksvraag

Is binnen het huidige operationele concept van Schiphol een beperkte groei van het aantal vliegbewegingen mogelijk zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt?

Een door de Nederlandse overheid in haar *State Safety Programme* geformuleerde voorwaarde voor verdere groei van Schiphol is dat een toename in het vliegverkeer geen verslechtering van het huidige veiligheidsniveau op de luchthaven met zich meebrengt. Het doel van de Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol is daarom het integraal in kaart brengen van de gevolgen voor de veiligheid van een beperkte groei van het aantal vliegbewegingen op Schiphol. Daarnaast analyseert de Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol of er voldoende maatregelen mogelijk zijn om de eventuele negatieve effecten op de veiligheid als gevolg van deze groei te beheersen.

De analyse maakt een kwalitatieve inschatting van de invloed van een groei van het aantal vliegbewegingen op de kans per jaar op een ongeval op Schiphol. **Veiligheid** is zodoende gerelateerd aan de ongevalsrisico's per vliegbeweging en het aantal vliegbewegingen per jaar. De veiligheidsanalyse is om twee redenen **integraal**. Ten eerste omdat ze zich richt op alle actoren die samen de veiligheid op Schiphol bepalen: de luchthaven, de verkeersleiding, de

luchtvaartmaatschappijen en de grondafhandelaren, inclusief de raakvlakken tussen deze actoren. En ten tweede omdat de effecten van de groei voor een complete set ongevals categorieën (soorten ongevallen) is onderzocht.

Beperkte groei is gedefinieerd als een groei naar maximaal 550 duizend vliegbewegingen binnen een paar jaar na 2020 (10% groei in vergelijking met het huidige maximaal aantal vliegbewegingen van 500 duizend). De groei betreft commerciële operaties met vastevleugelvliegtuigen. Er wordt aangenomen dat de groei gelijkmatig is verdeeld over de huidige verkeersmix. Een **ongeval** is een gebeurtenis waarbij een persoon ernstig of dodelijk gewond raakt of waarbij een vliegtuig significante schade oploopt.

Kader van de studie

De Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol richt zich op de **vliegveiligheid**. Dat wil zeggen dat er gekeken wordt naar ongevallen die betrekking hebben op de operatie van een vliegtuig tussen de tijd dat een persoon aan boord gaat met de intentie te gaan vliegen tot de tijd dat iedereen van boord is. Dit rapport behandelt dus geen zaken als arbo-gerelateerde ongevallen gedurende onderhoud of grondafhandeling of ongevallen veroorzaakt door bewust onwettelijk handelen.

De resultaten die in dit rapport worden gepresenteerd vormen een verwachting of beperkte groei boven 500 duizend vliegbewegingen veilig mogelijk is. Gedetailleerde veiligheidsstudies zijn nodig om vast te stellen of de voorgestelde beheersmaatregelen daadwerkelijk noodzakelijk zijn en of ze voldoende effectief zullen zijn. De verantwoordelijkheid voor het beoordelen en eventueel implementeren van deze of andere beheersmaatregelen ligt bij de sectorpartijen. Daarnaast zijn de sectorpartijen wettelijk verplicht hun veiligheidsprestaties blijvend te monitoren, om risico's tijdig te onderkennen. De Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) houdt hier toezicht op.

UITGANGSPUNTEN VAN HET ONDERZOEK

Schiphol is veilig omdat het bestaande systeem goed werkt. Het systeem is een optelsom van wet- en regelgeving, certificering en vergunningverlening, sectorpartijen die in lijn hiermee hun operatie uitvoeren, een overheid die hier op toeziet en indien aan de orde handhaaft. De sectorpartijen borgen de veiligheid door risico's te vermijden of door maatregelen te nemen om risico's te beheersen.

Dit rapport gaat ervan uit dat Schiphol op dezelfde manier blijft opereren, ook bij beperkte groei. Dat houdt in:

- Tijdens de landingspiek zijn twee landingsbanen en één startbaan in gebruik ('2+1'). Tijdens de startpiek zijn dat één landingsbaan en twee startbanen ('1+2'). Indien nodig kunnen er tijdelijk twee landingsbanen en twee startbanen worden gebruikt. Dit baangebruik is onderhevig aan de zogenaamde vierdebaanregel, die een maximum stelt aan het aantal vliegbewegingen op de vierde baan. De mogelijkheden die een verruiming van de vierdebaanregel bieden om veiligheidseffecten van verkeersgroei te beheersen worden in deze studie meegenomen.
- Bij de keuze welke van de banen worden gebruikt - de baancombinatie - wordt onder andere een zogeheten baanpreferentie gehanteerd die beoogt de geluidshinder in de omgeving te beperken. Een eventuele aanpassing van deze baanpreferentie wordt in deze studie buiten beschouwing gelaten. Dit betekent dat niet gekeken wordt naar de mogelijkheden die een aanpassing biedt om het aantal wisselingen van baancombinaties te verminderen.
- De huidige baancapaciteit blijft ongewijzigd. Tijdens de aankomstpiek overdag betekent dat 68 naderingen en 38 starts per uur, en tijdens de vertrekpiek overdag 36 naderingen en 74 starts per uur. 's Nachts gaat het om 24 naderingen en 25 starts per uur.

AANPAK VAN HET ONDERZOEK

Relevante ongevals categorieën

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, kijkt het rapport eerst naar het effect van de groei van het vliegverkeer op de ongevalskans per vliegbeweging. Dat is gedaan aan de hand van 18 voor Schiphol relevante ongevalscategorieën uit de lijst van in totaal 36 ongevalscategorieën van de International Civil Aviation Organization (ICAO). Per ongevalscategorie is vastgesteld welke factoren de kans op een ongeval bepalen en of deze factoren beïnvloed worden door de groei van het aantal vliegbewegingen.

Hierbij is gebruik gemaakt van oorzaak-gevolg-modellen die mede door het NLR ontwikkeld zijn. Verder zijn gegevens van de operatie op Schiphol uit eerdere studies gebruikt. Ten slotte zijn de resultaten in drie sessies besproken met de eerder genoemde actoren.

Beheersmaatregelen

Voor de ongevalscategorieën waarvoor geldt dat de ongevalskans per vliegbeweging negatief kan worden beïnvloed door de groei van Schiphol, zijn bestaande en voorziene beheersmaatregelen in kaart gebracht. Per ongevalscategorie is bepaald of de geïdentificeerde beheersmaatregelen er voor kunnen zorgen dat bij verkeersgroei de kans per vliegbeweging op een ongeval niet toeneemt.

Autonome veiligheidsverbetering

Naast de beheersmaatregelen die Schiphol al treft of nog kan gaan treffen, is in deze studie ook de zogenaamde autonome veiligheidsverbetering onderzocht. De veiligheid van het vliegverkeer op Schiphol wordt namelijk niet alleen bepaald door de maatregelen die door de Schiphol-actoren specifiek voor Schiphol worden genomen. Wereldwijd wordt door tal van organisaties - ook Nederlandse - voortdurend gewerkt aan verdere verbeteringen van de veiligheid. In deze studie heet dat de autonome veiligheidsverbetering. Deze gezamenlijke inspanningen hebben in de afgelopen decennia bewezen effectief te zijn en hebben ervoor gezorgd dat de luchtvaart steeds veiliger is geworden. In deze studie is onderzocht welke autonome verbetering van de veiligheid de komende jaren voor het vliegverkeer op Schiphol verwacht mag worden.

AUTONOME VEILIGHEIDSVERBETERING

Internationale ontwikkelingen

In de periode 1995-2016 groeide de luchtvaart wereldwijd met gemiddeld 2 procent per jaar. In dezelfde periode nam de kans op een ongeval per vlucht af met gemiddeld meer dan 4 procent per jaar. Er vinden dus jaarlijks steeds minder ongevallen plaats.

Oorzaken voor de verbeteringen

Autonome veiligheidsverbeteringen zijn het resultaat van significante inspanningen van de luchtvaartindustrie en de overheid. Daaronder vallen bijvoorbeeld de regels voor het uitvoeren van **ongevallenonderzoek** en het inrichten van **veiligheidsmanagementsystemen**. Een belangrijk programma is ook **Single European Sky** van de Europese Commissie, dat moet leiden tot een infrastructuur voor een efficiëntere, veiligere en milieuvriendelijkere afhandeling van het luchtvervoer. Daarnaast is er **Flightpath 2050**, de visie van de Europese Commissie voor het gehele Europese luchtvaartstelsel en de luchtvaartindustrie voor 2050. Ten slotte hebben ook **brancheorganisaties** als IATA (luchtvaartmaatschappijen), Airports Council International (luchthavens) en CANSO (luchtverkeersleidingsorganisaties) hun eigen veiligheidsprogramma's.

Andere initiatieven

Naast de processen en programma's die leiden tot autonome veiligheidsverbeteringen, bestaan er diverse andere initiatieven die gericht zijn op het veiliger maken van het vliegverkeer. Het **Commercial Aviation Safety Team** (CAST), met experts van onder meer vliegtuigfabrikanten, regelgevende organisaties en luchtvaartorganisaties, ontwikkelt interventies ter voorkoming van ongevallen. Werkgroepen onder leiding van **EUROCONTROL** richten zich op de vermindering van het aantal *runway incursions* (de onjuiste aanwezigheid van een vliegtuig, een voertuig of een persoon in het beschermde gebied voor starten en landen) en *runway excursions* (vliegtuig schiet tijdens start of landing van de baan).

Verder zijn er **specifieke initiatieven** gericht op vermindering van het aantal ongevallen als gevolg van een vliegtuig dat onbestuurbaar is geworden (ongevalscategorie LOC-I) of gevallen waarbij een volledig bestuurbaar vliegtuig toch tegen de grond of een object aanbotst (ongevalscategorie CFIT). LOC-I en CFIT behoren tot de meest voorkomende fatale vliegtuigongevallen ter wereld. Belangrijk om te vermelden is ook de **vliegtuigmodernisering**. Op Schiphol opereren vrijwel alleen vliegtuigen van de derde en vierde generatie, waarbij het aandeel van de vierde generatie steeds groter wordt. Vierdegeneratievliegtuigen zijn uitgerust met de meest moderne veiligheidssystemen en zijn veiliger dan derdegeneratievliegtuigen. In de toekomst zullen nieuwe uitvoeringen van derdegeneratievliegtuigen het veiligheidsniveau van de vierde generatie benaderen.

Betekenis voor Schiphol

De afgelopen 20 jaar is de veiligheid in de luchtvaart wereldwijd ieder jaar met gemiddeld 4 procent gestegen. Die wereldwijde autonome verbeteringen zijn niet een-op-een te vertalen naar de autonome veiligheidsverbetering op Schiphol. Omdat er op Schiphol zich maar heel weinig ongevallen voordoen, is op basis van alleen Schiphol-specifieke statistieken niet vast te stellen hoe groot de autonome veiligheidsverbetering op Schiphol is.

Ook de Europese ongevallenstatistieken geven wat dat betreft geen duidelijkheid. Dat heeft te maken met het zeer hoge veiligheidsniveau in Europa. De beschikbare statistiek is gebaseerd op een klein aantal ongevallen (ongeveer 20 per jaar). Daardoor zijn veranderingen van enkele procenten per jaar moeilijk vast te stellen.

Mede op basis van de vlootvernieuwing tussen 2010 en 2016 is het toch mogelijk om een indicatie te geven van de jaarlijkse autonome veiligheidsverbetering in die periode. Het verschil in ongevalsfrequentie tussen derde- en vierdegeneratievliegtuigen is een factor twee. Gewogen naar het verkeersaandeel betekent dit een jaarlijkse autonome veiligheidsverbetering voor Schiphol tussen 2010 en 2016 van gemiddeld ruim 2 procent.

Omdat naar verwachting het aandeel vierdegeneratievliegtuigen in de Schiphol-operatie voorlopig in gelijke mate blijft toenemen, zal er ook de komende jaren door toedoen van vlootvernieuwing een autonome veiligheidsverbetering van 2 procent per jaar zijn.

Naast vlootvernieuwing zal Schiphol ook kunnen profiteren van de andere ontwikkelingen op veiligheidsgebied. Nieuwe regelgeving, verdere ontwikkelingen op het gebied van veiligheidsmanagement en een veelvoud aan specifieke veiligheidsinitiatieven zullen de komende jaren hun impact hebben op het veiligheidsniveau van de luchtvaart in Europa en op Schiphol.

Samenvattend is de verwachting dat de toekomstige autonome verbetering van de vliegveiligheid voor Schiphol ligt tussen 2 procent (gebaseerd op vlootvernieuwing in het Schipholverkeer) en 4 procent (mondiale trend van de afgelopen 20 jaar).

Op basis van de bovenstaande overwegingen is het de verwachting dat op Schiphol autonome ontwikkelingen zorgen voor een reductie van de ongevalskans per vliegbeweging van gemiddeld ongeveer 3 procent per jaar.

DE EFFECTEN VAN GROEI OP DE KANS OP EEN ONGEVAL

Naast de effecten van de autonome veiligheidsverbeteringen in de wereldwijde luchtvaart, zijn ook de gevolgen voor 18 voor Schiphol relevante ongevals categorieën onderzocht. Daarvan worden in deze samenvatting de 9 categorieën beschreven waarvoor geldt dat de groei van Schiphol van invloed is op de ongevalskans per vliegbeweging, en waarvoor dus beheersmaatregelen nodig zijn die de effecten van de groei wegnemen. Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn.

Binnen de luchtvaartsector is gestart met de ontwikkeling van een integraal *safety management system* (ISMS), waarbij op strategisch en operationeel niveau met elkaar wordt samengewerkt en gezamenlijke veiligheidsdoelen worden gesteld. Het ISMS dient er toe te leiden dat mogelijke consequenties van verkeersgroei, vooral op de snijvlakken tussen de organisaties, beter en efficiënter gemanaged gaan worden. Dit geeft een extra waarborg dat de effecten van verkeersgroei beheerst kunnen worden.

Abnormal Runway Contact (ARC)

Abnormaal contact met de baan. Het gaat hierbij om voorvallen als harde of lange landingen, landingen met een te hoge snelheid, landingen deels naast de baan, neuswiellandingen, of de staart, vleugeltip of motorgondel die de grond raken.

Van de onderzochte factoren die de oorzaak kunnen zijn van een ARC-ongeval, is **onstabiele nadering** de enige factor die beïnvloed kan worden door de groei van het aantal vliegbewegingen. Wanneer een nadering onstabiel is, moet de piloot normaal gesproken een doorstart maken en daarna opnieuw proberen te landen. Dit gebeurt om verschillende redenen niet altijd. Een doorgezette onstabiele nadering kan leiden tot een ARC-ongeval. De groei van het vliegverkeer zou het aantal onstabiele naderingen kunnen vergroten.

Beheersmaatregelen die de effecten van de verkeersgroei wegnemen

- Luchtvaartmaatschappijen monitoren hun vluchten op onstabiele naderingen. Veranderingen in het aantal onstabiele naderingen of de ernst ervan worden dus opgemerkt, waarna de luchtvaartmaatschappijen maatregelen kunnen treffen.
- Om het groeiende aantal vliegbewegingen aan te kunnen, zal de luchtverkeersleiding haar werkwijzen verder standaardiseren. Dat zal een gunstige invloed hebben op het aantal onstabiele naderingen, die veroorzaakt kunnen worden door niet-standaard naderingsprocedures.

Runway Excursion (RE)

Ongeval waarbij een vliegtuig tijdens de start of landing van de baan schiet, hetzij aan de zijkant, hetzij aan het einde.

Van de onderzochte factoren die de oorzaak kunnen zijn van een RE-ongeval, is **rubberafzet** de enige factor die beïnvloed wordt door de groei van het aantal vliegbewegingen. Meer vliegbewegingen betekent meer afzet van rubber op de banen door landende vliegtuigen. Deze rubberafzetting kan grote invloed hebben op de textuur van de

baan. Daardoor kan de baan bij natte omstandigheden glad worden. Dat kan problemen opleveren bij het remmen en resulteren in een RE-ongeval.

Beheersmaatregelen die de effecten van de verkeersgroei wegnemen

Regelmatig verwijderen van rubberafzet op de baan met speciale apparatuur op basis van een tijdschema en de conditie van de baan. Wanneer uit, eveneens regelmatig uitgevoerde, frictietesten blijkt dat rubberafzet sneller plaatsvindt dan verwacht, moet er eerder ingegrepen worden.

Undershoot/overshoot (USOS)

Vliegtuig dat vlak voor of vlak na de baan landt, bijvoorbeeld door een noodlanding direct na de start of doorstart.

Van de onderzochte factoren die de oorzaak kunnen zijn van een USOS-ongeval, is **onstabiele nadering** de enige factor die beïnvloed kan worden door de groei van het aantal vliegbewegingen.

Beheersmaatregelen die de effecten van de verkeersgroei wegnemen

Een toename van het aantal onstabiele naderingen per vliegbeweging kan worden voorkomen door een aantal maatregelen, zoals besproken in de paragraaf Abnormal Runway Contact hierboven.

Airprox/TCAS Alert/Loss of Separation/Near Midair Collisions/Midair Collisions (MAC)

Alle ongevallen als gevolg van een botsing van twee vliegtuigen in de lucht en alle incidenten waarbij een dergelijke botsing dreigde.

Van de onderzochte factoren die de oorzaak kunnen zijn van een MAC-ongeval, kunnen de **bezetting van radiotelefoniefrequenties**, de **complexiteit van de verkeersoperatie** en de **verkeersdichtheid** beïnvloed worden door de groei van het aantal vliegbewegingen. Als sommige **radiotelefoniefrequenties** een groot deel van de tijd bezet zijn, kan dat risico's met zich meebrengen; deze risico's kunnen toenemen bij meer verkeer. De huidige verkeersleidingsoperatie op Schiphol is complex en wordt door groei zonder tegenmaatregelen nog **complexer**, wat gevolgen heeft voor de veiligheid. De toenemende **verkeersdichtheid** heeft invloed op de kans op een MAC-ongeval: als het aantal vliegbewegingen op Schiphol 10 procent groter is dan nu, dan zal de kans op een MAC-ongeval ook toenemen, maar met minder dan 10 procent.

Beheersmaatregelen die de effecten van de verkeersgroei wegnemen

- Stabieler baangebruik door een verruiming van de zogenaamde vierdebaanregel.
- Minder last-minute-baanwisselingen door betere coördinatie, planning en communicatie.
- Meer voorspelbare aankomsttijden op de aanvliegroutes door een verbeterd *arrival management*, in combinatie met een intensievere coördinatie met de dienstverleners van de omliggende luchtruimen.
- Meer voorspelbare vliegprofielen van naderingen door onder meer de introductie van meer RNAV-naderingen (waardoor vaste route gevlogen worden, in plaats van routes op basis van koersinstructies van de luchtverkeersleider) en het ophogen van de bovengrens van de Schiphol TMA (het naderingsverkeersleidingsgebied).
- Betere ondersteuning van verkeersleiders door onder meer universele werkplekken op de toren.
- Beperking van de bezettingsgraad van radiotelefoniefrequenties door bijvoorbeeld het opdelen van verantwoordelijkheidsgebieden.

Controlled Flight Into Terrain (CFIT)

Ongeval waarbij een volledig bestuurbaar vliegtuig tegen de grond of een object aanbotst.

Van de onderzochte factoren die de oorzaak kunnen zijn van een CFIT-ongeval, is **onstabiele nadering** de enige factor die beïnvloed kan worden door de groei van het aantal vliegbewegingen.

Beheersmaatregelen die de effecten van de verkeersgroei wegnemen

Een toename van het aantal onstabiele naderingen per vliegbeweging kan worden voorkomen door een aantal maatregelen, zoals besproken in de paragraaf Abnormal Runway Contact hierboven.

Loss of Control – In-flight (LOC-I)

Ongeval waarbij de bemanning niet langer in staat is het vliegtuig te besturen.

Van de onderzochte factoren die de oorzaak kunnen zijn van een LOC-I-ongeval, is **onstabiele nadering** de enige factor die beïnvloed wordt door de groei van het aantal vliegbewegingen. Als het aantal vliegbewegingen op een luchthaven groeit, kan dat bijdragen aan hogere werkbelasting en verminderde *situational awareness* van de piloot als gevolg van bepaalde procedures. Denk hierbij bijvoorbeeld aan vaker verkort indraaien om een vliegtuig sneller te kunnen laten landen. De piloot heeft dan minder tijd voor de handelingen die hij moet doen. Dat zou kunnen leiden tot een toename van het aantal onstabiele naderingen en daarmee tot een mogelijk grotere kans op een LOC-I-ongeval.

Beheersmaatregelen die de effecten van de verkeersgroei wegnemen

De beheersmaatregelen met betrekking tot onstabiele naderingen worden behandeld in de paragraaf over Abnormal Runway Contact hierboven.

Ground Handling (GROUND)

Ongevallen tijdens of als gevolg van de grondafhandeling. Deze voorvallen vinden vooral plaats op de opstelplaatsen, maar kunnen ook plaatsvinden tijdens de vlucht als gevolg van onopgemerkte schade opgelopen bij de grondafhandeling.

Van de onderzochte factoren die de oorzaak kunnen zijn van een GROUND-ongeval, kunnen **vliegtuigopstelplaatsen**, **pushback** en **personeel** beïnvloed worden door de groei van het aantal vliegbewegingen.

De groei van het aantal vliegbewegingen op Schiphol leidt tot intensiever gebruik van **vliegtuigopstelplaatsen**. Dit vergroot de kans op botsingen tussen grondvoertuigen en vliegtuigen. Een groei van het aantal vliegbewegingen kan voor een toename zorgen van conflicten met vliegtuigen in de **pushback**. De groei van het aantal bewegingen heeft verder tot gevolg dat grondafhandelaren meer **personeel** nodig hebben. Ze kunnen minder een beroep doen op ervaren personeel, mede door de vergrijzing en het inzetten van uitzendkrachten. Dat kan leiden tot een toename van GROUND-ongevallen als gevolg van een gebrek aan kennis en een beperkt bewustzijn van de gevaren op de vliegtuigopstelplaats.

Beheersmaatregelen die de effecten van de verkeersgroei wegnemen

- Beperking van het aantal bewegingen van grondvoertuigen op en rond de vliegtuigopstelplaatsen. Daarvoor zijn diverse mogelijkheden, waaronder het niet meer toelaten van nieuwe grondafhandelaren, het toewijzen van gates aan één afhandelaar (om wisselingen van afhandelaar bij de gate te voorkomen) en uitbreiding van het *pooling*-systeem (gemeenschappelijk gebruik van voertuigen en ander materieel).

- Verbetering van de communicatie rond de *pushback*. Dit verbeterproces is al op gang gebracht.
- Meewegen van de kwaliteit van een grondafhandelaar (vastgesteld in een onafhankelijke audit) in het keuzeproces van luchtvaartmaatschappijen voor een afhandelaar.

Ground Collision (GCOL)

Botsingen van een vliegtuig op de grond met een ander (gesleept) vliegtuig, persoon, grondvoertuig, gebouw etc. Het vliegtuig beweegt zich op eigen kracht voort op een oppervlak anders dan de start- en landingsbanen.

Van de onderzochte factoren die de oorzaak kunnen zijn van een GCOL-ongeval, kunnen **radiotelefoniefrequentie**, **sleepbewegingen** en **remote afhandelingen** (niet bij een pier) beïnvloed worden door de groei van het aantal vliegbewegingen.

Als sommige **radiotelefoniefrequenties** een groot deel van de tijd bezet zijn, kan dat risico's met zich meebrengen; deze risico's kunnen toenemen bij meer verkeer. Vliegtuigen moeten na een landing soms wachten tot er een vliegtuigopstelplaats vrij is. De gemiddelde wachttijd op Schiphol is in 2017 toegenomen in vergelijking met 2016. Vliegers communiceren meer en langer tijdens het wachten om zeker te stellen dat de luchtverkeersleiding hun belang in de gaten houdt.

De groei van het vliegverkeer zal meer **sleepbewegingen** teweegbrengen. Vliegtuigen moeten weggesleept worden van de gates als ze er langer dan drie uur staan. Verder zullen er meer vliegtuigen naar Schiphol-Oost gesleept worden voor onderhoud en parkeren. De grondverkeersleiding en de sleepregie zitten op verschillende locaties, wat de onderlinge coördinatie moeilijker maakt.

Bij groei van het aantal vliegbewegingen zal **remote afhandeling** toenemen, waardoor er meer bewegingen zullen zijn van grondvoertuigen naar remote afhandelingsplaatsen. Dit verkeer kruist rijbanen.

Beheersmaatregelen die de effecten van de verkeersgroei wegnemen

- Structureel drie grondverkeersleiders tijdens de gehele dagoperatie.
- Directe coördinatie tussen grondverkeersleiding en sleepregie (door beide te vestigen op dezelfde verdieping van Toren-Centrum).
- Meer vliegtuigopstelplaatsen creëren.
- Verdubbeling taxibaan Quebec.
- Beperking van het grondverkeer op remote afhandelingsplekken.

Runway Incursion (RI)

Alle gebeurtenissen op een luchthaven met betrekking tot de onjuiste aanwezigheid van een vliegtuig, een voertuig of een persoon in het beschermde gebied voor starten en landen.

Van de onderzochte factoren die de oorzaak kunnen zijn van een RI-ongeval, kunnen de **bezetting van radiotelefoniefrequenties**, de **complexiteit van de verkeersoperatie** en de **verkeersdichtheid** beïnvloed worden door de groei van het aantal vliegbewegingen. Als sommige **radiotelefoniefrequenties** een groot deel van de tijd bezet zijn, kan dat risico's met zich meebrengen; deze risico's kunnen toenemen bij meer verkeer. De huidige verkeersleidingsoperatie op Schiphol is complex en wordt door groei zonder tegenmaatregelen nog **complexer**, wat gevolgen heeft voor de veiligheid. De invloed van de toenemende **verkeersdichtheid** op de kans op een MAC-ongeval geldt ook voor de kans op een RI-ongeval. Als het aantal vliegbewegingen op Schiphol 10 procent groter is dan nu, dan zal de kans op een RI-ongeval toenemen, maar met minder dan 10 procent.

Beheersmaatregelen die de effecten van de verkeersgroei wegnemen

- Aanpassingen aan de infrastructuur van de luchthaven, zoals extra *high speed exits* op sommige banen of het aanbrengen van *runway status lights*.
- Implementatie van een *Advanced Surface Movement and Guidance System*.
- Stabieler baangebruik door een verruiming van de vierdebaanregel.
- Minder last-minute-baanwisselingen door betere coördinatie, planning en communicatie.
- Directe coördinatie tussen grondverkeersleiding en sleepregie (door beide te vestigen op dezelfde verdieping van Toren-Centrum).
- Meer coördinatie tussen de *runway controller* en de assistent (waar die nu nog op aparte radiotelefoniefrequenties klaringen geven aan vliegtuigen en voertuigen).
- Structureel drie grondverkeersleiders tijdens de gehele dagoperatie.
- Afschaffen automatisch overschakelen naar de grondverkeersleider na de landing.

CONCLUSIES

- Een beperkte groei van het jaarlijkse aantal vliegbewegingen op Schiphol tot 550 duizend kan een negatieve invloed hebben op de ongevalskans per vliegbeweging voor 9 van de in totaal 36 ongevals categorieën van de International Civil Aviation Organization (ICAO).
- Voor elk van deze 9 ongevals categorieën kunnen concrete beheersmaatregelen genomen worden die de negatieve effecten van groei op de ongevalskans per vliegbeweging wegnemen. Een aantal van deze maatregelen zijn al door de sector genomen of voorzien. Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of aanvullende maatregelen, of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn.
- De veiligheid van het vliegverkeer op Schiphol wordt niet alleen bepaald door de maatregelen die de Schiphol-actoren nemen. Er is ook sprake van een gestage verbetering van de veiligheid van de luchtvaart in de hele wereld. Deze autonome verbetering van de veiligheid van het vliegverkeer heeft eveneens invloed op de veiligheid op Schiphol. De autonome ontwikkeling reduceert de ongevalskans per vliegbeweging op Schiphol naar verwachting met gemiddeld ongeveer 3 procent per jaar.

De combinatie van in deze studie geïdentificeerde Schiphol-specifieke beheersmaatregelen en autonome verbeteringen van de veiligheid maken beperkte verkeersgroei binnen het huidige operationele concept van Schiphol mogelijk, zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt. 'Binnen het huidige operationele concept' betekent: zonder verhoging van de piekcapaciteit en zonder aanpassing van het huidige systeem waarbij wisselingen van baancombinatie plaatsvinden (mede) aan de hand van baanpreferenties op basis van geluid.

Deze pagina is opzettelijk blanco.

Inhoudsopgave

Afkortingen	15
1 Inleiding	17
1.1 Achtergrond van de integrale veiligheidsanalyse	17
1.2 Doel van de integrale veiligheidsanalyse	18
1.3 Leeswijzer	19
2 Afbakening, uitgangspunten en kader	20
2.1 Afbakening van het begrip veiligheid	20
2.2 Uitgangspunten en aannamen	21
2.3 Kader van de studie	23
3 Aanpak van de studie	24
3.1 Selectie van de relevante ongevals categorieën	25
3.2 Bepaling veiligheidseffecten van verkeersgroei per ongevalscategorie	26
3.3 Beheersmaatregelen	26
3.4 Autonome verbetering van de veiligheid	27
3.5 Beantwoording onderzoeksvraag	27
4 De analyse	28
4.1 Autonome verbetering van de vliegveiligheid	28
4.1.1 Introductie	28
4.1.2 Organisatie en sturing van autonome veiligheidsverbeteringen	29
4.1.3 Regelgeving, uitvoering en terugkoppeling	31
4.1.4 Sector-brede initiatieven voor veiligheidsverbeteringen	33
4.1.5 Specifieke initiatieven gericht op LOC-I en CFIT	35
4.1.6 Vliegtuigmodernisering	37
4.1.7 Verwachte autonome veiligheidsverbetering voor Schiphol	40
4.2 Effecten van groei en beheersmaatregelen voor Schiphol	42
4.2.1 Analyse ongevals categorieën - in de start- en landingsfase	44
4.2.2 Analyse ongevals categorieën - in de lucht	60
4.2.3 Analyse ongevals categorieën - op de grond	75
4.2.4 Analyse ongevals categorieën - diversen	91
5 Geconsolideerde resultaten	103
5.1 Groei-effecten en beheersmaatregelen	103
5.1.1 Veiligheid in de start- en landingsfase en in de lucht	103
5.1.2 Veiligheid op de grond	105
5.2 Effect van verkeersgroei op de kans op een ongeval per jaar op Schiphol	107
6 Conclusies	108
Referenties	109

Appendix A	Het huidige operationele concept	113
Appendix B	CICTT-ongevalscategorieën	116
Appendix C	Beheersmaatregelen	117
Appendix D	Externe review	124

Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
ACI	Airport Council International
AIP	Aeronautical Information Publication
APC	Apron Control / sleepregie
arbo	Arbidsomstandigheden
ASIAS	Aviation Safety Information Analysis and Sharing
A-SMGCS	Advanced Surface Movement and Guidance System
ATC	Air Traffic Control
CANSO	Civil Air Navigation Services Organization
CAST	Civil Aviation Safety Team
CDM	Collaborative Decision Making
CICTT	CAST-ICAO Common Taxonomy Team
CTOT	Calculated Take-Off Time
CTR	Controlled Traffic Region
DME	Distance Measuring Equipment
EASA	European Aviation Safety Agency
ECAST	European Civil Aviation Safety Team
EGPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System
FAA	Federal Aviation Administration
FABEC	Functional Airspace Block Europe Central
FANOMOS	Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System
FL	Flight Level (100ft)
ft	Feet (0,3048 meter)
GARDS	Go-around Detection System
GPWS	Ground Proximity Warning System
IAF	Initial Approach Fix
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization (Internationale Burgerluchtvaartorganisatie)
IFR	Instrument Flight Rules
IFSD	In-Flight Shut Downs
ILS	Instrument Landing System
ILT	Inspectie Leefomgeving en Transport
ISAGO	IATA's Safety Audit for Ground Operations
JSAT	Joint Safety Analysis Team
IVA	Integrale Veiligheidsanalyse

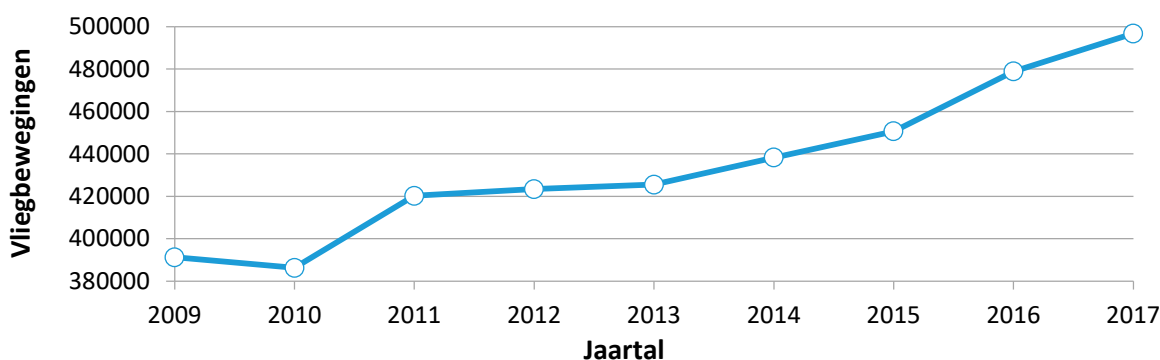
KLM	Koninklijke Luchtvaart Maatschappij
kt	Knot (NM/h)
LVNL	Luchtverkeersleiding Nederland
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NLR	Netherlands Aerospace Centre
NM	Nautical Mile
RNAV	Area Navigation
OVV	Onderzoeksraad voor Veiligheid
PAPI	Precision Approach Path Indicator
RA	Resolution Advisory
RIASS	Runway Incursion Alerting System Schiphol
ROPS	Runway Overrun Prevention System
SAOC	Schiphol Airline Operators Committee
SID	Standard Instrument Departure
STCA	Short-term Conflict Alert
TA	Traffic Alert
TAWS	Terrain Avoidance and Warning System
TCAS	Traffic Collision Avoidance System
TMA	Terminal Manoeuvring Area
VFR	Visual Flight Rules
VMS	Veiligheidsmanagementsysteem
VOP	Vliegtuigopstelplaats
VOR	Very High Frequency Omni-directional Range station
VpS	Veiligheidsplatform Schiphol

1 Inleiding

1.1 Achtergrond van de integrale veiligheidsanalyse

Op 6 april 2017 bracht de Onderzoeksraad voor de Veiligheid (OVV) het rapport uit over de veiligheid van het vliegverkeer op de luchthaven Schiphol [OVV, 2017]. Het OVV-rapport bevat een aantal belangrijke observaties met betrekking tot de veiligheid op Schiphol. De OVV trekt in het rapport ook conclusies over de huidige staat van veiligheid op Schiphol en factoren die de veiligheid negatief zouden kunnen beïnvloeden.

Een belangrijke conclusie is dat er *geen signalen zijn dat de veiligheid op Schiphol onvoldoende is. Luchtvaartbedrijven borgen de veiligheid door risico's te vermijden of door maatregelen te nemen die risico's beheersen (...)* De inspectie Leefomgeving en Transport houdt hier toezicht op¹. Tegelijkertijd zijn er een aantal zorgpunten. De Onderzoeksraad concludeert dat het *niet vanzelfsprekend is dat het veiligheidsniveau op en rond Schiphol behouden blijft*. Belangrijk hierbij is de snelle groei van het aantal vliegbewegingen² op Schiphol gedurende de laatste jaren, zie Figuur 1. In het OVV-rapport wordt dan ook geconcludeerd dat *op Schiphol de grenzen in zicht komen waarbij het vliegverkeer binnen het huidige operationele concept veilig afgehandeld kan worden*. Dit zou zich - aldus de Onderzoeksraad - uiten in een toename van het aantal incidenten.



Figuur 1: Aantal vliegbewegingen per jaar op Schiphol voor de periode 2009 – 2017.

Op basis van haar observaties en conclusies doet de Onderzoeksraad een aantal aanbevelingen om de veiligheid bij verdere groei van Schiphol te kunnen blijven waarborgen, waaronder:

- Aanbeveling 7c aan het Ministerie van Infrastructuur en Milieu: *beoordeel bij cruciale besluiten over (de groei van) Schiphol de gevolgen voor veiligheid in de volle breedte.*
- Aanbeveling 3 aan de Schiphol Group en LVNL: *Onderzoek vooraf en integraal wat de effecten van groei van het vliegverkeer zijn op de veiligheid en neem maatregelen om die effecten structureel te beheersen.*

Het Kabinet heeft besloten dat het jaarlijks aantal bewegingen op Schiphol tot en met 2020 is beperkt tot maximaal 500 duizend³. Deze grens van 500 duizend bewegingen is in 2017 al bijna behaald. In de besluitvorming over mogelijke groei boven 500 duizend bewegingen moet veiligheid meegewogen worden. Zodoende is het van belang om nu reeds

¹ Schuingedrukte tekst is een letterlijke quote uit het OVV-rapport.

² Een vliegbeweging is een start of een landing. In het rapport wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van “beweging” wanneer “vliegbeweging” wordt bedoeld. Het totale aantal vliegbewegingen per jaar wordt ook aangeduid als het verkeersvolume. Een groei in het aantal vliegbewegingen wordt ook aangeduid met verkeersgroei.

³ Kamerstuk 29 665, nr. 212.

vast te stellen of er voldoende vertrouwen is dat de gevolgen voor de vliegveiligheid van een beperkte verkeersgroei op Schiphol voldoende beheerst kunnen worden.

Om deze reden heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat aan het NLR de opdracht verleend om een integrale analyse uit te voeren van de veiligheid van Schiphol bij verkeersgroei. Dit rapport documenteert de resultaten van deze integrale veiligheidsanalyse.

1.2 Doel van de integrale veiligheidsanalyse

Het doel van de Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol is om de gevolgen voor de veiligheid van een beperkte groei van het aantal vliegbewegingen op Schiphol, boven 500 duizend bewegingen per jaar, integraal in kaart te brengen en te identificeren welke maatregelen genomen kunnen worden om mogelijk negatieve veiligheidseffecten van deze groei weg te nemen of te beheersen. In deze doelstelling is “een beperkte groei” gedefinieerd als een groei naar maximaal 550 duizend bewegingen per jaar binnen enkele jaren na 2020. Het gaat dus om een groei van 10% van het huidige maximaal aantal vliegbewegingen. De analyse beschouwt de kans per jaar op een ongeval op Schiphol. “Veiligheid” is zodoende gerelateerd aan de ongevalskans per beweging en het aantal bewegingen per jaar. “Integraal” betekent dat mogelijke veiligheidseffecten van verkeersgroei voor een complete set van ongevals categorieën⁴ in kaart worden gebracht en dat wordt gekeken naar de veiligheid van de Schiphol-operatie als geheel, inclusief de raakvlakken tussen verschillende actoren.

De OVV stelt dat er geen signalen zijn dat de huidige situatie als onveilig moet worden beschouwd. De vraag is of bij een beperkte groei van het aantal bewegingen binnen het huidige operationele concept dit niveau van veiligheid kan worden behouden. Het is immers een voorwaarde voor verdere groei dat een toename in het verkeer niet gepaard gaat met een verslechtering van het huidige niveau van veiligheid op Schiphol⁵. De centrale onderzoeksvraag van de integrale veiligheidsanalyse is daarom als volgt geformuleerd: is binnen het huidige operationele concept van Schiphol een beperkte groei van het aantal vliegbewegingen mogelijk zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt? Voor de analyse wordt deze vraag onderverdeeld in de volgende deelvragen:

- Voor welke ongevalscategorieën geldt dat de ongevalskans per beweging kan worden beïnvloed door een toename van het aantal bewegingen?
- Welke factoren spelen daarbij een rol?
- In hoeverre doen deze factoren zich voor in de Schiphol-operatie?
- Zijn er voldoende maatregelen mogelijk om de gevolgen voor de veiligheid van groei te kunnen beheersen?
- Hoe groot is de autonome verbetering van de veiligheid, als gevolg van wereldwijde veiligheidsinitiatieven, voor Schiphol?

⁴ Hiervoor wordt een door het CAST-ICAO Common Taxonomy Team (CICTT) gedefinieerde set voorvalcategorieën gebruikt. Deze categorieën worden gebruikt voor het classificeren van voorvallen (ongevallen en incidenten) met vliegtuigen. Deze lijst is een wereldwijde standaard, zie [ICAO, 2013]. In dit rapport wordt de term ongevalscategorie gebruikt om naar een categorie uit de lijst te verwijzen.

⁵ In het Nederlandse State Safety Programme [SSP, 2015] staat: “De luchtvaart zal de komende decennia wereldwijd blijven groeien, dat mag niet ten koste gaan van de hoge mate van veiligheid, we willen niet dat het aantal ongevallen hierdoor toeneemt.” Het Nederlandse SSP beschrijft de verantwoordelijkheden van het ministerie met betrekking tot de veiligheid van de burgerluchtvaart. Het SSP bevat veiligheidsdoelen die richting geven aan de inzet van de overheid.

1.3 Leeswijzer

Inclusief deze introductie bestaat dit rapport uit zes hoofdstukken en vier appendices. In het tweede hoofdstuk worden afbakening, uitgangspunten, aannamen en kader van de integrale veiligheidsanalyse besproken. In hoofdstuk drie wordt de aanpak van de studie toegelicht. Hoofdstuk vier bestaat uit een analyse van de autonome verbetering van de veiligheid en een analyse van de invloed van verkeersgroei op Schiphol op de ongevalskans per beweging per ongevals categorie. Hoofdstuk vijf geeft een geconsolideerd overzicht van de resultaten van de studie. In hoofdstuk zes worden de conclusies getrokken. Appendix A bevat een omschrijving van het huidige operationele concept, appendix B geeft een overzicht van de beschouwde set ongevals categorieën, appendix C bevat een overzicht van de in het rapport geïdentificeerde beheersmaatregelen en appendix D bevat de reviewcommentaren van twee externe luchtvaartexperts.

2 Afbakening, uitgangspunten en kader

In dit hoofdstuk worden de afbakening van het begrip veiligheid en de uitgangspunten, aannamen en het kader van de integrale veiligheidsanalyse toegelicht. In sectie 2.1 wordt aangegeven wat in deze studie wordt verstaan onder veiligheid en hoe het begrip veiligheid voor deze studie is afgebakend. Zoals bij elke veiligheidsanalyse is het noodzakelijk om een aantal uitgangspunten en aannamen te hanteren, deze worden toegelicht in sectie 2.2. Sectie 2.3 plaatst deze analyse in een breder kader van veiligheidsmanagement.

2.1 Afbakening van het begrip veiligheid

Integrale veiligheid

Dit rapport geeft inzicht in de invloed van een beperkte groei van het aantal bewegingen op de integrale veiligheid van Schiphol. Dit betekent dat gekeken wordt naar een complete set van ongevals categorieën en de factoren die kunnen bijdragen aan ongevallen. Daarbij wordt gekeken naar de invloed van verkeersgroei op de veiligheid van de Schiphol-operatie als geheel, en niet alleen naar de veiligheid van elke deelopertatie afzonderlijk. Dit is van belang omdat inspanningen van alle actoren die actief zijn op Schiphol samen de veiligheid op de luchthaven bepalen, omdat maatregelen in de operatie van een individuele actor ook de veiligheid in de operatie van andere actoren kan beïnvloeden, en omdat bekend is dat in de complexe en geïntegreerde operatie van grote luchthavens risico's kunnen ontstaan op de raakvlakken tussen de actoren.

Ongevallen, incidenten en voorvallen

Deze studie richt zich op de kans op een *ongeval*. Een ongeval is een gebeurtenis waarbij een persoon fataal of ernstig letsel oploopt of waarbij het vliegtuig significante schade oploopt⁶. Over het algemeen verschillen ongevallen en incidenten alleen in de mate van letsel of schade. Effecten van verkeersgroei op de ongevalskans zijn daarom in veel gevallen ook van toepassing op de kans op incidenten. Zowel incidenten als ongevallen kunnen worden aangeduid als voorval. Het totaal van de kans op een incident en de kans op een ongeval wordt de voorvalkans genoemd.

Vliegveiligheid

De integrale veiligheidsanalyse richt zich op vliegveiligheid. Dat wil zeggen dat er gekeken wordt naar ongevallen die betrekking hebben op de operatie van een vliegtuig tussen de tijd dat een persoon aan boord gaat met de intentie te gaan vliegen tot de tijd dat iedereen van boord is. Vliegveiligheid (de kans op een ongeval) vormt een belangrijk onderdeel in de vaststelling van externe veiligheid⁷. Er wordt niet gekeken naar arbo-gerelateerde ongevallen gedurende onderhoud of afhandeling. Er wordt ook niet gekeken naar ongevallen veroorzaakt door bewust onwettelijk handelen.

⁶ Een volledige definitie van een ongeval wordt gegeven in ICAO Annex 13 [ICAO, 2001].

⁷ Naast de gevlogene routes en gebruikte banen, zie ook Appendix C. Wanneer de vliegveiligheid toeneemt, neemt ook - ceteris paribus - de externe veiligheid toe.

2.2 Uitgangspunten en aannamen

Het huidige veiligheidsniveau op Schiphol

Schiphol is veilig. Het bestaande systeem van wet- en regelgeving en beleid, certificering en vergunningverlening, sectorpartijen die in lijn hiermee hun operatie uitvoeren en een overheid die hier op toeziet en indien aan de orde handhaaft, werkt. Ook de OVV stelt in haar rapport dat er geen signalen zijn dat de veiligheid op Schiphol onvoldoende is [OVV, 2017]. De sectorpartijen borgen de veiligheid door risico's te vermijden of door maatregelen te nemen om risico's te beheersen. De vraag die in dit rapport - op kwalitatieve wijze - wordt beantwoord is of het huidige niveau van veiligheid kan worden gehandhaafd bij een beperkte groei van het aantal bewegingen op Schiphol binnen het huidige operationele concept. Het gaat daarom om een kwalitatieve en relatieve studie. Er wordt gekeken naar een eventuele verandering ten opzicht van het huidige niveau van veiligheid. Het niveau zélf wordt niet gekwantificeerd.

De vaststelling dat Schiphol veilig is neemt niet weg dat er wel aandachtgebieden zijn. Het OVV-rapport noemt een aantal aandachtsgebieden en ook de overheid en de luchtvaartsector besteden veel aandacht aan specifieke onderwerpen. Een voorbeeld van een aandachtgebied voor Schiphol is vogelaanvaringen. Deze studie kent een integrale aanpak en is niet beperkt tot bepaalde aandachtsgebieden, maar komt deze wel tegen in de analyse. Voor alle aandachtsgebieden wordt vastgesteld of ze bij een verkeersgroei nog belangrijker worden omdat er veiligheidseffecten zijn van groei. Als er veiligheidseffecten zijn, dan zijn additionele beheersmaatregelen nodig. Als er geen veiligheidseffecten van verkeersgroei zijn, dan betekent het echter niet dat specifieke aandacht voor het betreffende onderwerp niet meer nodig is.

Operationeel concept

Voor deze studie wordt er vanuit gegaan dat de beperkte groei van het aantal bewegingen op Schiphol conform het huidige operationele concept van Schiphol (nader beschouwd in Appendix A) zal worden afgehandeld. Belangrijke uitgangspunten voor deze studie ten aanzien van het operationeel concept zijn:

- In de landingspiek zijn twee landingsbanen en één startbaan in gebruik ("2+1"). In de startpiek zijn één landingsbaan en twee startbanen in gebruik ("1+2"). Indien nodig kunnen tijdelijk twee landingsbanen en twee startbanen in gebruik zijn. Dit baangebruik is onderhevig aan de zogenaamde vierdebaanregel⁸, die het gebruik beperkt tot een maximaal aantal bewegingen dat per dag op de vierde baan mag worden afgehandeld. Momenteel gaat het om maximaal 80 bewegingen per dag en over het jaar genomen gemiddeld maximaal 40 bewegingen per dag⁹. De mogelijkheden die een verruiming van de vierdebaanregel biedt om veiligheidseffecten van verkeersgroei te beheersen worden in deze studie meegenomen¹⁰.
- Bij de keuze welke van de banen worden gebruikt - de baancombinatie - worden eerst de banen uitgesloten die in onderhoud zijn of niet gebruikt kunnen worden door te veel dwars- of meewind. Vervolgens wordt een zogeheten baanpreferentie gehanteerd die beoogt de geluidshinder in de omgeving te beperken¹¹. Een eventuele aanpassing van deze baanpreferentie wordt in deze studie buiten beschouwing gelaten. Dit betekent dat niet gekeken wordt naar de mogelijkheden die een aanpassing biedt om het aantal wisselingen van baancombinaties te verminderen. De studie kijkt daarmee ook niet naar de voordelen op het gebied van

⁸ Geactualiseerd concept LVB, blg-478007 bij Kamerstuk 29 665, nr. 212: gewijzigde bijlage bij de memorie van toelichting op de wijziging van de wet Luchtvaart.

⁹ De regel voor het gebruik van de vierde baan is niet van toepassing: a. in geval van baanonderhoud, b. in geval van uitzonderlijk weer, c. in die gevallen waarbij onvoorziene en/of uitzonderlijke omstandigheden plaatsvinden die de inzet van de vierde baan onvermijdelijk maken (waaronder situaties waarbij de veiligheid in het geding is).

¹⁰ In dit kader is De Motie Visser relevant. Tweede Kamer, vergaderjaar 2015–2016, 34 098, nr. 14. Citaat: "De Kamer (...)verzoekt de regering, tot een zodanige invulling van de vierdebaanregel dat de luchtvaartsector een prikkel tot innovatie blijft behouden en ook in de toekomst verdere volumegroei binnen de gelijkwaardigheidscriteria kan blijven realiseren".

¹¹ Geactualiseerd concept LVB, blg-478007 bij Kamerstuk 29 665, nr. 212: gewijzigde bijlage bij de memorie van toelichting op de wijziging van de wet Luchtvaart.

veiligheid die het op deze manier verminderen van het aantal wisselingen van baancombinaties mogelijk biedt.

- De door de slotcoördinator afgegeven baancapaciteiten - in deze studie piekuurcapaciteit genoemd - blijven ongewijzigd. Dit is overdag tijdens de aankomstpiek: 68 naderingen en 38 starts, overdag tijdens de vertrekpiek: 36 naderingen en 74 starts en tijdens de nacht: 24 naderingen en 25 starts.

Operationele begrenzing

De studie omvat de volledige operatie vanaf binnenvliegen van de Schiphol *terminal manoeuvring area* (TMA) tot aan parkeren bij een vliegtuigopstelplaats en vanaf vertrek van de opstelplaats tot en met het uitvliegen van de TMA. Dit betekent dat waar gesproken wordt over veiligheid op Schiphol dit in feite gelezen kan worden als de veiligheid op en rond Schiphol.

Groei over de tijd

Bij de bepaling van de effecten van verkeersgroei en de benodigde maatregelen om deze effecten te beheersen, gaat deze studie uit van een beperkte groei van het jaarlijks aantal bewegingen van ongeveer 500 duizend nu naar 550 duizend binnen enkele jaren na 2020. Effecten op de veiligheid van verdere groei zijn geen onderdeel van deze studie. Er wordt aangenomen dat de groei gelijkmatig zal worden verdeeld over de zomer- en winterperiode en zal plaatsvinden overdag. Er wordt dus niet gekeken naar veiligheidseffecten veroorzaakt door een relatieve groei van het aantal bewegingen in een bepaalde tijdsperiode, bijvoorbeeld de winter of de nacht.

Er wordt geen prognose gedaan in welk jaar 550 duizend bewegingen bereikt gaat worden. Er geldt voor Schiphol een afgesproken maximum van 500 duizend bewegingen tot en met 2020. Na 2020 ontstaat de mogelijkheid voor een ontwikkeling voorbij de 500 duizend bewegingen. Er gaat dan gebruik gemaakt worden van het 50/50-principe: indien na het gebruiksjaar 2020 binnen de criteria voor gelijkwaardige bescherming voor geluidbelasting meer vliegbewegingen mogelijk zijn dan de 500 duizend, dan kan de groeiruimte die boven dit maximum ontstaat voor de helft worden benut¹².

Verkeersmix

Deze studie betreft commerciële operaties met vastevleugelvliegtuigen. Er wordt aangenomen dat de groei van het aantal bewegingen gelijkmatig is verdeeld over de huidige verkeersmix. Dit betekent in absolute zin dat de groei voornamelijk wordt verwezenlijkt door vliegtuigen in de klasse Boeing 737/Airbus A320 of kleiner¹³. Daarnaast wordt aangenomen dat vlootvernieuwing - van derde- naar vierdegeneratievliegtuigen - in de komende jaren in gelijke mate doorzet als in afgelopen jaren. Verder wordt er aangenomen dat het aandeel van vrachtvliegtuigen in het Schiphol-verkeer gelijk blijft of afneemt.

Veiligheidsstandaarden

Er wordt aangenomen dat de luchtvaartmaatschappijen op Schiphol bij een beperkte groei van het aantal bewegingen in grote mate hetzelfde blijven in vergelijking tot de afgelopen jaren. Dit betekent dat verkeersgroei er niet toe zal leiden dat er verhoudingsgewijs meer of minder operaties uitgevoerd worden door luchtvaartmaatschappijen met een beneden-gemiddeld veiligheidsniveau. De maatschappijen die Schiphol aandoen hebben hoge standaards op het gebied van vliegertraining. Daarom wordt er ook geen verandering verwacht in vaardigheden en trainingen van vliegers. Daarnaast hebben de luchtvaartmaatschappijen die op Schiphol opereren, Schiphol zelf en de luchtverkeersleiding reeds een hoge veiligheidsstandaard. Als onderdeel van hun veiligheidsmanagementsystemen

¹² Idem.

¹³ Dit is in lijn met prognoses zoals gebruikt door LVNL, die haar prognoses baseert op de Integrale CapaciteitsPlanning (ICP) Schiphol.

monitoren deze organisaties hun operatie op voorvallen. Trends worden waargenomen, waarop de organisaties maatregelen treffen om negatieve trends te keren.

2.3 Kader van de studie

De Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol brengt de gevolgen voor de veiligheid van verkeersgroei in kaart en identificeert maatregelen die genomen kunnen worden om de mogelijk negatieve veiligheidseffecten van deze groei weg te nemen of te beheersen. De analyse is in hoofdzaak kwalitatief. De resultaten vormen een verwachting of veilige groei boven 500 duizend bewegingen mogelijk is.

Deze studie kijkt vooruit, maar de resultaten vormen geen recept voor het beheersen van de veiligheidseffecten van verkeersgroei. De verantwoordelijkheid voor het identificeren en beheersen van de veiligheidsrisico's en de implementatie van eventueel benodigde beheersmaatregelen ligt bij de sectorpartijen. Dit gebeurt onder toezicht van de overheid.

Gedetailleerde veiligheidsstudies zullen nodig zijn om vast te stellen of de geïdentificeerde beheersmaatregelen daadwerkelijk voldoende effectief zullen zijn. Zulke studies vergen veel nauwkeurigheid, en dus meer tijd dan in deze studie beschikbaar is. Daarnaast moet de veiligheidsprestatie blijvend gemonitord worden om risico's tijdig te onderkennen. De veiligheidsmanagementsystemen (VMS) van luchtvaartmaatschappijen, luchtverkeersleidingsorganisatie en luchthaven zijn hiervoor ingericht. Als onderdeel van hun VMS monitoren deze organisaties hun operatie op voorvallen. Trends worden waargenomen, waarop de organisaties maatregelen treffen om negatieve trends te keren. Tevens vereist een veiligheidsmanagementsysteem dat risico's van veranderingen voorafgaand aan de implementatie van de verandering worden geïdentificeerd en waar nodig gemitigeerd.

De grondgedachte van het VMS is dat de kans op letsel of beschadiging beperkt wordt gehouden tot een acceptabel niveau door een continu proces van identificatie van gevaren en vaststellen, toepassen en verifiëren van beheersmaatregelen. De Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) houdt hier toezicht op. Bij dit systeemtoezicht wordt de opzet, reikwijdte en werking van veiligheidsmanagementsystemen bij organisaties vastgesteld. Door periodiek bij een bedrijf een audit met enkele inspecties uit te voeren beoordeelt de ILT de opzet en goede werking van veiligheidsmanagementsystemen door mede gebruik te maken van informatie van de bedrijven zelf [SSP, 2015]. De bedrijven hebben hierdoor een grotere en effectievere rol in het beheersen van veiligheid dan bij een systeem dat is gebaseerd op strikte naleving van wetten en regels alleen.

LVNL, de Schiphol Group en de luchtvaartmaatschappijen werken in het Veiligheidsplatform Schiphol (VpS) samen om de veiligheid te waarborgen en verbeteren. In 2008 publiceerde het VpS een visiedocument waarin wordt geconcludeerd dat om het toenmalige veiligheidsniveau (referentiejaar 2007) ook bij groei in de toekomst te behouden er onder andere een aantoonbaar werkend sectoraal managementsysteem nodig is. De OVV constateert dat een dergelijk sectoraal managementsysteem op dit moment op Schiphol ontbreekt [OVV, 2017]. Mede hierdoor is de sector gestart met de ontwikkeling van een integraal *safety management system* (ISMS), waarbij op strategisch en operationeel niveau met elkaar wordt samengewerkt en gezamenlijke veiligheidsdoelen worden gesteld. Verdere ontwikkelingen op het gebied van (integrale) veiligheidsmanagementsystemen - inclusief veiligheidscultuur - en het toezicht hierop dienen er toe te leiden dat mogelijke consequenties van verkeersgroei, vooral op de snijvlakken tussen de organisaties, effectiever en efficiënter gemanaged zullen worden in de toekomst.

3 Aanpak van de studie

In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe het beantwoorden van de onderzoeksvragen is aangepakt. De doelstelling van deze studie en de daaraan gekoppelde onderzoeksvragen zijn gedefinieerd in sectie 1.2. De centrale onderzoeksvraag van de integrale veiligheidsanalyse is als volgt: is binnen het huidige operationele concept van Schiphol een beperkte groei van het aantal vliegbewegingen mogelijk zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt? De kans op een ongeval per jaar is gelijk aan het product van het aantal bewegingen per jaar en de ongevalskans per beweging. Er zijn daarom twee effecten die maken dat de kans op een ongeval per jaar kan toenemen bij een groei van het aantal bewegingen. Ten eerste: bij een gelijkblijvende kans op een ongeval *per beweging*, neemt de kans op een ongeval per jaar toe omdat er jaarlijks meer bewegingen zijn. Ten tweede: de kans op een ongeval per beweging kan toenemen omdat een grotere verkeersdichtheid sommige risico's vergroot¹⁴. Deze twee effecten moeten door middel van maatregelen worden beheerst of weggenomen.

De analyse van het effect van de verkeersgroei op Schiphol op de kans op een ongeval per jaar is opgesplitst in twee delen:

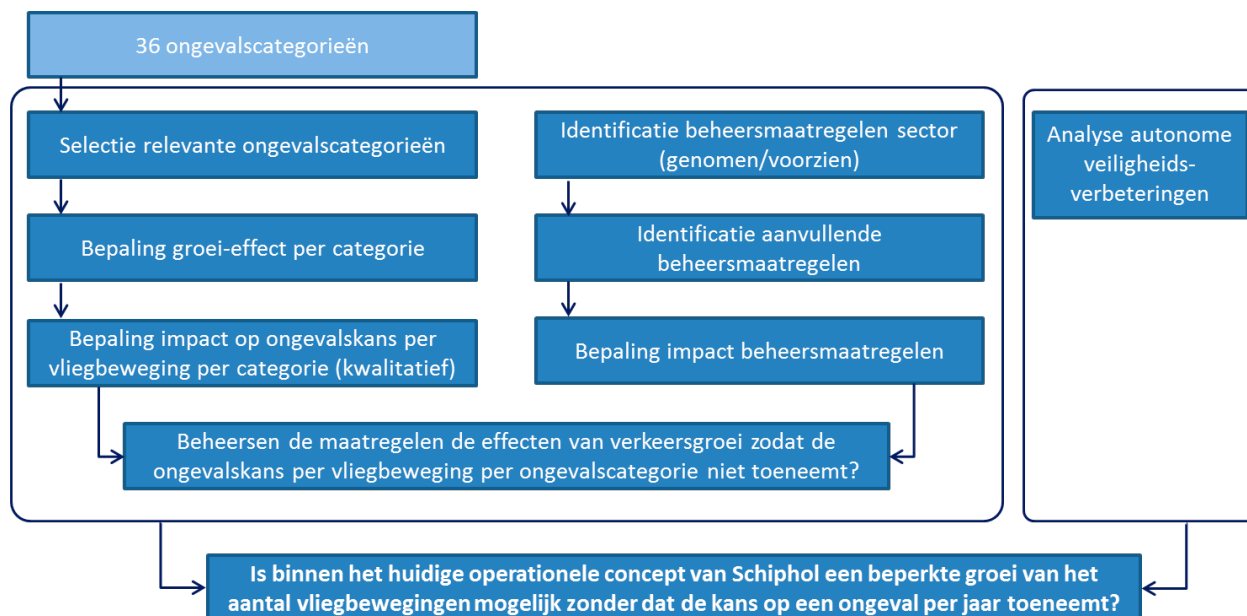
1. Het identificeren, specifiek voor Schiphol, van veiligheidseffecten van verkeersgroei en mogelijke maatregelen om deze effecten weg te nemen of te beheersen. De veiligheidseffecten worden bepaald door vast te stellen wat de invloed is van verkeersgroei op de ongevalskans per beweging per ongevalscategorie. Daarna wordt gekeken of er voldoende maatregelen mogelijk zijn om eventuele veiligheidseffecten van verkeersgroei weg te nemen of te beheersen zodat de ongevalskans per beweging per ongevalscategorie niet toeneemt.
2. Vaststellen in welke mate het vliegverkeer op Schiphol kan profiteren van internationale initiatieven en maatregelen die zorgen voor een autonome (dat wil zeggen, niet uniek voor Schiphol – maar wel mede tot stand komend door actieve participatie van de Nederlandse luchtvaartsector en overheid) verbetering van de vliegveiligheid, dat wil zeggen een gemiddelde afname van de ongevalskans per beweging.

Met de verkregen inzichten in Schiphol-specifieke veiligheidseffecten en beheersmaatregelen, en de autonome ontwikkeling van de vliegveiligheid kan de centrale onderzoeksvraag beantwoord worden of binnen het huidige operationele concept van Schiphol een beperkte groei van het aantal bewegingen mogelijk is zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt.

De opsplitsing in twee delen is gedaan ten behoeve van een gestructureerde analyse. In werkelijkheid is er niet altijd een helder onderscheid te maken tussen Schiphol-specifieke beheersmaatregelen en autonome verbeteringen van de veiligheid voortkomend uit internationale initiatieven. Dit onderscheid is zo goed mogelijk gemaakt om tot een eenduidig antwoord op de onderzoeksvraag te komen, zonder dubbeltellingen van beheersmaatregelen.

De aanpak van de studie is schematisch weergegeven in Figuur 2. In deze sectie worden de opeenvolgende stappen in de analyse toegelicht.

¹⁴ Verkeersdichtheid is momentaan: het aantal vliegtuigen in het deel van het luchtruim of op het gedeelte van het vliegveld waar een vliegtuig zich op dat moment bevindt. Verkeersdichtheid is dus wat anders dan verkeersvolume, ofwel het totaal aantal bewegingen in een jaar.



Figuur 2: Schematische weergave van de studieaanpak.

3.1 Selectie van de relevante ongevals categorieën

De integrale veiligheidsanalyse brengt de veiligheidseffecten van verkeersgroei voor alle ongevals categorieën en daarbij behorende ongevalsscenario's in kaart. De meest complete set van ongevals categorieën is gedefinieerd door het zogenaamde CAST-ICAO Common Taxonomy Team (CICTT). Deze set wordt internationaal gebruikt voor het categoriseren en rapporteren van incidenten en ongevallen. Het voordeel van deze set is dat de verschillende categorieën goed gedefinieerd zijn en wereldwijd als standaard worden gebruikt. Dat betekent dat rapportages over incidenten en ongevallen teruggeleid kunnen worden tot de betreffende categorieën. Om deze reden wordt in de veiligheidsanalyse deze set als basis gebruikt voor het identificeren van mogelijke veiligheidseffecten van verkeersgroei. Er zijn in totaal 36 categorieën [ICAO, 2013]. De volledige lijst is opgenomen in Appendix B.

Omdat de set van ongevals categorieën allesomvattend is, zijn er categorieën gedefinieerd die evident niet van toepassing zijn op de Schiphol-operatie (zoals bijv. *Glider Towing Related Events*). Deze categorieën (8) worden verder niet meegenomen in de analyse, zie Appendix B. Daarnaast zijn er categorieën waarvan in alle redelijkheid niet verwacht kan worden dat de ongevalskans *per beweging* samenhangt met de verkeersdichtheid (zoals bijv. *Cabin Safety Events*). Ongevallen binnen deze categorieën kunnen zich wel voordoen op Schiphol, maar een toename van het aantal bewegingen heeft geen invloed op de kans van optreden per beweging. Het NLR heeft op basis van haar expertise vastgesteld voor welke ongevals categorieën dit het geval is en deze vervolgens ter verificatie voorgelegd aan de sectorpartijen. De resulterende ongevals categorieën (10) worden eveneens niet meegenomen in de nadere analyse, zie Appendix B.

Er blijven 18 relevante ongevals categorieën over.

3.2 Bepaling veiligheidseffecten van verkeersgroei per ongevalscategorie

Elk van de 18 relevante categorieën is nader geanalyseerd om de mogelijke invloed van verkeersgroei op de ongevalskans per beweging in kaart te brengen (in sectie 4.2 worden deze analyses nader beschreven). Per ongevalscategorie is gekeken welke factoren de kans op een ongeval bepalen en of deze factoren beïnvloed worden door meer vliegverkeer. Zo zal een toename van het verkeersvolume -het totaal aantal bewegingen per jaar- ertoe leiden dat de verkeersdichtheid -het aantal vliegtuigen in een deel van het luchtruim of op een gedeelte van het vliegveld op een zeker tijdstip- in periodes stijgt. Voor de ongevalscategorieën waarbij twee vliegtuigen betrokken zijn of een vliegtuig en een grondvoertuig, Mid-Air Collisions, Runway Incursions en Ground Collisions, is er een directe afhankelijkheid tussen de ongevalskans per beweging en de verkeersdichtheid¹⁵. Er zijn echter ook nog andere afhankelijkheden, zoals de drukte op een communicatiefrequentie met beperkte capaciteit en de taaklast van een verkeersleider, waarbij verzadiging kan optreden.

Bij de analyse van het verband tussen verkeersvolume en ongevalskans per beweging is gebruik gemaakt van door het NLR mede-ontwikkelde oorzaak-gevolgmodellen [Ale et al., 2009]. Het gebruik van deze modellen, die reeds in Nederland en de Verenigde Staten zijn gevalideerd, zorgt er voor dat de analyses compleet zijn en dat er geen belangrijke factoren over het hoofd worden gezien. Daarnaast is er gebruik gemaakt van gegevens van de operatie op Schiphol en resultaten van relevante eerdere studies. Het resultaat is ter verificatie voorgelegd aan drie sectorpartijen (Schiphol, LVNL en KLM). Dit is gebeurd in een drietal werksessies met de genoemde sectorpartijen, waarin de ongevalscategorieën geclusterd zijn behandeld: *grondafhandeling*, *verkeersleiding* en *vlieg-technische zaken*. Om het integrale karakter van de analyse te waarborgen en juist ook veiligheidsaspecten op de raakvlakken tussen actoren te beschouwen waren de drie sectorpartijen ieder aanwezig op elk van de drie werksessies.

3.3 Beheersmaatregelen

De analyse van de effecten van verkeersgroei in de vorige stap kan per ongevalscategorie twee mogelijke uitkomsten hebben:

1. Er is - na een nadere analyse - geen, een verwaarloosbare of een positieve invloed van een groei van het aantal bewegingen op Schiphol op de kans op een ongeval per beweging;
2. Er is een negatieve invloed van een groei van het aantal bewegingen op Schiphol op de kans op een ongeval per beweging.

In het laatste geval zijn maatregelen nodig om de negatieve invloeden van een beperkte verkeersgroei weg te nemen of te beheersen. Als onderdeel van de analyse zijn beheersmaatregelen die door de sector zijn genomen of die voorzien zijn in kaart gebracht. Daarnaast zijn mogelijke additionele beheersmaatregelen geïdentificeerd. De verwachte effectiviteit van beheersmaatregelen is, binnen de scope van de huidige studie, een inschatting, onder meer omdat de effectiviteit kan afhangen van de feitelijke implementatie. Door het gebruik van alle beschikbare

¹⁵ De kans dat een vliegtuig een ander vliegtuig raakt, nadat verscheidene veiligheidsbarrières doorbroken zijn, hangt samen met de kans dat een ander vliegtuig zich bevindt in de baan van dat ene vliegtuig. Als die kans onafhankelijk is van de factoren waardoor die barrières doorbroken zijn, dan is die kans op een ongeval per beweging recht evenredig met de verkeersdichtheid. Dit geldt ook voor botsingen tussen grondvoertuigen en vliegtuigen aangezien het aantal bewegingen van afhandelingsgrondvoertuigen recht evenredig is met het aantal vliegbewegingen.

kennis van het NLR en de sector kan worden beoordeeld of verwacht mag worden dat de beheersmaatregelen afdoende zijn. Per ongevals categorie is op deze manier bepaald of er voldoende beheersmaatregelen genomen, voorzien of mogelijk zijn om er voor te zorgen dat bij verkeersgroei de kans per beweging op een ongeval niet toeneemt, zonder deze kans te kwantificeren. De analyse is dus in hoofdzaak kwalitatief. Dit betekent dat het niet mogelijk is om te zeggen dat de toename van de ongevalskans per beweging in de ene categorie gecompenseerd kan worden door een afname van de ongevalskans per beweging in de andere categorie.

3.4 Autonome verbetering van de veiligheid

De veiligheid van het vliegverkeer op Schiphol wordt niet alleen bepaald door de maatregelen die door de Schiphol-actoren specifiek voor Schiphol worden genomen. Wereldwijd wordt door tal van organisaties - ook Nederlandse - voortdurend gewerkt aan verdere verbeteringen van de veiligheid om de ongevalskans per beweging te verminderen. Dit wordt in het kader van deze studie de autonome veiligheidsverbetering genoemd. Deze gezamenlijke inspanningen hebben over de afgelopen decennia bewezen effectief te zijn en hebben ervoor gezorgd dat de luchtvaart steeds veiliger is geworden. De autonome verbeteringen in de veiligheid worden door alle maatschappijen die op Schiphol vliegen als het ware meegenomen naar Schiphol. Daarnaast maken Schiphol zelf, de luchtverkeersleiding en de grondafhandelaren onderdeel uit van een internationaal netwerk waarin veiligheidsverbeteringen gedeeld worden.

De autonome verbetering van de veiligheid is in deze studie onderzocht, om te kunnen vaststellen of valt te verwachten dat deze ontwikkeling ook in de nabije toekomst zijn uitwerking zal hebben op de veiligheid van het vliegverkeer op Schiphol. In sectie 4.1 zijn de resultaten van dit deel van de analyse gedocumenteerd. De langjarige trend in de veiligheid van de internationale luchtvaart wordt vastgesteld en er wordt onderzocht welke internationale initiatieven en ontwikkelingen voor de gevonden trend verantwoordelijk zijn. Vervolgens wordt vastgesteld of mag worden verwacht dat deze trend zich ook in de toekomst zal voortzetten en hoe de internationale ontwikkeling zich vertaalt naar de Schiphol-situatie. Op basis daarvan wordt vastgesteld welke autonome verbetering van de veiligheid voor de komende jaren op Schiphol verwacht mag worden.

3.5 Beantwoording onderzoeksvraag

Per ongevals categorie wordt bepaald wat voor Schiphol het effect is van een beperkte verkeersgroei op de kans op een ongeval per beweging. Daarnaast worden Schiphol-specifieke maatregelen geïdentificeerd die er voor kunnen zorgen dat de veiligheidseffecten van verkeersgroei worden beheerst of weggenomen. Als er voldoende maatregelen mogelijk zijn en deze tijdig worden genomen en effectief blijken, dan neemt de ongevalskans per beweging per ongevals categorie niet toe bij verkeersgroei. Daarnaast wordt voor Schiphol het effect van autonome veiligheidsverbeteringen op de gemiddelde ongevalskans per beweging bepaald. De resultaten van deze beide analyses worden gebruikt om de centrale onderzoeksvraag te beantwoorden: is de invloed van Schiphol-specifieke maatregelen en autonome veiligheidsverbeteringen op de ongevalskans per beweging voldoende om er voor te zorgen dat binnen het huidige operationele concept van Schiphol een beperkte groei van het aantal vliegbewegingen mogelijk is zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt.

4 De analyse

Dit hoofdstuk beschrijft de elementen die nodig zijn om de vraag te beantwoorden of binnen het huidige operationele concept van Schiphol een beperkte groei van het aantal vliegbewegingen mogelijk is zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt.

4.1 Autonome verbetering van de vliegveiligheid

4.1.1 Introductie

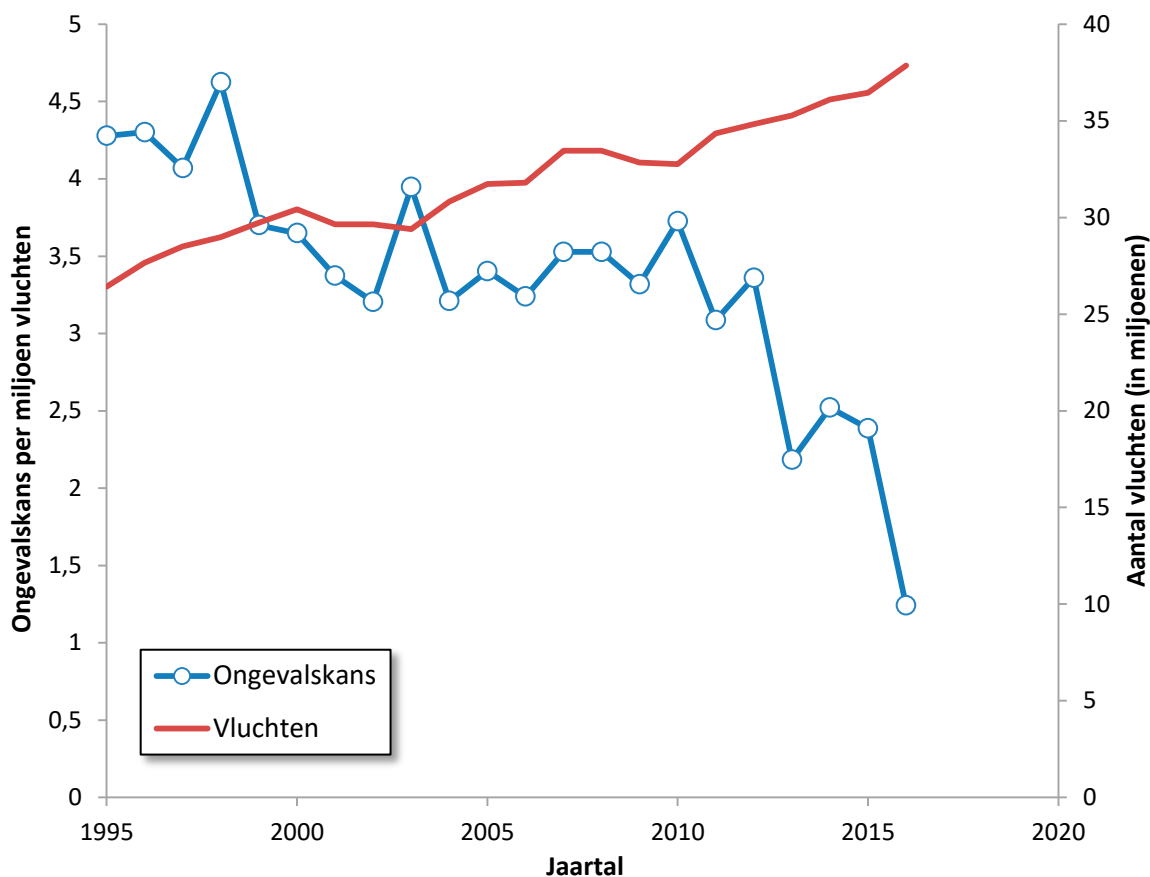
Met autonome verbeteringen van de vliegveiligheid worden verbeteringen bedoeld die niet exclusief zijn gericht op het verbeteren van de veiligheid op Schiphol, maar die het luchtvaartstelsel in bredere zin veiliger maken. Deze verbeteringen zijn het gevolg van gezamenlijke inspanningen van de internationale luchtvaartsector en zijn een uitvloeisel van een breder maatschappelijk verlangen naar een grotere veiligheid.

Op wereldschaal zijn de autonome veiligheidsverbeteringen goed zichtbaar. Figuur 3 laat voor commercieel vliegverkeer het mondiale aantal vluchten per jaar en de ongevalskans¹⁶ per vlucht zien over de periode 1995-2016. Gedurende deze periode was de gemiddelde groei van het verkeersvolume ongeveer 2% per jaar. De gemiddelde jaarlijkse afname in de ongevalskans per vlucht was meer dan 4%. Omdat de ongevalskans per vlucht sneller afneemt dan de groei van het aantal vluchten per jaar, vinden er jaarlijks steeds minder ongevallen plaats.

In welke mate deze wereldwijde trend zich ook op Schiphol voordoet is niet vast te stellen op basis van ongevalsstatistieken vanwege het geringe aantal ongevallen op Schiphol. In het vervolg van deze sectie worden daarom verscheidene internationale ontwikkelingen en initiatieven op veiligheidsgebied beschouwd en wordt aangegeven hoe Schiphol hiervan kan profiteren. Op basis van deze beschouwingen wordt een kwantitatieve inschatting gegeven van de jaarlijkse autonome verbetering van de veiligheid voor Schiphol.

De in deze sectie beschreven autonome veiligheidsverbeteringen ontstaan niet vanzelf maar zijn een gevolg van significante inspanningen en investeringen van overheden en industrie. Ook de Nederlandse luchtvaartindustrie heeft belangrijke bijdragen geleverd aan de veiligheidsverbeteringen door bijvoorbeeld deel te nemen in werkgroepen, investeringen in moderne technieken en trainingsmethoden, het beschikbaar maken van operationele gegevens en deelname aan - en financiering van - wetenschappelijk onderzoek. Van verdere autonome veiligheidsverbeteringen zal alleen sprake zijn indien overheden en industrie zich ook in de toekomst blijven inspannen om de veiligheid te verbeteren.

¹⁶ Ongevallen op en rond een luchthaven conform de ICAO Annex 13 definitie. Ongevallen tijdens de kruisvluchtfase zijn niet meegenomen in de statistiek.



Figuur 3: Wereldwijde ontwikkeling aantal vluchten en ongevalsekans (gebaseerd op [NLR, 2017]).

4.1.2 Organisatie en sturing van autonome veiligheidsverbeteringen

Autonome veiligheidsverbeteringen zijn het gevolg van talrijke lokale, regionale en internationale formele en informele processen die deels onafhankelijk van elkaar plaatsvinden. De belangrijkste zijn hieronder kort samengevat.

Hoewel er niet gesproken kan worden van een algehele mondiale coördinatie, schrijft de Internationale Burgerluchtvaartorganisatie ICAO wel een aantal primaire processen voor die in belangrijke mate hebben bijgedragen aan veiligheidsverbeteringen. Vooral regels voor het uitvoeren van ongevallenonderzoek (beschreven in ICAO Annex 13) en het inrichten van veiligheidsmanagementsystemen (beschreven in ICAO Annex 19) dragen bij aan het vermogen van de luchtvaartsector om te kunnen leren van ongevallen en incidenten en risico's te identificeren en reduceren. De door ICAO opgedragen standaards worden vrijwel allemaal door de lidstaten vertaald in nationale regelgeving. In sectie 4.1.3 wordt het proces van regelgeving, uitvoering en terugkoppeling nader beschreven.

In de Europese Unie is de Europese Commissie de belangrijkste regievoerder als het gaat om veiligheidsverbeteringen. Om ervoor te zorgen dat de Unie tegen 2030 kan beschikken over een infrastructuur voor een efficiënte, veilige en milieuvriendelijke afhandeling van het luchtvervoer, is het Single European Sky initiatief door de Europese Commissie gelanceerd. De veiligheidsdoelstellingen van dit programma betreffen een verbetering in 2020 - 'en daarna' - van de veiligheid met een factor 10 ten opzichte van 2005 [SESAR, 2012]. Om de doelstellingen te bereiken is onder andere

Uitvoeringsverordening (EU) 716/2014 van kracht¹⁷. Het invoeren van de volgende Luchthavenveiligheidsnetten (“Safety Nets”) is daarin voorgeschreven:

- Detectie van en waarschuwing voor conflicterende verkeersklaringen aan luchtvaartuigen en afwijkingen van voertuigen en luchtvaartuigen van hun instructies, procedures of routes met potentieel gevaar voor de voertuigen en luchtvaartuigen en risico's op botsingen tot gevolg;
- Instrumenten ter ondersteuning van de luchtverkeersleiding op het luchtvaartterrein voor het detecteren van conflicterende verkeersklaringen, ondersteund door een digitaal systeem, zoals Electronic Flight Strips (digitale strippen);
- Het detecteren van verschillende soorten tegenstrijdige klaringen;
- Het waarschuwen van luchtverkeersleiders wanneer luchtvaartuigen en voertuigen afwijken van de instructies, procedures of routes van de luchtverkeersleiding.

Invoering van deze maatregelen zal naar verwachting een significante bijdrage leveren aan de beoogde veiligheidsverbetering en vooral aan het verminderen van het aantal runway incursions en het risico van botsingen tussen luchtvaartuigen en voertuigen op de luchthaven. Ook op Schiphol worden deze maatregelen ingevoerd. In 2016 heeft LVNL de voorbereidingen getroffen voor de introductie van digitale strippen in de verkeerstoren. Een ‘proof-of-concept’ van dit systeem is in 2016 gereed gekomen. Implementatie van digitale strippen zal op korte termijn plaatsvinden. Digitale strippen op Schiphol zullen zorgen voor meer rust in de toren en bieden meer mogelijkheden om elektronische veiligheidsvangnetten te introduceren. Sinds 2011 worden alle start- en landingsbanen op Schiphol bewaakt door het Runway Incursions Alerting System Schiphol (RIASS). Dit is een vangnet in het systeem van de torenverkeersleiding, dat waarschuwt bij mogelijk gevaar voor een conflict tussen vliegtuigen en voertuigen en tussen vliegtuigen onderling op start- en landingsbanen en de bijbehorende op- en afritten. Hierdoor kan een verkeersleider indien mogelijk en noodzakelijk, direct passende maatregelen nemen. Verder maakt LVNL gebruik van het short-term conflict alert (STCA) systeem. STCA waarschuwt de luchtverkeersleider voor mogelijke afwijking van de minimale separatieafstand tussen vliegtuigen. LVNL heeft ook een systeem ingebouwd in het verkeersleidingssysteem dat waarschuwt wanneer een vliegtuig een doorstart maakt. Hierdoor wordt zeker gesteld dat de luchtverkeersleider de doorstart opmerkt en zo nodig actie kan ondernemen. Daardoor neemt de kans dat er een onveilige situatie ontstaat af.

Voor het gehele Europese luchtvaartstelsel en de industrie heeft de Europese Commissie een visie ontwikkeld voor 2050, die is gedocumenteerd in *Flightpath 2050* [Europese Commissie, 2011]. Het bevat doelstellingen voor verschillende prestatiekerngebieden waaronder veiligheid. De veiligheidsprestatiedoelstelling voor commercieel vliegverkeer is een ongevalskans per vlucht van minder dan één per tien miljoen. In de praktijk blijkt dat een dergelijke doelstelling eerder een ambitie reflecteert dan een hard doel. Dat neemt niet weg dat deze doelstellingen en de doelstellingen van vergelijkbare wereldwijde veiligheidsinitiatieven wel aanleiding zijn voor onderzoek en maatregelen die daadwerkelijk een positieve uitwerking hebben op de veiligheid, zoals die in de veiligheidsstatistieken zichtbaar is. Schiphol zal ook kunnen profiteren van deze veiligheidsinitiatieven.

Brancheorganisaties spelen ook een belangrijke rol bij het bewerkstelligen van veiligheidsverbeteringen. IATA, de brancheorganisatie voor luchtvaartmaatschappijen, heeft veiligheidsauditprogramma's ontwikkeld voor luchtvaartmaatschappijen (IATA Operational Safety Audit - IOSA) en voor afhandelaars (IATA's Safety Audit for Ground Operations - ISAGO). Om lid te kunnen zijn van IATA moet een luchtvaartmaatschappij beschikken over een IOSA-certificaat, maar ook niet-IATA-leden kunnen een IOSA-certificatie krijgen. De meeste commerciële operators die

¹⁷ Uitvoeringsverordening (EU) Nr. 716/2014 van de Commissie van 27 juni 2014 betreffende de vaststelling van het gemeenschappelijk proefproject ter ondersteuning van de tenuitvoerlegging van het Europese masterplan voor luchtverkeersbeheer.

Schiphol aandoen zijn lid van IATA en hebben het IOSA-certificaat. De brancheorganisatie voor luchthavens, Airports Council International ACI, publiceert handboeken waarin 'best practices' zijn beschreven om veiligheid te bewerkstelligen op het platform en de start- en landingsbanen. Schiphol is een actief lid van ACI en profiteert van de kennis op veiligheid die binnen deze brancheorganisatie wordt gedeeld. CANSO, de brancheorganisatie van luchtverkeersleidingsorganisaties, heeft een Europese strategie gepubliceerd voor de verdere verbetering van veiligheid in Air Traffic Management, waarin onder andere het belang van een goede veiligheidscultuur als één van de belangrijkste thema's wordt genoemd¹⁸. Ook heeft CANSO een uitgebreide *Standard of Excellence* voor veiligheidsmanagementsystemen uitgegeven¹⁹. LVNL is een actief lid binnen CANSO en profiteert van de kennis op veiligheid die binnen deze brancheorganisatie wordt gedeeld.

4.1.3 Regelgeving, uitvoering en terugkoppeling

Het proces van veiligheidsverbetering in de luchtvaart is voor een belangrijk deel gestoeld op het principe dat regelgeving (en toezicht op naleving van de regels) voorziet in een minimum niveau van veiligheid waarbij operationele ervaring en resultaten van wetenschappelijk onderzoek worden gebruikt om de regelgeving indien nodig aan te passen.

Verbetering regelgeving

Vliegtuigfabrikanten, luchtvaartmaatschappijen, luchthavens en luchtverkeersleidingorganisaties moeten aan een groot aantal regels voldoen ten behoeve van de vliegveiligheid. In Europa worden deze eisen opgesteld door EASA, waarbij de nationale autoriteiten toezien op naleving. Voordat Europese regelgeving wordt aangepast vindt een impact assessment plaats om te beoordelen of de regelgeving het gewenste effect zal hebben. Als onderdeel van het streven van de Commissie-Juncker naar betere regelgeving wordt Europese regelgeving ook binnen 5 jaar na implementatie geëvalueerd op effectiviteit.

Naast regelgeving ('hard law') publiceert EASA Acceptable Means of Compliance, Guidance Material en Certification Specifications ('soft law'). Vooral de Certification Specifications bevatten zeer gedetailleerde eisen voor luchtwaardigheid van vliegtuigen, brevettering van vliegers en cabinepersoneel, luchtvaartmaatschappijen, luchtverkeersleidingsorganisaties, verkeersleiders en luchthavens.

De EASA-regelgeving geldt ook voor de luchthaven Schiphol. Schiphol is gecertificeerd volgens de Europese regels. Europese Luchtvaartmaatschappijen moeten aan een groot aantal Europese regels voldoen die een positieve invloed hebben op de veiligheid. De lokale overheden zien toe dat de luchtvaartmaatschappijen aan deze regels voldoen. Het merendeel van de luchtvaartmaatschappijen die op Schiphol opereren komen uit een Europees land waar de EASA-regels van kracht zijn. Maatschappijen uit niet-EASA-landen moeten aan vergelijkbare regels voldoen. De vliegtuigen die op Schiphol landen en vertrekken zijn allemaal gecertificeerd volgens strenge eisen. Europese vliegtuigfabrikanten moeten voldoen aan de EASA-eisen. Deze eisen zijn grotendeels geharmoniseerd met die van andere landen waar vliegtuigen worden gebouwd, zoals de Verenigde Staten, Canada en Brazilië.

¹⁸ Beschikbaar op: <https://www.canso.org/canso-europe-strategy-future-safety-atm>

¹⁹ Beschikbaar op: <https://www.canso.org/canso-standard-excellence-safety-management-systems>

Veiligheidsmanagementsystemen

Een belangrijke recente Europese regelwijziging, aansluitend op ICAO Annex 19, is de verplichting tot het invoeren van een veiligheidsmanagementsysteem voor luchtvaartmaatschappijen, luchthavens en luchtverkeersleidingsorganisaties (respectievelijk Verordening (EU) Nr. 965/2012, Verordening (EU) Nr. 139/2014 en Verordening (EU) Nr. 1035/2011). Veiligheidsmanagementsystemen helpen om systematisch risico's in kaart te brengen en waar nodig te reduceren tot een acceptabel niveau. Dit vergroot de inzichten in de oorzaken van onveiligheid en maakt betere prioritering van de inspanningen om de veiligheid te beheersen mogelijk. Europese regelgeving met betrekking tot het melden van voorvallen (Verordening (EU) Nr. 376/2014) draagt bij aan de verdere verbetering van de gegevensstroom die nodig is om veiligheidsmanagement ook op geaggregeerde schaal effectief te laten werken. Een gezonde veiligheidscultuur is daarbij een voorwaarde. Hoewel het begrip veiligheidscultuur te abstract is om via regelgeving af te dwingen, wordt de ontwikkeling van een gezonde veiligheidscultuur door organisaties als EASA en Eurocontrol ondersteund door bijvoorbeeld de publicatie van voorlichtingsmateriaal.

Nationale autoriteiten houden toezicht op de naleving van de regels en het functioneren van veiligheidsmanagementsystemen (systeemtoezicht), in Nederland gebeurt dit door de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT). Bij het systeemtoezicht wordt de opzet, reikwijdte en werking van veiligheidsmanagementsystemen bij organisaties vastgesteld. Veiligheidsmanagementsystemen worden gezien als een belangrijk element voor het beheersen van risico's, daarom is het toezicht op veiligheidsmanagementsystemen nog steeds in ontwikkeling en kunnen verdere verbeteringen van dit type toezicht worden verwacht. De ontwikkelingen spelen nationaal maar ook internationaal, bijvoorbeeld bij EASA en internationale samenwerkingsverbanden zoals de *Safety Management International Cooperation Group* waarin nationale autoriteiten samenwerken. Een gezonde veiligheidscultuur waarin betrokkenen zich vrij voelen incidenten te melden is een belangrijk onderdeel van een effectief veiligheidsmanagementsysteem. Toezicht op de veiligheidscultuur is lastig omdat het moeilijk is de veiligheidscultuur van een organisatie vast te stellen. Bovendien zijn er geen criteria beschikbaar die beschrijven wanneer een veiligheidscultuur voldoende is. Het meten en verbeteren van de veiligheidscultuur van een organisatie en het toezicht hierop is onderwerp van onderzoek en aan ontwikkelingen onderhevig.

De luchthaven Schiphol, LVNL en vrijwel alle luchtvaartmaatschappijen die opereren op Schiphol gebruiken een veiligheidsmanagementsysteem. Dit geldt ook voor luchtvaartmaatschappijen afkomstig van buiten de Europese Unie. Schiphol profiteert daarom van de positieve effecten van het veiligheidsmanagementsysteem die door de diverse organisaties die actief zijn op Schiphol wordt gebruikt. In de nabije toekomst zal dit effect groter worden door het gebruik van big-datatechnieken om de voortdurend toenemende hoeveelheid veiligheidsdata te analyseren. Daarnaast gaan luchtvaartmaatschappijen data delen die voor deze analyses kunnen worden gebruikt (in Europa is het programma Data4Safety gestart, zie ook sectie 4.1.4). Naar verwachting zullen ontwikkelingen op het gebied van toezicht op veiligheidsmanagementsystemen en veiligheidscultuur positieve effecten hebben op de effectiviteit van veiligheidsmanagement.

Ongevallenonderzoek

Elk ongeval met een commercieel vliegtuig wordt krachtens ICAO Annex 13 onderzocht door de onderzoeksinstantie van het land waarin het ongeval plaatsvindt. Doel van het onderzoek is de oorzaak van het ongeval vast te stellen. Onafhankelijkheid van ongevalsonderzoeksbureaus is verankerd in Europese regelgeving (Verordening (EU) Nr. 996/2010). Ongevallenonderzoek levert doorgaans gedetailleerde aanbevelingen op die er voor moeten zorgen dat soortgelijke ongevallen in de toekomst worden voorkomen. Deze aanbevelingen kunnen leiden tot aanpassing van de regelgeving of aanpassing van de werkwijzen van luchtvaartmaatschappijen, luchtverkeersleidingsorganisaties en luchthavens. Omdat de resultaten van ongevallenonderzoek door vrijwel alle landen openbaar beschikbaar worden

gemaakt, is het effect van het onderzoek groter dan enkel de opvolging van aanbevelingen door organisaties aan wie deze zijn gericht.

In Nederland voert de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV) het onderzoek uit naar luchtvaartongevallen en ernstige incidenten. Ook voorvallen die op Schiphol hebben plaatsgevonden kunnen door de OVV worden onderzocht. De Raad trekt lessen op basis van onderzoek naar deze voorvallen. Dit heeft een positief effect op de veiligheid op Schiphol. Ook voorvallen die buiten Nederland plaatsvinden kunnen leiden tot verbeteringen die van invloed zijn op Schiphol. Bijvoorbeeld procedures aan boord van vliegtuigen kunnen wereldwijd worden aangepast naar aanleiding van een enkel ongeval in een bepaald land.

4.1.4 Sector-brede initiatieven voor veiligheidsverbeteringen

In aanvulling op de in de vorige secties beschreven processen die leiden tot autonome veiligheidsverbetering zijn er een aantal noemenswaardige sector-brede initiatieven gericht op het veiliger maken van het vliegverkeer.

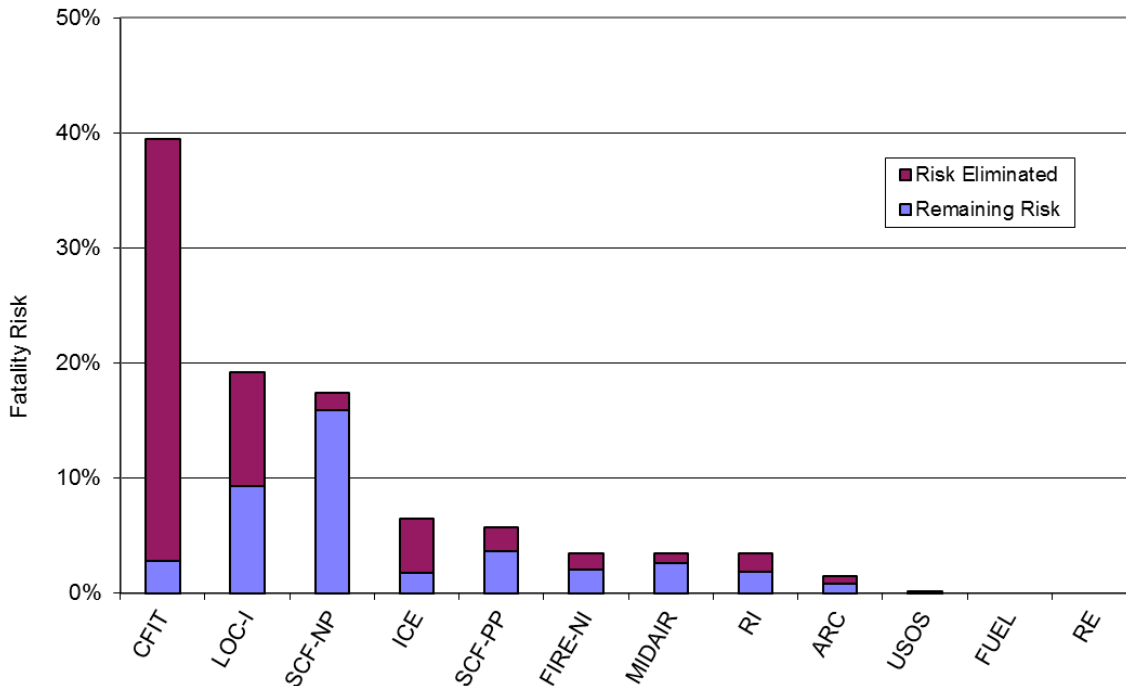
Commercial Aviation Safety Team

In 1998 is in de Verenigde Staten het Commercial Aviation Safety Team (CAST) opgezet met het doel om de kans op een fataal vliegtuigongeval tijdens een commerciële vlucht met 80% te verminderen in 2007²⁰. Om dit te bereiken zijn er verschillende onderzoeken gestart naar maatregelen om de vliegveiligheid verder te verbeteren. Daartoe zijn teams van experts gevormd die elk een bepaalde ongevals categorie hebben bestudeerd aan de hand van ongevalsonderzoeksrapporten. Deze experts vertegenwoordigden de vliegtuigfabrikanten (zoals Airbus en Boeing), de regelgevers (FAA en JAA²¹), vliegervakbonden, luchtvaartmaatschappijen, luchtverkeersleidingsorganisaties en ander luchtvaartorganisaties (bijvoorbeeld het NLR en NASA). Voor elke ongevalscategorie zijn zogenaamde interventies vastgelegd die de ongevallen zouden kunnen voorkomen. Van elk van de vastgestelde interventies is bepaald hoe effectief deze zal zijn. Daarbij zijn ook combinaties met andere interventies onderzocht. In totaal gaat het hierbij om meer dan tweehonderd interventies, waarvan een belangrijk deel inmiddels in uitvoering is.

Hoewel CAST een initiatief was voor de Verenigde Staten (overigens met een niet onaanzienlijke inbreng van Europese organisaties) zijn veel van de voorgestelde interventies ook in andere delen van de wereld uitgevoerd. Bovendien zijn de meest effectieve interventies vaak technologische vernieuwingen op vliegtuigen die door luchtvaartmaatschappijen wereldwijd worden gebruikt. Deze interventies leiden dientengevolge niet alleen tot verbetering van de veiligheid in de Verenigde Staten maar ook daar buiten. Vaak is implementatie van CAST-interventies een proces van enkele jaren, bijvoorbeeld omdat het vlootvernieuwing of verandering van regelgeving omvat. Ook nu nog worden er interventies ingevoerd. Waar CAST gericht was op een vermindering van de totale ongevalskans van 80% wordt geschat dat de interventies zelfs tot een nog grotere veiligheidsverbetering leiden. Het geschatte effect van de CAST-interventies voor de ongevalskansen in Europa is geïllustreerd in Figuur 4. Hierbij zijn de ongevallen ingedeeld in de CICTT-categorieën die in deze analyse worden gehanteerd.

²⁰ Zie o.a. <http://cast-safety.org> voor details over CAST.

²¹ JAA was een samenwerkingsverband van een aantal Europese luchtvaartautoriteiten en kan worden beschouwd als een voorloper van EASA.



Figuur 4: Geschatte reductie ongevalskans in Europa als gevolg van de 76 ingevoerde CAST-interventies [CAST, 2010]. Geschatte reductie is uitgezet per ongevalscategorie, zie Appendix B (noot: MIDAIR = MAC).

CAST is nog steeds actief en het huidige doel is om de ongevalskans verder te reduceren met 50% van 2010 tot en met 2025 (zowel in de Verenigde Staten en elders in de wereld). Dit betekent een gemiddelde jaarlijkse verbetering van meer dan 4% per jaar. Hierin speelt het Amerikaanse *Aviation Safety Information Analysis and Sharing* (ASIAS) initiatief een belangrijke rol. In ASIAS worden de vluchtdata van bijna alle Amerikaanse luchtvaartmaatschappijen maandelijks verzameld, samengevoegd met weerdata, radardata et cetera, en geanalyseerd. In Europa wordt een vergelijkbaar initiatief opgezet door EASA onder de naam Data4Safety. Dat project staat nog in de kinderschoenen en het zal nog zeker enkele jaren duren voor Data4Safety een belangrijke bijdrage kan gaan leveren aan de Europese veiligheidsinitiatieven.

De initiatieven van CAST hebben ook een invloed gehad op de veiligheid op Schiphol. Systemen en procedures aan boord van de vliegtuigen die Schiphol aandoen zijn aangepast en verbeterd door het werk binnen CAST. Ook heeft EASA haar regelgeving aangepast naar aanleiding van aanbevelingen vanuit CAST. Ook de nieuwe initiatieven van CAST kunnen in de nabije toekomst een positieve invloed hebben op het de veiligheid op Schiphol.

Europese werkgroepen ter vermindering van runway incursions en excursions

Onder leiding van Eurocontrol zijn in Europa vanaf 2003 werkgroepen gestart om het aantal runway incursions en runway excursions te verminderen. Deze werkgroepen zijn nog steeds actief en hebben tientallen algemene maatregelen voorgesteld om het aantal runway incursions²² en het aantal runway excursions te verminderen²³. Deze maatregelen vullen deels de CAST-interventies aan. Een deel van de voorgestelde maatregelen van deze werkgroepen is al ingevoerd. Een ander deel zal in de komende jaren pas effectief worden. Om in te schatten in welke mate de voorgestelde initiatieven de kans op runway incursion ongevallen verlagen, heeft het NLR een analyse uitgevoerd²⁴.

²² European Action Plan for the Prevention of Runway Incursions, edition 3.0. In het Runway Safety Team van de luchthaven Schiphol staat het European Action Plan for the Prevention of Runway Incursions al een aantal jaar op de agenda.

²³ European Action Plan for the Prevention of Runway Excursions, edition 1.0.

²⁴ Es, G.W.H. van, Post, J.A. (2010). Analysis of the effectiveness of European measures to prevent runway incursions, NLR-CR-2010-492, (niet gepubliceerd).

Daarbij is voor elke voorgestelde maatregel bepaald in welke mate deze de causale factoren van runway incursions mitigeert. Ook gecombineerde effecten (meerdere initiatieven die invloed hebben op eenzelfde causale factor) zijn onderzocht. Indien alle voorgestelde maatregelen worden uitgevoerd zal dat volgens deze studie leiden tot een verlaging van de kans op runway incursions met ongeveer 45%. Voor runway excursions is er geen vergelijkbare studie gedaan om de effecten van de beheersmaatregelen te kwantificeren.

Schiphol profiteert direct van de resultaten van de genoemde werkgroepen. Zo worden de aanbevelingen ten aanzien van het verminderen van runway incursions uit het *European Action Plan for the Prevention of Runway Incursions* gebruikt binnen het Runway Safety Team Schiphol. Niet alle voorstellen zijn effectief op Schiphol, vandaar dat niet alles automatisch wordt ingevoerd. Adviezen uit het *European Action Plan for the Prevention of Runway Excursions* dragen bij het verkleinen van de kans op runway excursions op Schiphol. Luchtvaartmaatschappijen en vliegtuigfabrikanten hebben bijvoorbeeld start- en landingsprocedures aangepast. Ook de rapportering van de baancondities gaat verder geharmoniseerd worden.

4.1.5 Specifieke initiatieven gericht op LOC-I en CFIT

Loss Of Control in Flight (LOC-I) en Controlled Flight Into Terrain (CFIT) zijn wereldwijd de ongevals categorieën waarbij de meeste doden vallen. In deze sectie wordt beschreven welke maatregelen wereldwijd zijn voorgesteld en ingevoerd om het aantal ongevallen in deze categorieën te verminderen.

Vermindering van LOC-I-ongevallen en verbetering van de vliegertraining

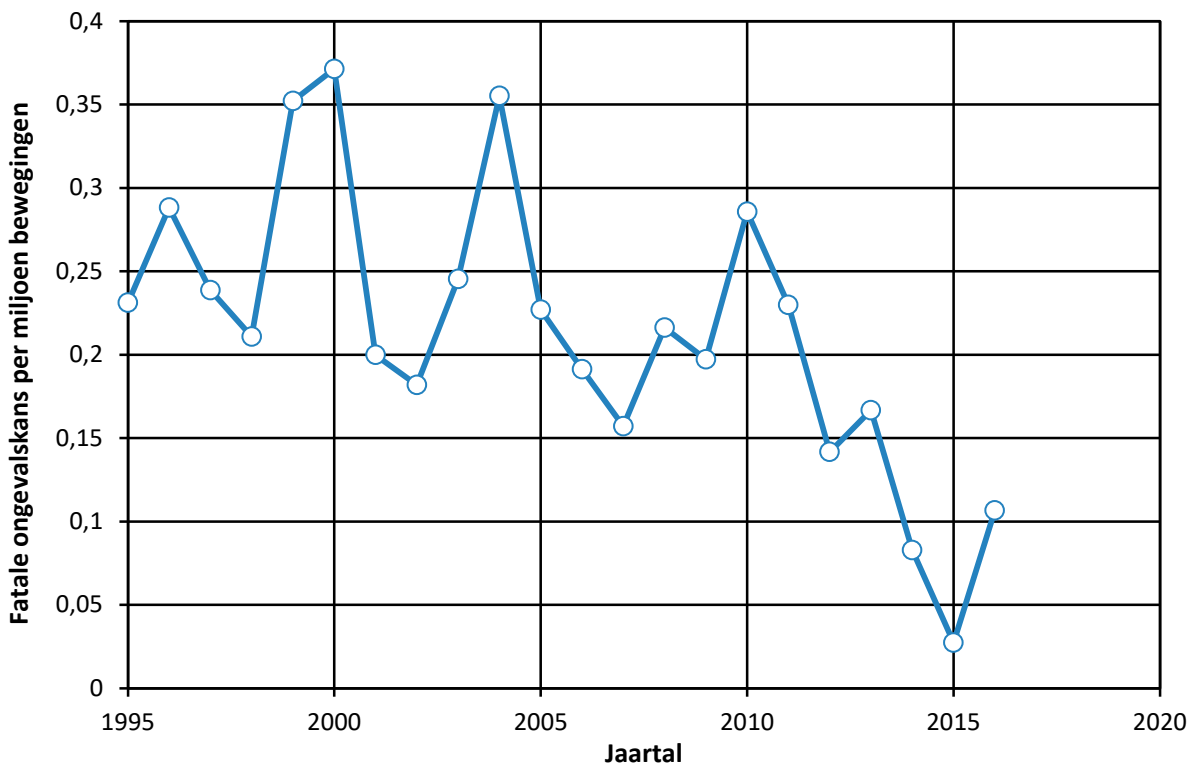
Loss-Of-Control In Flight (LOC-I) is op dit moment wereldwijd de dodelijkste ongevalscategorie. In de periode 2006-2015 was 23% van het totaal aantal fatale ongevallen een LOC-I-ongeval. Om deze reden is het verminderen van LOC-I-ongevallen onderwerp van diverse wereldwijde initiatieven. Een dergelijk initiatief is het eerder genoemde Civil Aviation Safety Team (CAST), dat een grootschalige actie heeft ondernomen om door middel van teams van wereldwijde experts de oorzaken van LOC-I-ongevallen nader te analyseren (de zogenaamde Joint Safety Analysis Teams²⁵) en maatregelen voor te stellen om deze ongevallen te voorkomen. Dit heeft geleid tot diverse interventiestrategieën, die erop gericht zijn om de kans op een LOC-I-ongeval te verlagen. Sinds circa 2005 wordt het effect van deze initiatieven zichtbaar. Figuur 5 geeft de fatale LOC-I-ongevalskans weer voor de periode 1995-2016. De data zijn afkomstig uit de NLR Air Safety Database en beslaan wereldwijde commerciële vluchten. Sinds 2005 is het aantal LOC-I-ongevallen wereldwijd meer dan gehalveerd. De gemiddelde verbetering bedroeg ongeveer 7% per jaar. Ondanks deze geleidelijke verbetering blijft LOC-I nog steeds de categorie met de meeste fatale ongevallen.

Een groot deel van de LOC-I-ongevallen wordt veroorzaakt door menselijke fouten. Er zijn dan ook veel internationale initiatieven om menselijke fouten te voorkomen en om vliegers beter te trainen om de gevolgen van fouten te kunnen herstellen. Een belangrijk initiatief is het invoeren van zogenaamde “upset recovery training”, waarbij vliegers geleerd wordt om het vliegtuig uit abnormale condities (zogenaamde “upsets”, zoals overtrek-situaties of grote standhoeken) veilig terug te brengen naar normale vliegcondities. Het niet of niet voldoende kunnen herstellen van een “upset” is een belangrijke oorzaak voor LOC-I-ongevallen. Om deze reden heeft de Flight Safety Foundation in 2008 de “Airplane Upset Recovery Training Aid” gepubliceerd. Vervolgens heeft EASA in 2015 regelgeving aangekondigd²⁶ om dergelijke training een verplicht onderdeel van de vliegopleiding te laten zijn. Naar verwachting zal deze aanpassing van de

²⁵ NLR heeft als expert in de Loss Of Control JSAT deelgenomen.

²⁶ EASA Notice of Proposed Amendment 2015-13: Loss of control prevention and recovery training.

regelgeving in april 2018 van kracht worden. Hiermee zal een belangrijke stap gezet worden om het aantal LOC-I-ongevallen verder terug te dringen. Om deze reden mag verwacht worden dat de komende jaren de geleidelijke vermindering van LOC-I-ongevallen zich zal voortzetten. Uitgaande van een 7% gemiddeld jaarlijkse verbetering van de LOC-I-ongevalskans, en rekening houdend met het feit dat 23% van de fatale ongevallen zich voordoet in de LOC-I-categorie, betekent dit dat een jaarlijkse verbetering van de totale fatale ongevalskans van circa 1.6% gerealiseerd kan worden door de genoemde initiatieven op het gebied van LOC-I. De meeste luchtvaartmaatschappijen op Schiphol zullen de “upset recovery training” gaan invoeren in de training van hun vliegers. Deze veiligheidsverbetering zal positief doorwerken op het veiligheidsniveau op Schiphol.



Figuur 5: Ontwikkeling fatale LOC-I-ongevalskans tussen 1995 en 2016 [NLR, 2017].

Vermindering van CFIT-ongevallen

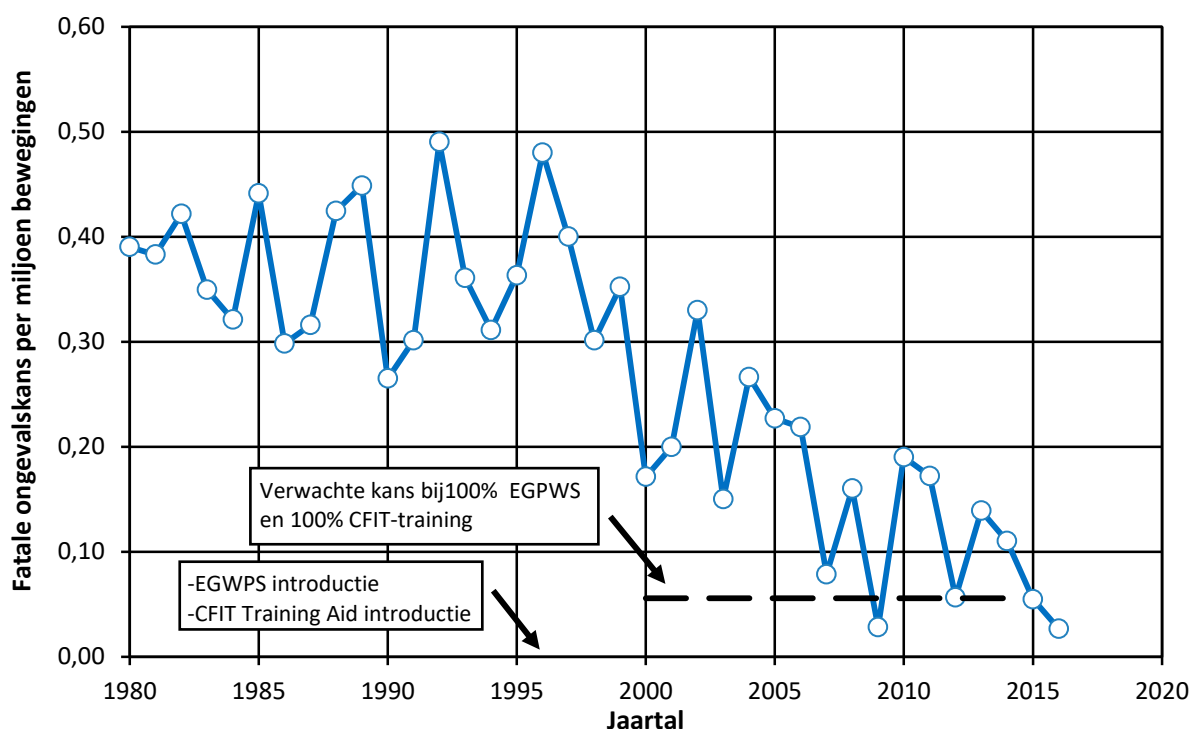
In de jaren 90 van de vorige eeuw was CFIT de dominante ongevalsecategorïe. Destijds zijn enkele internationale initiatieven gestart om het aantal CFIT-ongevallen terug te dringen, met veel aandacht voor technologische oplossingen en verbeteren van vliegertraining. De belangrijkste technologische maatregel ter voorkoming van CFIT-ongevallen is de installatie van het ‘Enhanced Ground Proximity Warning System’ (EGPWS) aan boord van vliegtuigen. Dit systeem waarschuwt vliegers wanneer het vliegtuig onbedoeld te dicht bij de grond dreigt te komen of wanneer het tegen een (groot) obstakel dreigt aan te vliegen. Het EGPWS-systeem staat ook bekend onder de naam TAWS ‘Terrain Avoidance and Warning System’ en is een verbetering van GPWS²⁷.

CFIT-training voor vliegers, beschikbaarheid van duidelijke procedures ter voorkoming van CFIT-ongevallen en installatie van EGPWS zijn factoren die het CFIT-risico sterk verlagen [FSF, 1994]. In Figuur 6 is de fatale CFIT-ongevalskans weergegeven voor de periode 1980-2016. De data zijn afkomstig uit de NLR Air Safety Database en beslaan

²⁷ GPWS kijkt uitsluitend naar beneden en geeft geen indicatie van obstakels en het terrein dat voor het vliegtuigpad liggen. TAWS/EGPWS maakt gebruik van een terrein/obstakel-database en is daarom in staat eerder waarschuwingen te geven wanneer een vliegtuig richting de grond of een obstakel dreigt te vliegen.

wereldwijde commerciële vluchten. Vóór de introductie van CFIT-training en EGPWS was de kans op een CFIT-ongeval relatief constant, daarna is een significante daling in de ongevalskans waarneembaar. De laatste jaren zijn er geen grote verbeteringen meer zichtbaar. De CFIT-ongevalskans heeft een waarde bereikt die door CAST was voorspeld indien alle vliegers CFIT-training zouden ontvangen en alle vliegtuigen zouden zijn uitgerust met EGPWS.

Vrijwel alle luchtvaartmaatschappijen op Schiphol hebben EGPWS geïnstalleerd in hun vliegtuigen. Dat geldt ook voor de meeste zakenvliegtuigen die Schiphol aandoen. Een groot deel van de luchtvaartmaatschappijen geven hun vliegers ook een specifieke CFIT-training. De daling van de CFIT-ongevalskans is een goed voorbeeld van een autonome veiligheidsverbetering. In de toekomst is voor deze ongevalscategorie echter hoogstens nog een kleine verbetering mogelijk.



Figuur 6: Ontwikkeling fatale CFIT-ongevalskans tussen 1980 en 2016 [NLR, 2017].

4.1.6 Vliegtuigmodernisering

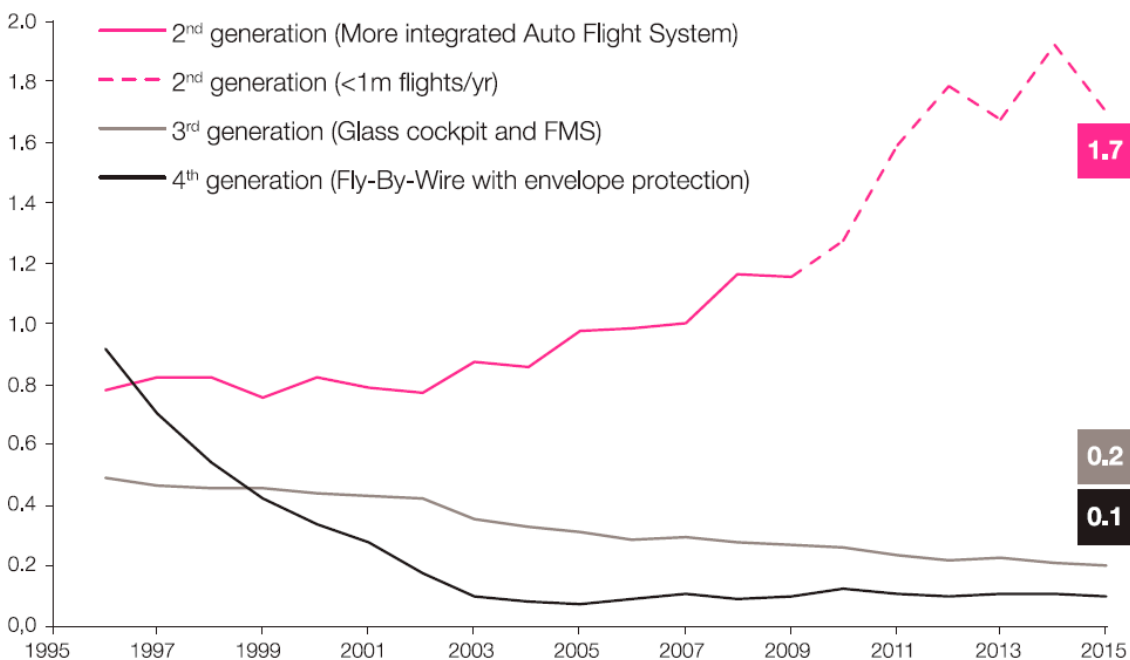
Vliegtuigfabrikanten werken permanent aan de verdere verbetering van de inzetbaarheid van vliegtuigen door de introductie van nieuwe technologieën die de betrouwbaarheid vergroten en de kans op operationele verstoringen verkleinen. De invloed van vliegtuigontwerpen op de veiligheid wordt goed geïllustreerd in Figuur 7 waarin de fatale ongevalskans voor verschillende generaties vliegtuigen wordt gegeven voor de periode 1995-2015. De verschillende generaties vliegtuigen onderscheiden zich door de gebruikte technologie, de eisen waartegen het vliegtuig is gecertificeerd en verbeteringen in het ontwerp naar aanleiding van voortschrijdend inzicht in menselijk gedrag²⁸. Op

²⁸ Onbewuste vliegerfouten zijn de meest voorkomende oorzakelijk factor in vliegtuigongevallen.

Schiphol opereren vrijwel alleen derde- en vierdegeneratievliegtuigen²⁹. De tweedegeneratievliegtuigen zijn uitgefaseerd mede omdat deze vliegtuigen niet meer voldoen aan de huidige geluidsnormen en de onderhouds- en brandstofkosten voor deze vliegtuigen te hoog zijn geworden. Figuur 8 illustreert het aandeel derde- en vierdegeneratievliegtuigen in de jaarlijks wereldwijd gemaakte vluchten. De vierde generatie krijgt een steeds groter aandeel in het totale vliegverkeer. Door vlootvernieuwing komen er ook steeds meer vierdegeneratievliegtuigen op Schiphol. Op Schiphol werd in 2016 51% van de bewegingen uitgevoerd door vierdegeneratievliegtuigen³⁰. In 2010 was het aandeel vierdegeneratievliegtuigen op Schiphol nog 30% van alle bewegingen. Het aandeel in de bewegingen van vierdegeneratievliegtuigen op Schiphol is hoger dan het wereldwijde aandeel en groeit ook sneller. De verwachting is dat deze trend op Schiphol nog enige tijd zal doorzetten door de aangekondigde vlootvernieuwingen van luchtvaartmaatschappijen.

Fatal accident rate 1996-2015

Accidents per million flights (Source: Airbus Accident Statistics brochure 1958-2015)



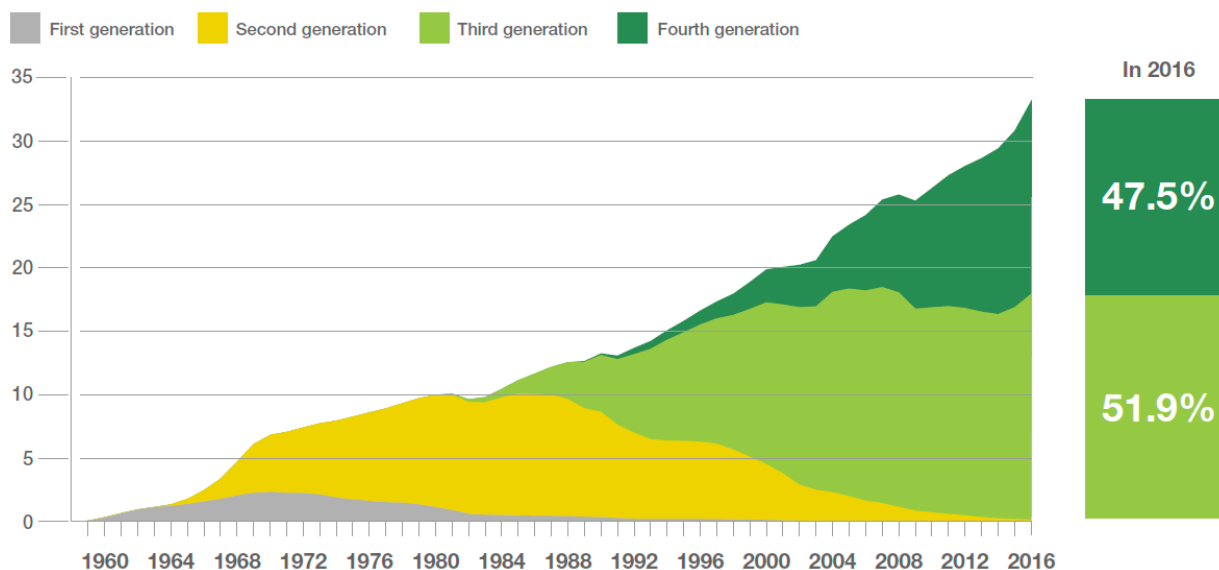
Figuur 7: Fatale ongevalsrisico's voor verschillende generatie jetvliegtuigen voor de periode 1995-2015, wereldwijd [Airbus, 2016].

De vierdegeneratievliegtuigen zijn vaak standaard uitgerust met de meest moderne technologische veiligheidssystemen zoals systemen die waarschuwen als de landingsbaan te kort is in relatie tot het landingsgewicht en de naderingssnelheid. Ook zijn deze vliegtuigen ontworpen met de meest recente inzichten en eisen ten aanzien van cockpitontwerp en human factors [Allianz, 2015].

²⁹ Voorbeelden van derdegeneratievliegtuigen zijn: A300-600, A310, ATR42/72, Avro RJ,F-50, F-70, F-100, 328JET, DHC-8, 717, 737 Classic & NG, 757, 767, 747-400, Bombardier CRJ, Embraer ERJ, MD-80, MD-90. Voorbeelden van vierdegeneratievliegtuigen zijn: A318/A319/A320/A321, A330, A340, A350, A380, B777, B787, Embraer E-Jets, Bombardier C-Series.

³⁰ Bepaald aan de hand van data uit het FANOMOS Flight track and Aircraft Noise Monitoring System op Schiphol.

Yearly number of flights by aircraft generation millions per year



Figuur 8: Aandeel generatie vliegtuigen in het aantal gemaakte vluchten per jaar, wereldwijd [Airbus, 2016].

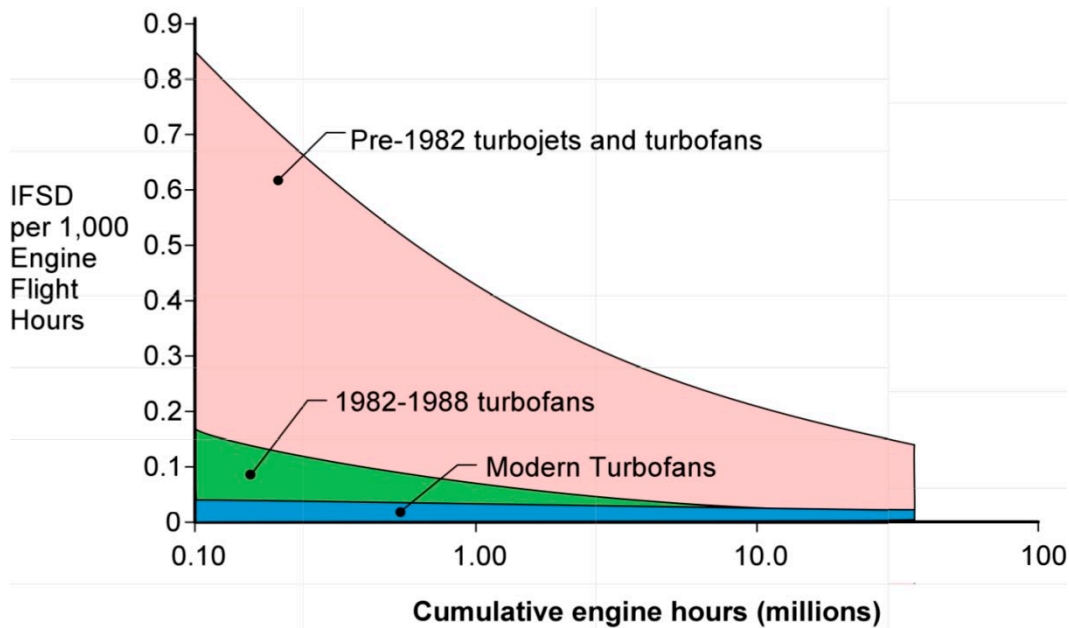
Fabrikanten zijn voortdurend bezig met het verder verkennen van nieuwe technologische oplossingen zoals systemen die automatisch een TAWS³¹- of TCAS³²-waarschuwing opvolgen, Fly-By-Wire-systemen met flight envelope-bescherming (om te voorkomen dat een vliegtuig voorbij de operationele limieten kan worden gebracht) en de invoering van Heads Up Displays in verkeersvliegtuigen zoals de Airbus A350 en Boeing 787 (waarbij informatie op een transparant display voor de cockpitruit wordt geprojecteerd, zodat de informatie zichtbaar is wanneer de piloot naar buiten kijkt). Dit vermindert onder andere de kans dat de vliegers worden afgeleid gedurende de start en landing en draagt bij aan het verminderen van ongevallen tijdens de start of landing en ongevallen waarbij de in lucht de controle over het vliegtuig wordt verloren [Allianz, 2015; Vandel en Weener, 2009]. Het Runway Overrun Prevention System (ROPS), dat de kans op een overrun tijdens de landing moeten verminderen door de vliegers te waarschuwen wanneer ze bijvoorbeeld te lang landen, te hard vliegen of niet hard genoeg remmen, wordt standaard geleverd op de Airbus A350. Dit systeem is ook beschikbaar als update voor andere Airbus-vliegtuigen en is door verschillen maatschappijen al geïnstalleerd. Een vergelijkbaar waarschuwingssysteem is SmartLanding dat is ontwikkeld door Honeywell. Ook dit systeem is door diverse luchtvaartmaatschappijen geïnstalleerd op hun vliegtuigen.

Ook de betrouwbaarheid van de diverse systemen van de vierdegeneratievliegtuigen is sterk verbeterd. Dit wordt bijvoorbeeld geïllustreerd door Figuur 9. De kans op een motorstoring is voor een derdegeneratievliegtuig twee maal zo groot als voor een vierdegeneratievliegtuig en voor een tweedegeneratievliegtuig zelfs veertien maal hoger [NLR, 2017].

De verbeteringen in betrouwbaarheid gelden ook voor grote updates die aan bestaande derdegeneratievliegtuigen worden doorgevoerd zoals de Boeing 737MAX en de Boeing 747-8. Deze vliegtuigen zijn onder andere uitgerust met dezelfde motoren zoals die op de vierdegeneratievliegtuigen te vinden zijn. Het veiligheidsniveau van nieuwere uitvoeringen van bestaande derdegeneratievliegtuigen zal daarom naar verwachting in de toekomst het niveau van vierdegeneratievliegtuigen benaderen.

³¹ Terrain awareness and warning system

³² Traffic alert and collision avoidance system



Figuur 9: Frequentie In-Flight Shut Downs (IFSD – het afzetten van een motor tijdens de vlucht) [Heinzerling, 2011].

4.1.7 Verwachte autonome veiligheidsverbetering voor Schiphol

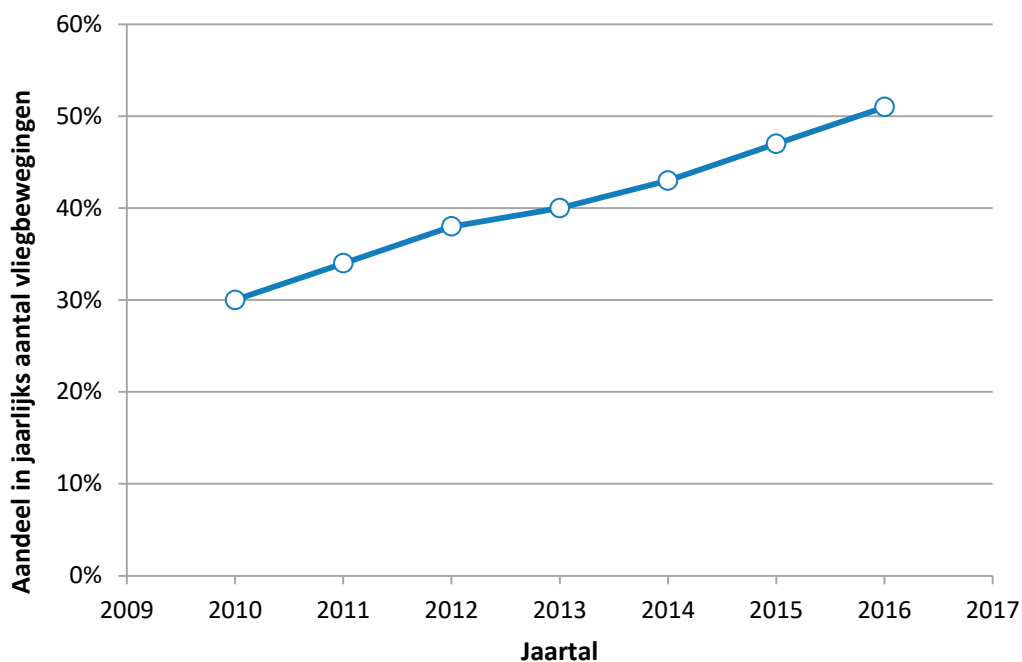
In ongevalsstatistieken van de afgelopen 20 jaar is een gemiddelde wereldwijde autonome veiligheidsverbetering zichtbaar van ruim 4% per jaar. Wereldwijde autonome ontwikkelingen werken ook door op Schiphol zoals in de voorgaande secties wordt geschetst, maar doen dit niet noodzakelijkerwijs in hetzelfde tempo. Dit komt enerzijds doordat een deel van de verbeteringen die gaandeweg wereldwijd worden doorgevoerd, op Schiphol al ingevoerd zijn. Anderzijds beginnen de actoren op een moderne luchthavens zoals Schiphol al eerder dan elders in de wereld aan weer nieuwe veiligheidsverbeteringen.

Vanwege het geringe aantal ongevallen op Schiphol is niet op basis van Schiphol-specifieke statistiek vast te stellen hoe groot de autonome veiligheidsverbetering op Schiphol is. Ook in Europese ongevalsstatistieken is geen duidelijke neerwaartse trend zichtbaar van het aantal ongevallen afgezet tegen het aantal vluchten. Doordat het veiligheidsniveau in Europa zeer hoog is, is de beschikbare statistiek gebaseerd op een klein aantal ongevallen (ongeveer 20 per jaar). Daardoor is sprake van een aanzienlijke onnauwkeurigheid die maakt dat veranderingen in de orde van enkele procenten per jaar mogelijk niet te onderscheiden zijn.

Een goede manier om toch inzicht te krijgen in de mate waarin de autonome ontwikkeling in de veiligheid doorwerkt op Schiphol is het bekijken van betrouwbare trends binnen deze ontwikkeling. Met name de beschreven verschillen in veiligheid van de verschillende generaties vliegtuigen is hiervoor geschikt. Dit komt doordat elke vliegtuiggeneratie gedurende de hele levensduur profiteert van de nieuwere stand van de techniek en de nieuwere standaarden in regelgeving op basis waarvan het vliegtuig is ontwikkeld en doordat vliegtuigen een lange levensduur hebben. Dit vertaalt zich ook in het feit dat de invloed van de vliegtuiggeneratie in de autonome veiligheidsverbetering in statistisch opzicht solide is.

Voor Schiphol kan op basis van de vlootvernieuwing tussen 2010 en 2016 een indicatie gegeven worden van de jaarlijkse veiligheidsverbetering in die periode. Figuur 10 toont het aandeel vierdegeneratievliegtuigen in de Schiphol-

operatie voor de jaren 2010-2016. Het verschil in fatale ongevalsfrequentie tussen derde- en vierdegeneratievliegtuigen is een factor twee. Gewogen naar het verkeersaandeel resulteert dit in een jaarlijkse veiligheidsverbetering voor Schiphol tussen 2010 en 2016 van gemiddeld ruim 2%. Aangenomen wordt dat dezelfde veiligheidsverbetering geldt voor niet-fatale ongevallen. Aangezien verwacht wordt dat het aandeel vierdegeneratievliegtuigen in de Schiphol-operatie voorlopig in gelijke mate blijft toenemen, zal er ook de komende jaren door vlootvernieuwing een autonome veiligheidsverbetering van 2% per jaar zijn. Deze verbetering vormt een ondergrens. De werkelijke autonome veiligheidsverbetering op Schiphol zal naar verwachting hoger zijn.



Figuur 10: Aandeel vierdegeneratievliegtuigen in de Schiphol-operatie (overig deel is derde generatie).

Naast vlootvernieuwing zal Schiphol ook kunnen profiteren van andere ontwikkelingen op veiligheidsgebied zoals geschetst in dit hoofdstuk. Nieuwe regelgeving op het gebied van operations, training, luchthavens en luchtverkeersleiding, verdere ontwikkelingen op het gebied van veiligheidsmanagement - inclusief het ontsluiten en gebruiken van meer en meer veiligheidsrelevante data - en een veelvoud aan specifieke initiatieven zullen de komende jaren hun impact hebben op het veiligheidsniveau van de luchtvaart in Europa en op Schiphol.

Alles in ogenschouw nemende mag worden verwacht dat de toekomstige autonome verbetering van de vliegveiligheid voor Schiphol ligt tussen 2% (gebaseerd op vlootvernieuwing in het Schipholverkeer) en 4% (mondiale trend afgelopen 20 jaar). Op basis van de bovenstaande overwegingen is het de verwachting dat op Schiphol autonome ontwikkelingen zorgen voor een reductie van de ongevalskans per beweging van gemiddeld ongeveer 3 procent per jaar.

4.2 Effecten van groei en beheersmaatregelen voor Schiphol

Deze sectie bevat de analyse van de veiligheidseffecten van verkeersgroei voor de 18 relevante ongevals categorieën. Per sectie wordt de achtergrond van de ongevalscategorie geschetst. Daarna wordt voor verschillende factoren die kunnen bijdragen aan een ongeval in de betreffende categorie geanalyseerd of deze factoren beïnvloed worden door een groei in het aantal bewegingen. Voor de factoren die mogelijk beïnvloed worden, wordt gekeken of er maatregelen zijn die deze effecten kunnen wegnemen of beheersen. Elke sectie sluit af met een korte conclusie. In hoofdstuk 5 worden de resultaten geconsolideerd. De genoemde beheersmaatregelen in de subsecties “invloed beheersmaatregelen” zijn samengevat in een tabel in Appendix C. Hierbij wordt opgemerkt dat het beheersen van groei-effecten een dynamisch proces is, toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn.

Om de leesbaarheid te vergroten is er voor gekozen om de ongevalscategorieën te behandelen op basis van een operationele groepering, zie Tabel 1.

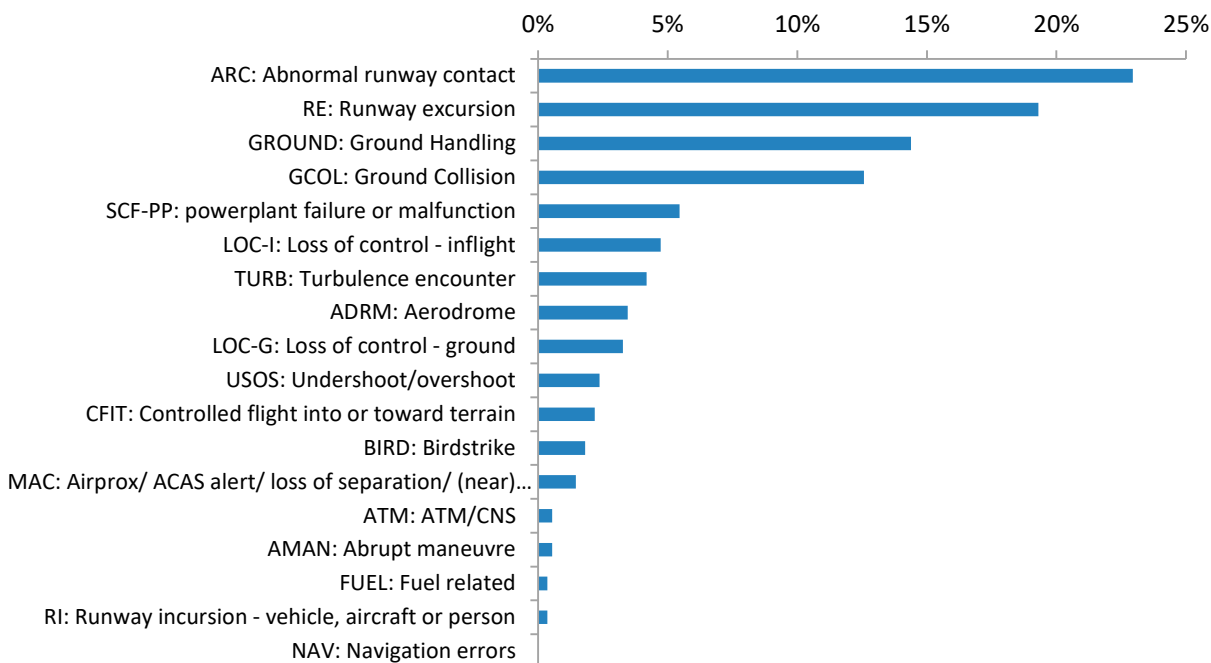
Tabel 1: Groepering ongevalscategorieën.

In de start- en landingsfase
Abnormal Runway Contact (ARC)
Runway Excursion (RE)
Undershoot/overshoot (USOS)
In de lucht
Airprox/TCAS Alert/Loss of Separation/(Near) Midair Collisions (MAC)
Controlled Flight In Terrain (CFIT)
Loss of Control – Inflight (LOC-I)
Fuel related (FUEL)
Turbulence Encounter (TURB)
Op de grond
Ground Handling (GROUND³³)
Ground Collision (GCOL)
Runway Incursion (RI)
Loss of Control-Ground (LOC-G)
Diversen
Abrupt Manoeuvre (AMAN)
Aerodrome (ADRM)
ATM/CNS (ATM)
Birdstrikes (BIRD)
Navigation Errors (NAV)
System/Component Failure or Malfunction (Powerplant) (SCF-PP)

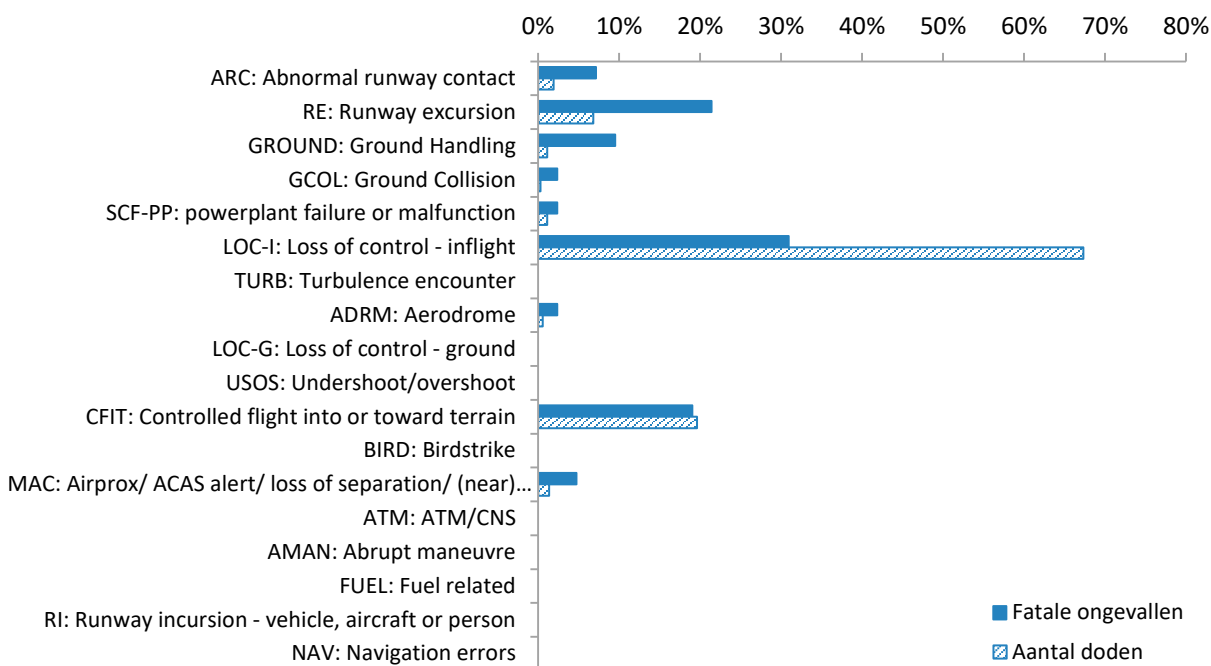
In de sub-secties waarin de verschillende categorieën worden besproken wordt sec gekeken naar de invloed van verkeersgroei op de ongevalskans per beweging van die categorie en de maatregelen die mogelijk zijn om deze effecten te beheersen. Om de invloed van verkeersgroei binnen een categorie te plaatsen in het grotere geheel is het waardevol om kennis te nemen van de historische ongevalsstatistiek per categorie. Figuur 11 toont de onderverdeling

³³ CICTT gebruikt de afkorting RAMP, in dit rapport wordt echter gebruik gemaakt van GROUND.

naar ongevals categorie voor ongevallen - fataal en niet fataal - met vaste vleugelvliegtuigen met een maximaal startgewicht groter dan 5.670kg in Noord-Amerika en de Europese Unie in de periode 2006-2016. Figuur 12 toont de onderverdeling naar ongevals categorie voor fatale ongevallen. Een enkel ongeval kan tot meerdere ongevalscategorieën behoren.



Figuur 11: Onderverdeling naar ongevalscategorie voor ongevallen met vaste vleugelvliegtuigen (maximaal startgewicht groter dan 5.670kg) in Noord-Amerika en de Europese Unie in de periode 2006-2016.



Figuur 12: Onderverdeling naar ongevalscategorie voor fatale ongevallen met vaste vleugelvliegtuigen (maximaal startgewicht groter dan 5.670kg) in Noord-Amerika en de Europese Unie in de periode 2006-2016.

4.2.1 Analyse ongevals categorieën - in de start- en landingsfase

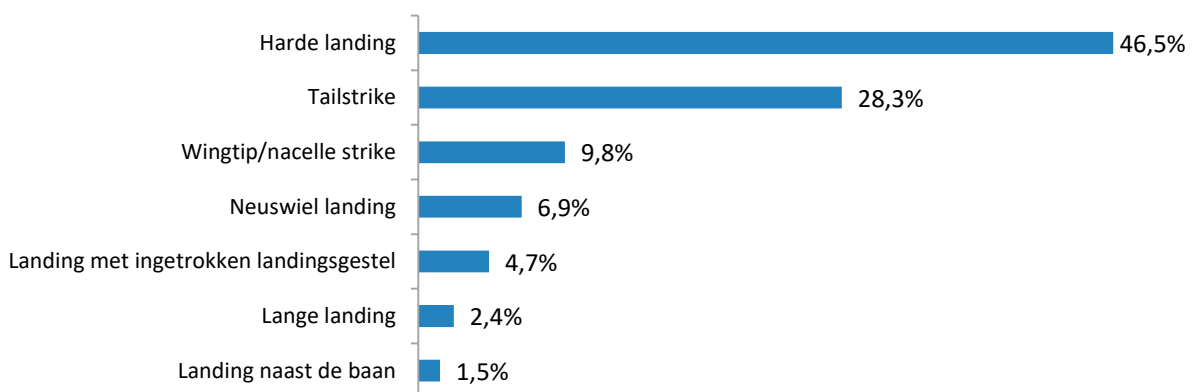
4.2.1.1 Abnormal Runway Contact (ARC)

Achtergrond

De ongevalscategorie 'Abnormal Runway Contact' (ARC) omvat voorvallen waarbij er tijdens de start of landing een abnormaal contact met de baan is. In deze categorie zitten voorvallen zoals harde landingen, lange of snelle landingen, landingen (deels) naast de baan, neuswiellandingen, tailstrikes (staart van een vliegtuig raakt de grond tijdens de start of landing) en wingtip/nacelle strikes (vleugeltip of motorgondel raakt de grond tijdens de start of landing). Neuswiellandingen en landingen waarbij de vlieger vergeten is het landingsgestel uit te doen vallen ook onder deze categorie.

Figuur 13 laat het frequentiediagram zien voor de diverse type ongevallen die onder ARC vallen. De data zijn afkomstig uit de NLR Air Safety Database³⁴ voor de periode 1995-2016 en hebben betrekking op ongevallen³⁵ met commerciële vliegtuigen in West-Europa en Noord-Amerika. Harde landingen zijn de meest voorkomende gevallen binnen de categorie ARC en kunnen leiden tot het bezwijken van het landingsgestel of tot grote schade waardoor het landingsgestel vervangen moet worden. Een aantal voorvallen uit Figuur 13 is exclusief gekoppeld aan de landingsfase. Voor andere voorvallen geldt dit niet, een tailstrike kan bijvoorbeeld zowel tijdens de start als de landing optreden. Het merendeel van de tailstrikes vindt echter plaats tijdens de startfase. Ook wingtip/nacelle strikes kunnen in zowel de start- als de landingsfase gebeuren, maar de meeste wingtip/nacelle strikes vinden plaats tijdens de landing. Overruns (het niet tijdig kunnen stoppen voor het einde van de landingsbaan) staan ook in dit overzicht omdat deze gekoppeld zijn aan een lange landing³⁶. Een lange landing wordt in principe niet als voorval beschouwd, maar als causale factor. Overruns worden ook onder de categorie 'Runway Excursions' geplaatst die ook beschouwd worden in deze studie. Er is dan ook een kleine overlap met de categorie 'Abnormal Runway Contact'.

Er zijn diverse onderliggende oorzaken voor een ARC-ongeval. Figuur 14 geeft een overzicht van de belangrijkste oorzaken. Er kunnen meerdere oorzaken betrokken zijn bij een enkele ARC-voorval. De genoemde oorzaken kunnen ook op Schiphol voorkomen.

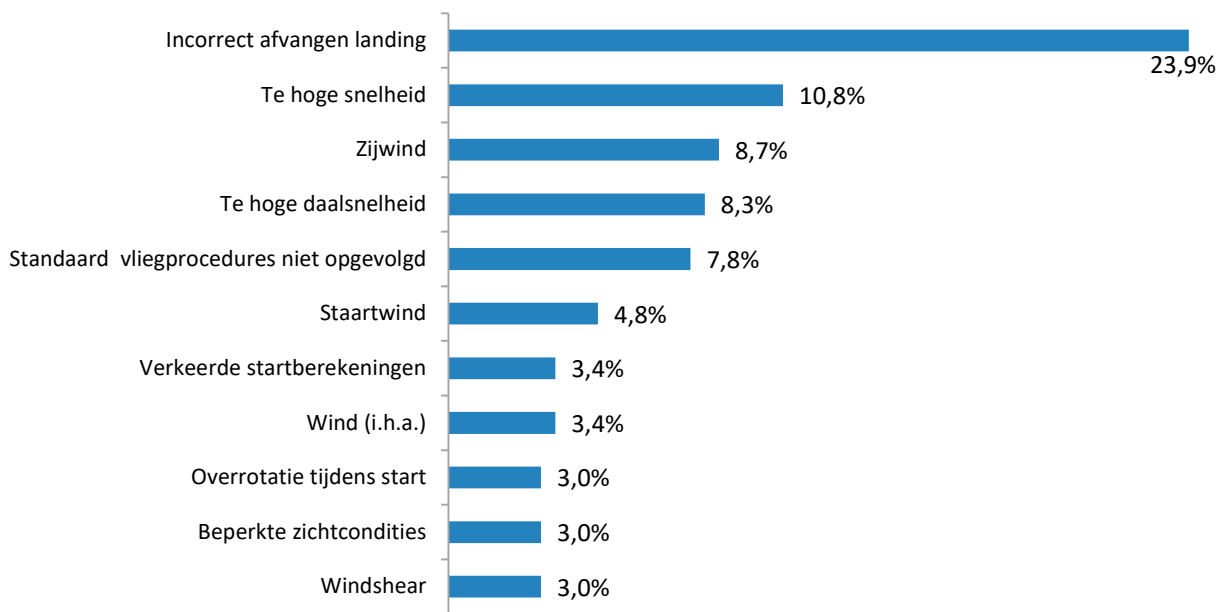


Figuur 13: Onderverdeling categorie ARC naar type ongeval [NLR,2017].

³⁴ De NLR Air Safety Database [NLR,2017] omvat gegevens over ongevallen en grote incidenten van vliegtuigen wereldwijd. De database wordt regelmatig uitgebreid met nieuwe gegevens van voorvallen. De database is gebaseerd op een groot aantal bronnen zoals verzekeringsdata, vliegtuigfabrikanten, ongevalonderzoeksinstanties, ICAO, et cetera.

³⁵ Volgens definitie van ICAO Annex 13.

³⁶ Een landing wordt als lang geclassificeerd wanneer de afstand van de baandempel tot aan het eerste baancontact meer dan ongeveer 600-700 m is.



Figuur 14: Belangrijkste oorzaken voor ARC-voorvallen [NLR,2017].

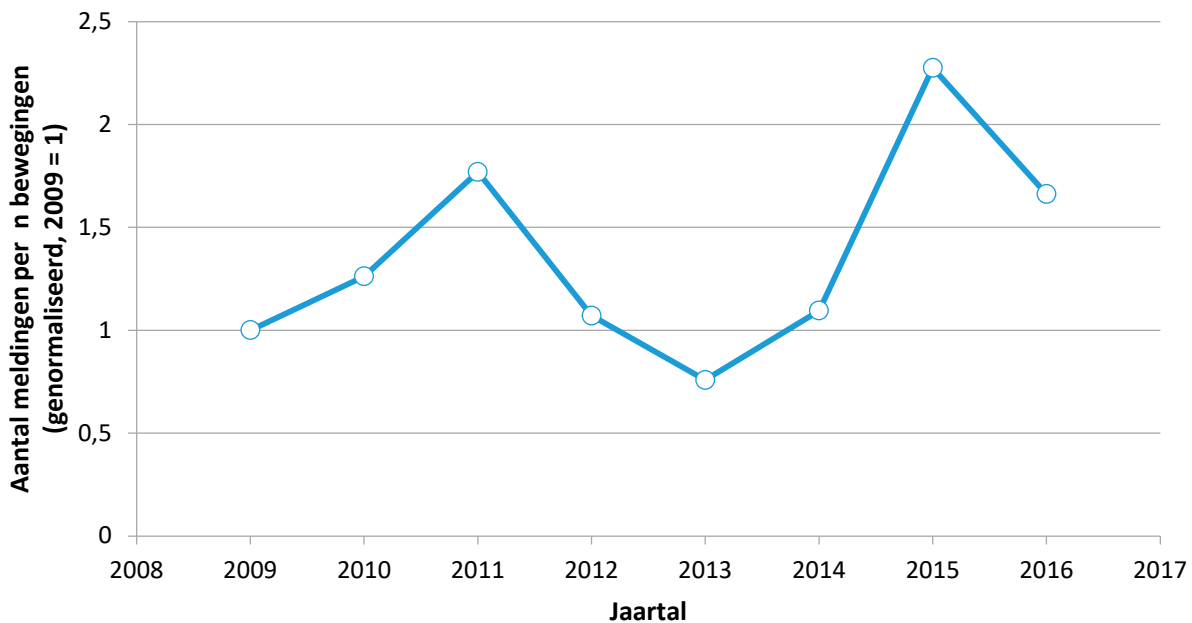
Invloed verkeersgroei op de ARC-ongevalskans

De invloed van een groei van het aantal bewegingen op de kans op een ARC-ongeval per beweging kan worden beoordeeld door te kijken naar de invloed van de groei op de belangrijkste oorzaken van een ARC-ongeval.

Incorrect afvangen

Het incorrect afvangen tijdens de landingsfase is de grootste causale factor. Het afvangen van het vliegtuig (de *flare* in het Engels) gebeurt vlak voordat het vliegtuig de grond raakt. Tijdens het afvangen brengt de vlieger de neus omhoog waardoor de daalsnelheid wordt verminderd, zodat het contact met de baan niet dusdanig is dat er te grote belastingen op het landingsgestel komen (boven de ontwerplimieten). Wanneer dit wel het geval is kan dit resulteren in schade aan het landingsgestel of het bezwijken van de landingspoot. Het is ook mogelijk dat het vliegtuig op het neuswiel landt. Het neuswielonderstel is minder sterk dan het hoofdlandingsgestel en kan daarom eerder bezwijken. Ook kan een landing op het neuswiel schade aan de romp veroorzaken door te hoge buigmomenten. Bij grote schade is er sprake van een ongeval.

Het incorrect afvangen tijdens de landing is gerelateerd aan de vaardigheden en training van de vliegers. Er wordt geen effect van de groei van het aantal bewegingen voorzien op de frequentie van landingen waarbij incorrect wordt afgevangen, aangezien er geen verandering in de vaardigheden en training van vliegers is voorzien als gevolg van de groei. Data met betrekking tot het relatief aantal harde landingen op Schiphol met KLM-vliegtuigen voor de periode 2009-2016 bevestigen deze conclusie (zie Figuur 15). Harde landingen zijn direct gekoppeld aan het verkeerd afvangen van het vliegtuig. Figuur 15 laat geen statistisch significante trend zien in het relatief aantal harde landingen ondanks de groei van het verkeer in de beschouwde periode. KLM kan worden gezien als representatief op het gebied van training en veiligheidsmanagement voor de andere maatschappijen die Schiphol aandoen. Het is dan ook aannemelijk dat eenzelfde beeld geldt voor de andere luchtvaartmaatschappijen op Schiphol.



Figuur 15: Harde landing-meldingen KLM op Schiphol (bron: KLM).

Als een vlieger te vroeg begint met afvangen kan de afstand van de baandrempel tot aan grondcontact langer worden dan de afstand waarmee de vliegtuigfabrikant rekent voor de benodigde landingsafstand³⁷. Dit verhoogt de kans op een overrun [NLR, 2005]. Dit valt onder de categorie 'runway excursions' die apart wordt beschouwd in dit rapport.

Snelheid tijdens nadering

Een andere belangrijke oorzaak voor een ARC-ongeval is het vliegen met een te hoge voorwaartse snelheid of een te hoge daalsnelheid. Dit is vaak het resultaat van een onstabiele nadering. Een hoge voorwaartse snelheid kan leiden tot een harde landing maar ook tot een te lange landing. Een te hoge daalsnelheid kan resulteren in een harde landing, zeker als het afvangen niet goed of tijdig gebeurt. Als de daalsnelheid heel hoog is dan zal een normale afvangtechniek ook niet kunnen voorkomen dat het vliegtuig hard tegen de grond aankomt. Wanneer de daalsnelheid de ontwerplimieten passeert kan de landingspoot afbreken of zwaar beschadigen.

De oorzaak van een te hoge snelheid en te hoge daalsnelheid bij de landing ligt voornamelijk in het doorzetten van een onstabiele nadering [Parisis, 2007]. Onstabiele naderingen hebben een aantal onderliggende oorzaken die grotendeels vallen onder het niet houden aan voorgeschreven vliegprocedures [IATA, 2016]. Ook externe factoren kunnen een rol spelen, zoals sterke staartwind gedurende de nadering of een verzoek van de luchtverkeersleiding om sneller, hoger, en/of korter te vliegen (kort indraaien) of visueel te naderen [IATA, 2016 en CANSO, 2017]. Wanneer een nadering onstabiel is, moet de vlieger normaal gesproken een doorstart maken en daarna opnieuw proberen te landen. Dit gebeurt om verschillende redenen niet altijd.

Wanneer een groei van het aantal bewegingen gepaard gaat met een toename van het aantal visuele naderingen, of wanneer er vaker gebruikt wordt gemaakt van kort indraaien tijdens de nadering, dan kan door verkeersgroei het relatief aantal onstabiele naderingen stijgen.

³⁷ Vliegtuigfabrikanten van civiele verkeersvliegtuigen baseren sinds kort de afstand van de baandrempel tot aan grondcontact op een standaardtijd van 7 seconden en een gemiddelde snelheid die het vliegtuig zou vliegen gegeven het vliegtuiggewicht, stand van de landingskleppen en de wind.

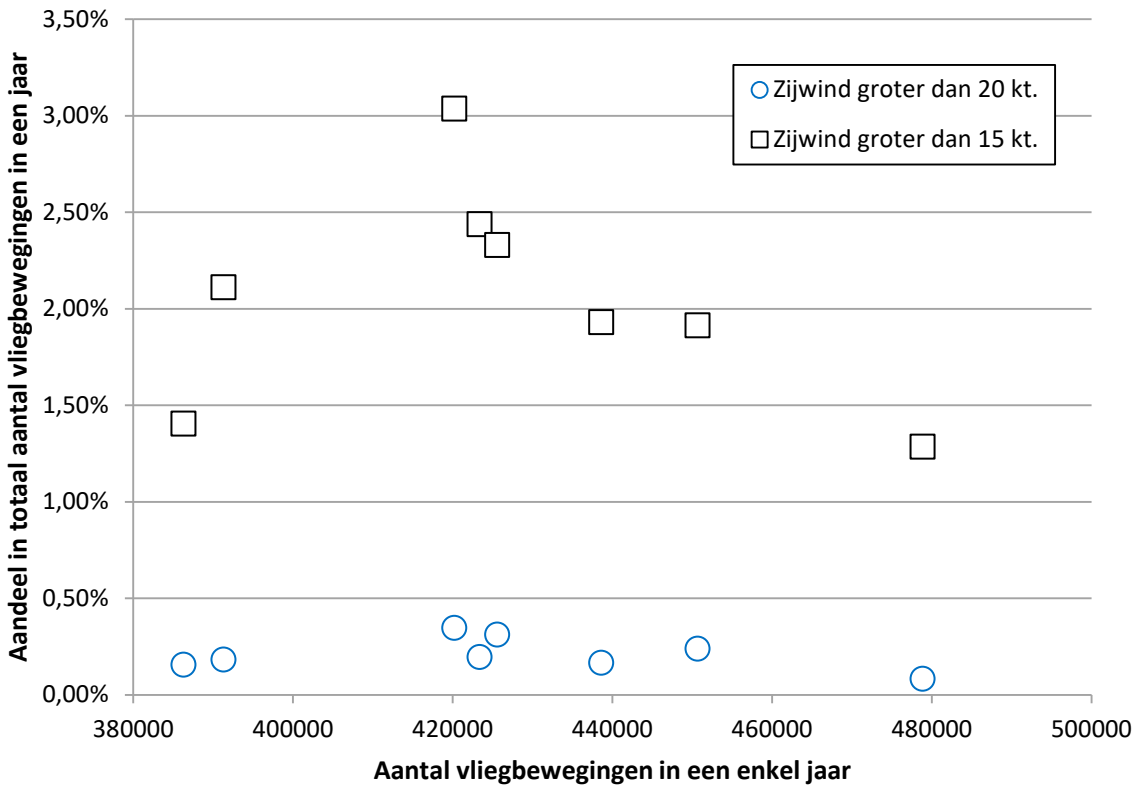
Windcondities

Sterke zijwind kan problemen opleveren met het besturen van het vliegtuig. Vaak gaat een sterke zijwind gepaard met windstoten. Dit kan in een uiterst geval (bijvoorbeeld met een grote zijwaartse beweging) ervoor zorgen dat tijdens de landing een landingspoot afbreekt of beschadigd raakt. Ook kan de vleugeltip of de motorgondel de grond raken in sterke zijwindcondities. Staartwind verhoogt de afstand die een landend vliegtuig aflegt tussen de baandrempel en het landen op de baan. Sterke staartwind tijdens de landing kan daarom resulteren in lange landingen. Sterke staartwind tijdens de nadering kan ook resulteren in een onstabiele nadering.

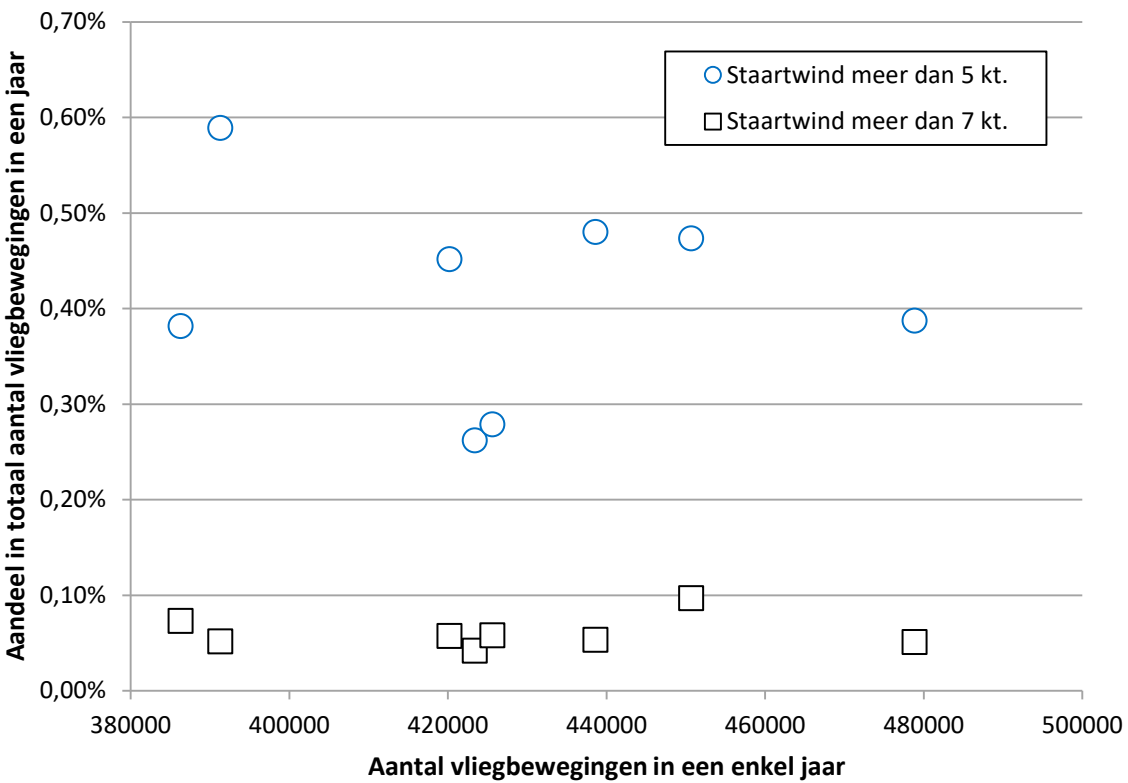
De mate van blootstelling aan sterke zij- en staartwinden hangt deels samen met het windklimaat, oriëntatie van de banen en het baantoewijzingssysteem. Ook de door de luchtvaartmaatschappijen gebruikte windlimieten spelen hierin een rol. Het baangebruik op Schiphol is (deels) afhankelijk van de windcondities. Wanneer de in het AIP vastgelegde windlimieten worden overschreden zal er van baancombinatie worden veranderd. Deze limieten liggen (ruim) onder de normale operationele limieten die gebruikt worden door de luchtvaartmaatschappijen voor hun vliegtuigen. Er is daarom een zekere veiligheidsmarge ingebouwd bij de baantoewijzing. Uiteindelijk is de vlieger altijd de eindverantwoordelijke bij het accepteren van een bepaalde baan en de daarop heersende windcondities.

Beschikbare historische baangebruiksgegevens voor Schiphol gecombineerd met winddata geven inzicht in hoe vaak vliegtuigen onder bepaalde zij- en staartwindcondities starten en landen. Het relatief aantal bewegingen gemaakt onder bepaalde zij- en staartwindcondities in een bepaald jaar, is met behulp van deze data gecorreleerd aan het totaal aantal bewegingen wat in het betreffende jaar gemaakt is³⁸. Het resultaat van deze correlatie is weergegeven in Figuur 16 en Figuur 17. Uit de data blijkt dat er geen invloed van het aantal jaarlijkse bewegingen is op het relatief aantal bewegingen in hoge zij- en staartwind. Het relatief aantal starts en landingen in zijwind van meer dan 20 knopen neemt bijvoorbeeld niet toe bij verkeersgroei. Dit aandeel blijft rond 0.2% schommelen zoals blijkt uit Figuur 16. Met andere woorden de verkeersgroei in de periode 2009-2016 heeft er niet toe geleid dat er vaker onder hoge zij- en staartwind is gestart of geland. Overgang van een 1+1- naar een 1+2- of 2+1-baancombinatie betekent vaak dat er een parallelle baan wordt bijgezet, dus dat zal praktisch geen verandering teweeg brengen. Uit overleg met sectorexperts volgt dat uitzonderingen aangeboden door de verkeersleiding aan vliegers om op een baan te landen boven de geldende windcriteria relatief niet vaker zullen voorkomen wanneer het verkeer verder groeit. De verwachting is dan ook dat bij een beperkte groei van het aantal bewegingen de frequentie van operaties onder minder gunstige windcondities niet zal toenemen.

³⁸ Gegevens van individuele starts en landingen geregistreerd in het FANOMOS (Flight track and Aircraft NOise MOonitoring System) systeem zijn hiervoor gekoppeld aan de gemeten windrichting en -snelheid.



Figuur 16: Aantal vliegbewegingen per jaar uitgezet tegen het relatief aantal operaties in zijwind op Schiphol voor de jaren 2009 tot en met 2016.



Figuur 17: Aantal vliegbewegingen per jaar uitgezet tegen het relatief aantal operaties in staatwind op Schiphol voor de jaren 2009 tot en met 2016.

Vliegtuigprestatieberekeningen

Verkeerde vliegtuigprestatieberekeningen voor de start kunnen leiden tot een te vroege rotatie van het vliegtuig met als mogelijk resultaat een tailstrike. Op Schiphol maken de luchtvaartmaatschappijen gebruik van vliegtuigprestatiesoftware die door de vliegers zelf kan worden gebruikt of vanuit een centraal punt worden bediend. Enkele maken nog gebruik van papieren handboeken of tabellen om startberekeningen uit te voeren. Historische data laten zien dat veruit de meeste fouten met prestatieberekeningen worden gemaakt aan de gate [IATA, 2011a]. Verkeerde vliegtuigprestatieberekeningen worden veroorzaakt door een slechte interface van de gebruikte software, afleiding van de bemanning, late aanlevering van benodigde invoergegevens et cetera [IATA, 2011a]. Deze oorzaken hebben geen relatie tot een groei in het verkeersvolume. Een beperkte groei van het aantal bewegingen op Schiphol zal dus niet leiden tot een hogere frequentie van het aantal voorvallen waarbij er verkeerde startprestatieberekeningen zijn gedaan of resultaten van zulke berekeningen verkeerd worden ingevoerd.

Overrotatie

Een overrotatie kan leiden tot een tailstrike. Overrotaties kunnen verschillende onderliggende oorzaken hebben. Grote windstoten of een sterke zijwind kan de kans op een overrotatie tijdens de start vergroten [Carbaugh, 2006]. Overrotaties tijdens de landing worden soms vooraf gegaan door een onstabiele nadering [Craig, 2004]. Daarbij kan ook een verkeerde afvangtechniek een rol spelen. Overrotatie van het vliegtuig is dus net als het incorrect afvangen tijdens de landing, vaak gerelateerd aan de vaardigheden en training van de vliegers (ook tijdens de start). Er wordt geen effect van de groei van het aantal bewegingen voorzien op de frequentie van overrotaties, aangezien er geen verandering in de vaardigheden en training van vliegers is voorzien als gevolg van de groei.

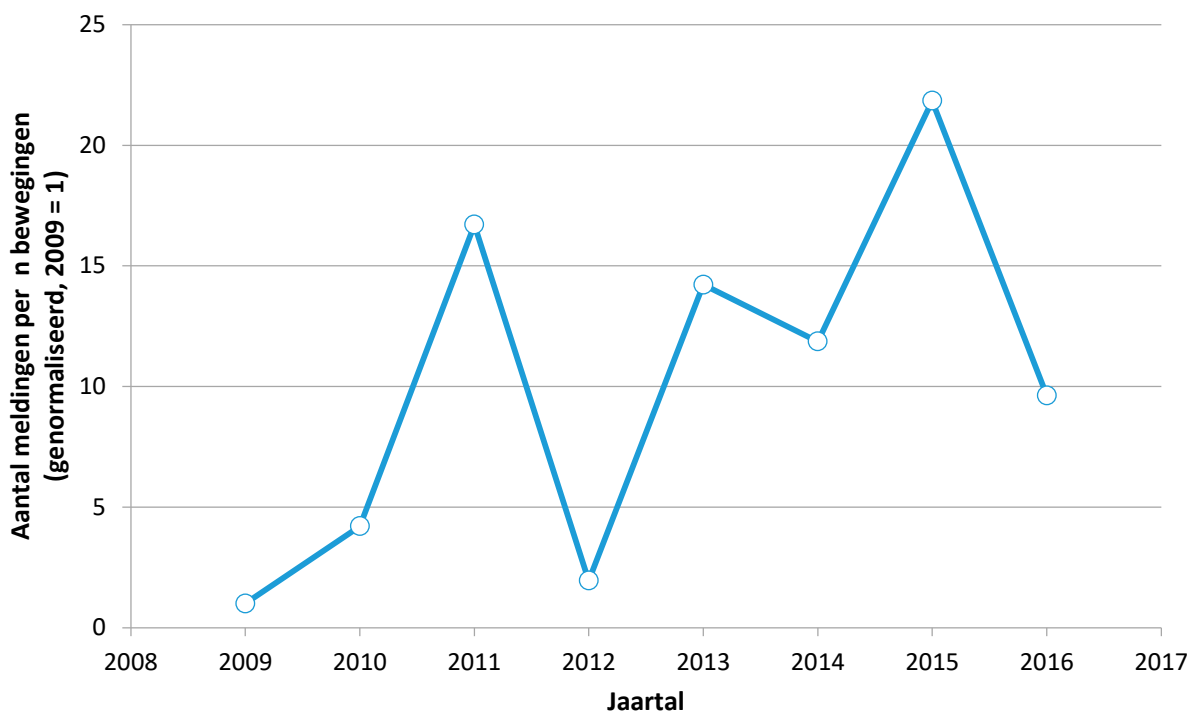
Beperkt zicht

De factor 'beperkt zicht' speelt een rol wanneer de vliegers niet tijdig de baan kunnen zien tijdens de landing. Dit kan leiden tot een harde landing of een landing naast de baan. De meeste landingsbanen op Schiphol zijn uitgerust met een precisienaderingssysteem van de hoogste categorie (CAT III ILS). Dit betekent dat vliegtuigen die een volledige automatische landing kunnen uitvoeren zonder probleem kunnen landen onder de slechtste zichtcondities en lage wolkenbasis. Een groot aantal vliegtuigen dat op Schiphol opereert kan op deze manier landen. Een ander deel van de vliegtuigen beschikt niet over een dergelijk autolandsysteem. Deze kunnen meestal wel handmatig een precisienadering uitvoeren bij iets minder restrictieve zichtcondities en een hogere wolkenbasis. Wanneer de baan niet op een bepaalde hoogte zichtbaar is, zal de nadering moeten worden afgebroken door de vliegers. Er is een kleine kans dat de vliegers toch besluiten - tegen de standaard procedures in - om de nadering door te zetten. Bij een groei van het aantal bewegingen zal deze kans echter niet verder toenemen aangezien tijdens periodes van beperkt zicht de baancapaciteit verder wordt teruggeschoefd. Een groei van het vliegverkeer zal dan ook niet leiden tot een toename van de kans per beweging op een ARC-ongeval als gevolg van beperkt-zichtcondities.

Windshear

Windshear is een plotselinge verandering van de windsnelheid en -richting in horizontale of verticale richting (niet te verwarren met windstoten) over een korte afstand. Een vliegtuig dat op lage hoogte geconfronteerd wordt met windshear kan plotseling zoveel hoogte verliezen dat het vliegtuig hard tegen de grond aankomt. Dit kan zowel net na de start (initiële klimfase) als tijdens de landing plaatsvinden. Windshear kan leiden tot een lange landing, maar dit is vrij zeldzaam. Ook op Schiphol komt windshear voor. De kans op het meteorologische fenomeen neemt niet toe bij verkeersgroei, maar de kans dat vluchten te maken krijgen met windshear neemt mogelijk wél toe. Figuur 18 toont het aantal keren dat er door KLM windshear is gemeld per beweging (genormaliseerd) op Schiphol voor de periode 2009-2016. Hierin is een kleine opwaartse trend te zien in het aantal meldingen over een periode waarin het aantal bewegingen groeide. De schommelingen in de getoonde data kunnen echter worden veroorzaakt door toeval en de natuurlijke variaties in het weer gedurende de beschouwde periode.

De getoonde statistiek in Figuur 18 is gebaseerd op waarschuwingen gegenereerd door systemen aan boord van vliegtuigen. Een waarschuwing betekent niet noodzakelijkwijs dat het vliegtuig door een gebied met windshear is gevlogen. Het systeem geeft waarschuwingen wanneer een vliegtuig een gebied met windshear dreigt binnen te vliegen of wanneer het vliegtuig zich in een actief windshear-gebied bevindt. Bij de eerste waarschuwing zal de vlieger proberen het gebied te vermijden, door bijvoorbeeld de nadering of start af te breken. Wanneer de waarschuwing komt terwijl het vliegtuig zich in het windshear-gebied bevindt zal de vlieger direct actie moeten ondernemen. De voorgeschreven actie tijdens de nadering is het uitvoeren van een doorstart. Als de waarschuwing tijdens de start wordt gegeven zal de vlieger bijvoorbeeld de maximale beschikbare stuwkracht selecteren en de snelheid niet onder een kritische waarde laten dalen. Als het vliegtuig zich nog op de grond bevindt tijdens de start, dan kan de start worden afgebroken wanneer de snelheid van het vliegtuig zich onder de beslissingssnelheid bevindt. Statistische data laten zien dat vliegers windshear-waarschuwingen goed en snel opvolgen [Ishihara, 2012]. Goede training van de vliegers speelt hierbij een belangrijke rol. Wanneer vliegers melding maken van windshear aan de verkeersleiding, dan zal deze dit ook doorgeven aan de bemanningen van andere vliegtuigen zodat deze al voorbereid zijn voor mogelijke acties waaronder het vermijden van het windshear gebied. Windshear komt vaker voor in gebieden met sterke neerslag en onweer. Deze gebieden zijn goed zichtbaar op de weerradars (zowel aan boord van het vliegtuig als op de grond). Vliegers en verkeersleiding proberen altijd om deze gebieden heen te vliegen.



Figuur 18: Windshear-meldingen KLM op Schiphol (bron: KLM).

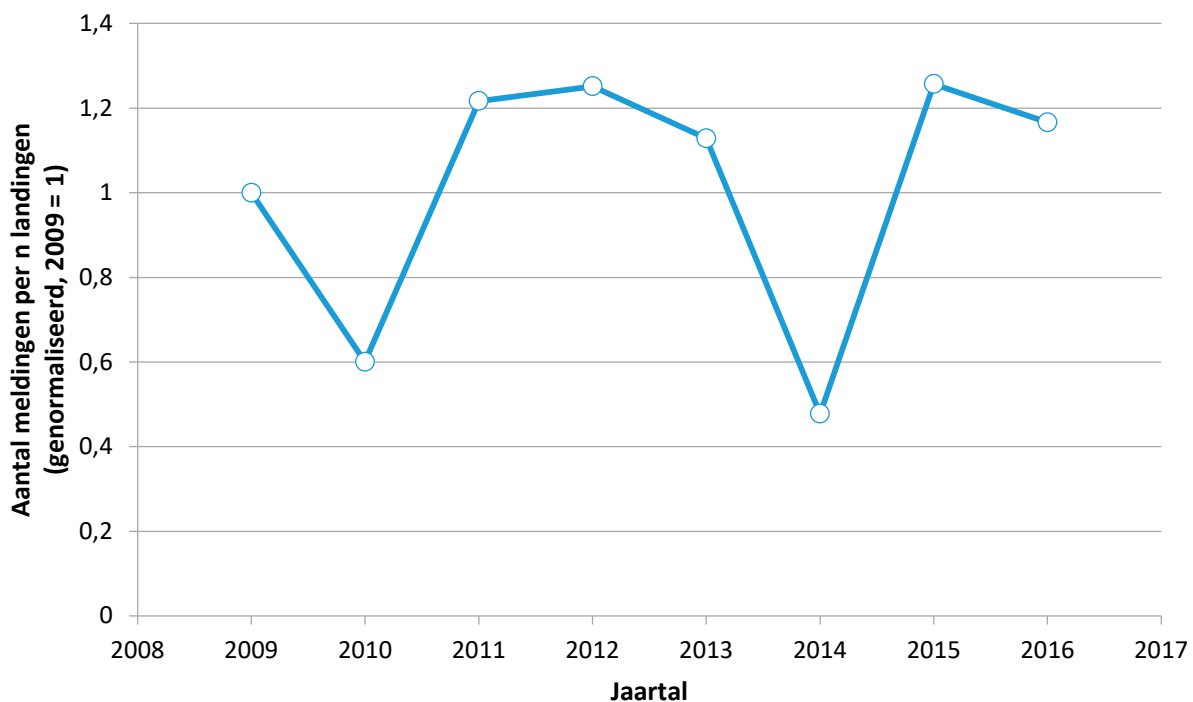
Windshear-waarschuwingssystemen, adequate vliegertrainingen en luchtverkeersleiding zorgen ervoor dat vliegers windshear-gebieden vermijden, de landing niet doorzetten wanneer ze door een gebied met windshear heenvliegen of dreigen te vliegen en dat tijdens de start afdoende gereageerd wordt door de vliegers. Het risico van windshear is hiermee goed beheerst, ook bij een beperkte verkeersgroei. De verwachting is dan ook dat door de groei van het aantal bewegingen het relatief aantal ARC-ongevallen als gevolg van windshear niet zal toenemen.

Invloed beheersmaatregelen

Er is één factor geïdentificeerd die kan bijdragen aan een ARC-ongeval waarvoor geldt dat de groei in het aantal bewegingen op Schiphol een mogelijk negatief effect kan hebben: onstabiele naderingen. Relevante beheersmaatregelen om eventuele groei-effecten te beheersen worden in deze sectie besproken.

Snelheid tijdens de nadering

De oorzaken van een te hoge snelheid en te hoge daalsnelheid bij de landing liggen hoofdzakelijk in het doorzetten van een onstabiele nadering³⁹. Kijkend naar de onderliggende oorzaken van onstabiele naderingen dan zou het mogelijk kunnen zijn dat een groei van het aantal bewegingen het relatief aantal onstabiele naderingen laat toenemen en dus wellicht het aantal onstabiele naderingen dat wordt doorgezet door de vliegers. Er zijn echter beheersmaatregelen die dit tegen gaan. De luchtvaartmaatschappijen monitoren als onderdeel van hun veiligheidsmanagementsysteem hun vluchten op onstabiele naderingen. Veranderingen in het aantal onstabiele naderingen of de ernst ervan worden zodoende waargenomen waarop de maatschappij maatregelen kan treffen om dit te verminderen. Afhankelijk van de oorzaken kan dit bijvoorbeeld verandering van vliegertrainingen zijn, aanpassing van standaardprocedures of overleg met de verkeersleiding over de manier van opereren. Figuur 19 geeft het relatief aantal onstabiele naderingen van KLM op Schiphol weer voor de periode 2009-2016. Ondanks de groei in deze periode op Schiphol is er geen statistisch significante trend waarneembaar. De KLM kan op het gebied van veiligheidsmanagement worden gezien als representatief voor de andere maatschappijen die Schiphol aandoen. Er wordt dan ook verwacht dat eenzelfde beeld geldt voor de andere luchtvaartmaatschappijen op Schiphol.

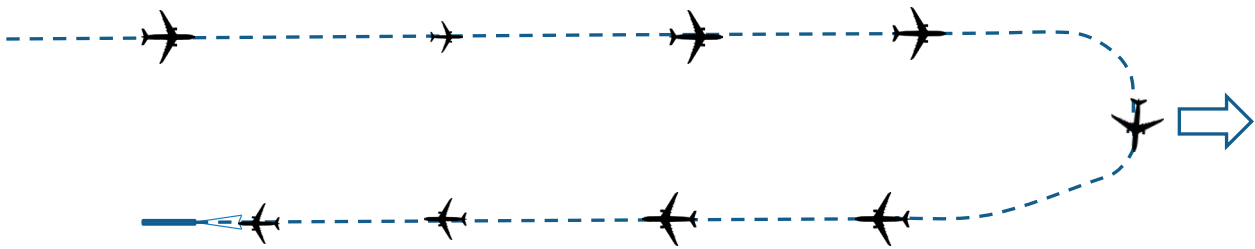


Figuur 19: Meldingen onstabiele naderingen KLM op Schiphol (bron: KLM).

De verdere groei op Schiphol van het aantal bewegingen zal leiden tot langere piekperiodes over de dag. Om de groei in bewegingen te faciliteren zullen de verkeerspatronen voorspelbaarder worden - hierdoor worden risico's

³⁹ Zie ook het rapport "Go-Around Decision-Making and Execution Project" van de Flight Safety Foundation. Beschikbaar op: https://flightsafety.org/wp-content/uploads/2017/03/Go-around-study_final.pdf

weggenomen. LVNL heeft aangegeven dat het accommoderen van een groei van het aantal bewegingen er toe zal leiden dat de werkwijze verder gestandaardiseerd wordt. Dit heeft een invloed op de uitgevoerde naderingen. De naderingsverkeersleider zal, wanneer het verkeersaanbod voor een landingsbaan de capaciteit voor langere tijd overschrijdt, het verkeer verder voor de baan oplijnen. Dit leidt tot wat verkeersleiders een “trombone” noemen, zoals geïllustreerd in Figuur 20. Het gevolg hiervan is dat het pad recht voor de baan langer wordt waardoor de vliegers meer tijd hebben voor het voorbereiden en uitvoeren van de nadering. Dat is gunstig om een stabiele nadering te krijgen.



Figuur 20: Bij veel aanbod voor een landingsbaan kiest de verkeersleiding op Schiphol typisch voor de langer wordende “trombone”, zoals de pijl naar rechts aangeeft. Als het aanbod afneemt, schuift de trombone als het ware weer naar links.

Tijdens de piekperiodes is er geen ruimte voor flexibele afhandeling van het vliegverkeer, bijvoorbeeld visuele naderingen of korter indraaien. Deze twee procedures leiden relatief vaker tot een onstabiele nadering, zie bijvoorbeeld [CANSO, 2011; IATA, 2011b; DGAC, 2017; CANSO, 2017]. Situaties die kunnen bijdragen aan een vermindering van de *situational awareness* of een verhoging van de werkbelasting zullen zich minder vaak gaan voordoen. Hierdoor zal de kans op een onstabiele nadering eerder afnemen dan toenemen. In dit verband is door vliegers gewezen op de situatie op Heathrow, waar met twee banen een zeer hoog verkeersvolume wordt gerealiseerd. De operatie is daar in hoge mate gestandaardiseerd, waardoor de voorspelbaarheid van de verkeersafhandeling hoog is. Door vliegers wordt dit als prettig ervaren.

Standaardisering van verkeersafhandeling is nodig om de groei in het aantal bewegingen te kunnen accommoderen. LVNL heeft deze standaardisering reeds in gang gezet en verdere standaardisering is voorzien.

Tabel 2: Maatregelen om de veiligheidseffecten van verkeersgroei in de categorie ARC te beheersen of weg te nemen.

Beheersmaatregelen	Status	Effectiviteit
a) Het monitoren van onstabiele naderingen en het acteren op negatieve trends als onderdeel van het veiligheidsmanagementsysteem van luchtvaartmaatschappijen.	Bestaand+	Monitoren
b) Het door de verkeersleiding verder voor de baan oplijnen van landend verkeer (“trombone”) wanneer het verkeersaanbod voor een landingsbaan de capaciteit voor langere tijd overschrijdt.	Bestaand+	Functioneel
c) Geen gebruik maken van visuele naderingen en korter indraaien tijdens piekperiodes.	Bestaand+	Functioneel
<i>Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn. Zie Appendix C voor uitleg gebruikte terminologie.</i>		

Conclusie (ARC)

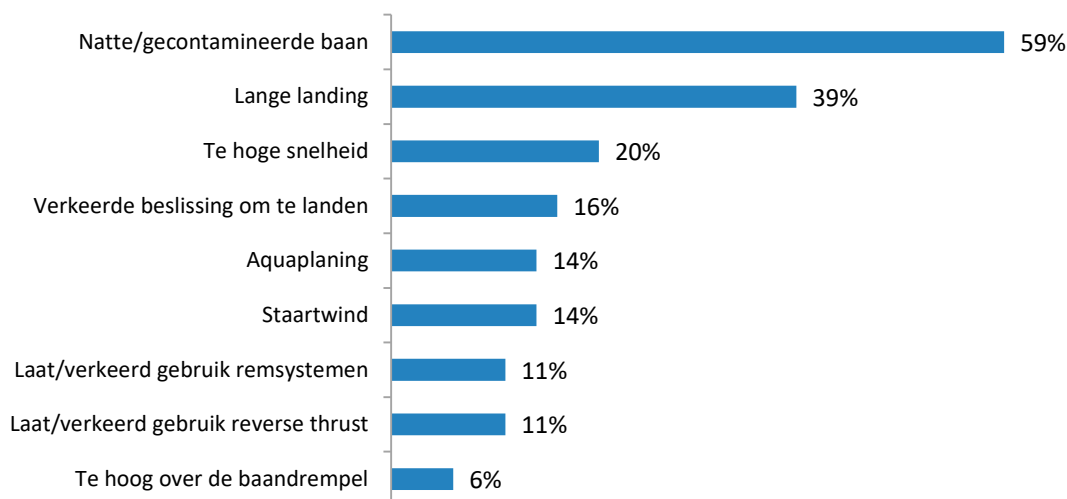
Voor de meeste factoren die gerelateerd zijn aan ARC-ongevallen kan met enige zekerheid worden gesteld dat de frequentie van optreden niet toeneemt bij een beperkte groei van het aantal bewegingen. Het gaat om het incorrect afvangen bij een landing, operaties in sterke zij- of staartwind, verkeerde vliegtuigprestatieberekeningen, overrotaties, operaties in beperkt zicht en windshear.

Voor de factor onstabiele nadering geldt dat er wel een mogelijk effect is van groei. Dit effect kan echter worden voorkomen door luchtvaartmaatschappijen door het monitoren en acteren op trends in voorval- en vluchtdata en het volgen van standaard procedures door vliegers. De in gang gezette en verwachte verdere standaardisering van afhandeling van naderend verkeer door de luchtverkeersleiding bij verkeersgroei kan het aantal onstabiele naderingen zelfs doen afnemen.

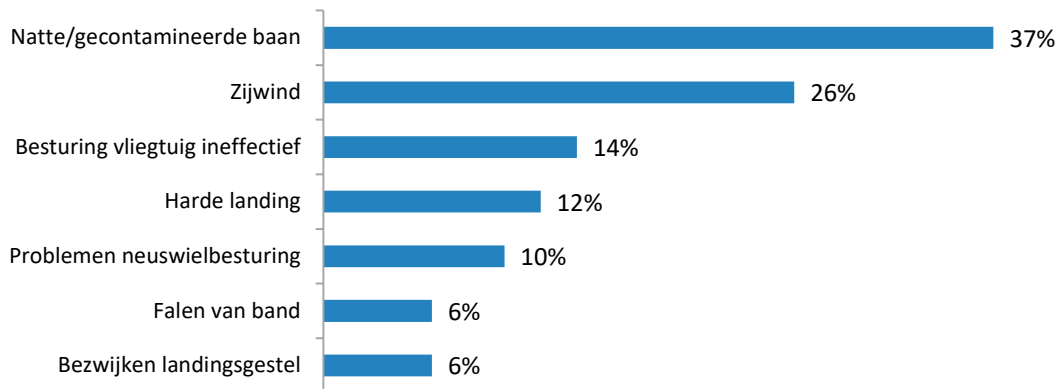
4.2.1.2 Runway Excursion (RE)

Achtergronden

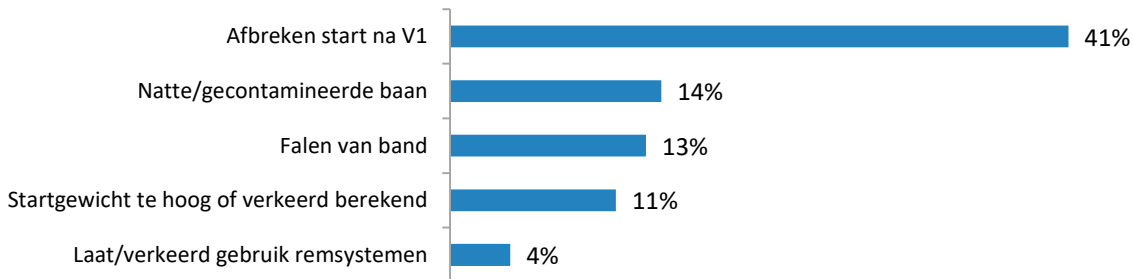
Een 'runway excursion' (RE) is een voorval waarbij het vliegtuig tijdens de start of landing van de baan schiet. Dit kan aan de zijkant gebeuren ('veer-off') of aan het einde van de baan ('overrun'). Runway excursions behoren tot de meest voorkomende vliegtuigongevallen in de wereld. De meeste runway excursions vinden plaats tijdens de landingsfase (in circa 80% van alle voorvallen) [NLR, 2010a] waarbij het aandeel overruns en veeroffs ongeveer gelijk verdeeld is. In [NLR, 2010a] worden de belangrijkste oorzaken genoemd voor runway excursions op basis van wereldwijde data. In Figuur 21 t/m Figuur 24 staan deze oorzaken weergegeven voor de start- en landingsfase en voor overruns en veer-offs. Meestal spelen er meerdere van deze factoren een rol in een runway excursion.



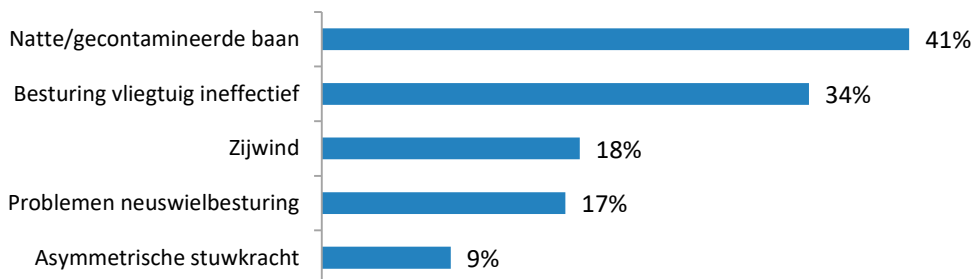
Figuur 21: Oorzaken voor een overrun tijdens de landing [NLR, 2010a].



Figuur 22: Oorzaken veer-off tijdens de landing [NLR, 2010a].



Figuur 23: Oorzaken overrun tijdens de start [NLR, 2010a].



Figuur 24: Oorzaken veer-off tijdens de start [NLR, 2010a].

Invloed verkeersgroei op de RE-ongevalskans

De invloed van een groei van het aantal bewegingen op de kans op een RE-ongeval per beweging kan worden beoordeeld door te kijken naar de invloed van de groei op de belangrijkste oorzaken van een RE-ongeval.

Baanconditie en wind

De oorzaken voor runway excursions voor de verschillende vluchtfases zijn divers maar laten wel overeenkomsten zien zoals de baanconditie en wind. Bij runway excursions tijdens de landing is een natte of gecontamineerde baan de meest voorkomende factor⁴⁰. De kans op een natte of gecontamineerde baan hangt af van een aantal factoren, zoals de neerslagfrequentie en de hoeveelheid neerslag die valt. Deze factoren staan los van de groei van het vliegverkeer.

⁴⁰ Een gecontamineerde baan is een baan die bedekt is met sneeuw of ijs of een laag water van 3mm of meer. Bij een natte baan ligt er tussen de 0,25mm en 3mm water op de baan.

Het is mogelijk dat er relatief meer operaties op een natte of gecontamineerde baan plaatsvinden wanneer het aantal bewegingen toeneemt.

De invloed van een natte baan op de remprestaties van een vliegtuig worden sterk beïnvloed door het oppervlak van de baan. Zowel de macro- als de microtextuur van het oppervlak heeft een grote invloed op de stroefheid wanneer de baan nat is⁴¹. In veel runway excursions waren er problemen met de baantextuur. Wanneer de baan dan nat is, kunnen de remprestaties sterk verminderen. Hoe nat een baan wordt, hangt af van de macrottextuur, het baanafschot en de neerslagintensiteit. Door de goede macrottextuur van de banen op Schiphol en het afschot van de banen moet er relatief veel regen vallen gedurende enige tijd wil de baan zo nat worden dat het invloed heeft op de remprestaties van een vliegtuig. Gemiddelde waterdieptes van meer dan 3mm rond de hoofdwielen komen vrijwel nooit voor op Schiphol, waardoor de kans op aquaplaning van de banden sterk vermindert. Indien de banen op Schiphol nat zijn dan is de stroefheid nog steeds hoog door de goede macro- en microtextuur van de banen⁴². De hoge baanstroefheid op Schiphol wordt gewaarborgd door regelmatig de frictie te meten met speciale frictietesters en de resultaten te vergelijken met de minimale eisen die daarvoor gelden. Ook is er een eis gesteld door Schiphol aan de macrottexturdiepte van de banen. Deze mag niet onder een door Schiphol vastgestelde drempelwaarde komen (1,3mm). Deze waarde ligt boven de door ICAO voorgeschreven waarde voor nieuwe banen (1,0mm). Dit alles betekent dat ook wanneer er op Schiphol meer op natte banen wordt gestart en geland, dit geen verhoging van de kans op een runway excursion oplevert. De relatief lange banen van Schiphol zorgen voor een extra verlaging van het de overrun kans aangezien de benodigde afstand om vliegtuigen te laten stoppen veel kleiner zijn dan de beschikbare baanlengtes.

Bij een met sneeuw of ijs bedekte baan heeft de baantextuur geen invloed op de stroefheid. Gecontamineerde banen met sneeuw of ijs komen vrijwel niet voor op Schiphol. Als er sneeuw valt dan wordt dit zo snel mogelijk van de baan gehaald. Bij extreme sneeuwval sluit de luchthaven totdat de banen sneeuwvrij zijn gemaakt⁴³. Dit zal niet anders zijn bij een groei van het vliegverkeer.

Staatwind bij de landing kan een rol spelen bij landing overruns. De benodigde afstand om een vliegtuig te laten stoppen neemt toe met toenemende staatwind door de toename van de grondsnelheid. Daarom is er de voorkeur om met tegenwind te landen. Zijwind heeft een grote invloed op de kans op landing veeroffs. De combinatie van een gladde baan en zijwind vergroot de kans nog verder [NLR, 2010a]. Uit de analyse van ARC-voorvallen is gebleken dat groei van het aantal bewegingen geen invloed zal hebben op het relatief aantal landingen onder ongunstige windcondities. Groei van het vliegverkeer heeft daarom geen invloed op het relatief aantal runway excursion ongevallen waarbij windcondities een factor zijn.

Meer bewegingen betekent ook meer afzet van rubber op de banen door de landende vliegtuigen, vooral in het gebied waar het hoofdlandingsgestel de baan raakt. Deze rubberafzetting kan een grote invloed hebben op de textuur van de baan en dient daarom regelmatig te worden verwijderd. Bij een toename van het aantal landingen zal de rubberafzet toenemen. Dit effect moet worden beheerst.

⁴¹ De macrottextuur is de grove textuur van het oppervlak en is visueel zichtbaar. De microtextuur is de fijnkorrelige textuur die zich op de macrottextuur bevindt en is visueel niet goed waarneembaar. De macrottextuur heeft de grootste invloed bij hoge snelheden en zorgt voor berging van water. De microtextuur doorbreekt de waterfilm rond het aggregaat, waardoor droog contact tussen band en textuurtoppen in het baanoppervlak mogelijk wordt.

⁴² De banen op Schiphol zijn uitgerust met een POSSEHL ANTISKID® toplaag. Onderzoek uitgevoerd door het NLR heeft aangetoond dat POSSEHL ANTISKID® zeer hoge stroefheden haalt onder natte omstandigheden, vergelijkbaar of beter dan bijvoorbeeld gegroefde banen.

⁴³ Formeel sluit Schiphol niet bij extreem weer, voor noodgevallen blijft de luchthaven beschikbaar.

Te hoge naderingssnelheid

Een te hoge naderingssnelheid is een belangrijke factor bij overruns tijdens de landing. Dit is direct gekoppeld aan onstabiele naderingen. De naderingssnelheid is dan hoger dan de geplande snelheid waardoor het moeilijker kan worden om het vliegtuig op de baan te stoppen. Dat kan een probleem worden wanneer de baan relatief kort is ten opzichte van de benodigde afstanden om het vliegtuig te kunnen stoppen. De oorzaken van een te hoge snelheid bij de landing liggen hoofdzakelijk in het doorzetten van de onstabiele nadering. Onder de ongevals categorie 'ARC' worden de beheersmaatregelen beschreven die een relatieve verhoging van het aantal onstabiele naderingen tegengaan. De relatief lange banen van Schiphol zorgen bovendien voor extra marge en reduceren de kans op een overrun. Er wordt daarom geen invloed verwacht van verkeersgroei op de kans op een overrun met een te hoge naderingssnelheid als oorzaak.

Lang landen

Een andere belangrijke factor in landing overruns is lang landen. De afstand die het vliegtuig aflegt van de baandremmel tot aan het eerste baancontact is in dit soort gevallen veel langer dan wat er door de vliegtuigfabrikant is aangenomen in de landingsdata die door de vliegers worden gebruikt⁴⁴. Het vliegtuig heeft dan minder baanlengte beschikbaar om af te remmen. De kans op een lange landing wordt voor een deel bepaald door de keuze van de runway exit [NLR, 2011]. Wanneer er een exit bij het einde van de baan wordt gekozen door de vliegers kan het soms zijn dat de landing wat langer wordt uitgevoerd. Bij toenemend verkeer zou het aantal lange landingen omhoog kunnen gaan. Voor Schiphol betekent dit echter niet dat de kans op een landing overrun omhoog gaat. Zoals gezegd zorgen de relatief lange banen van Schiphol voor extra marge waardoor de kans op een overrun wordt gereduceerd. Er wordt daarom geen invloed verwacht van verkeersgroei op de kans op een overrun door lang landen.

Verkeerde beslissing om te landen

Er zijn een aantal onderliggende oorzaken waarom vliegers een landing doorzetten terwijl dit achteraf gezien een ongewenst besluit blijkt te zijn. Dit zijn gevallen waarbij de omstandigheden (bijvoorbeeld windcondities en baangesteldheid) onvoldoende waren om het vliegtuig tot stoppen te kunnen brengen op de landingsbaan. Oorzaken van een dergelijk ongewenst besluit kunnen zijn dat vliegers niet de meest actuele informatie ter beschikking hebben of toepassen. Deze oorzaken worden niet beïnvloed door verkeersgroei. Verkeersgroei heeft daarom geen invloed op het relatief aantal keren dat een landing wordt doorgezet terwijl dit achteraf gezien niet wenselijk was.

Afbreken start boven de beslissingssnelheid

De belangrijkste factor van runway overrun ongevallen tijdens de start is het afbreken van de start bij een snelheid boven de beslissingssnelheid (deze snelheid staat bekend als *V1*). De redenen voor het afbreken van een start bij een hoge snelheid is meestal dat er een motor faalt of dat er problemen zijn met het vliegtuig (besturing, vibraties) [NLR, 2010b]. Vliegers worden getraind om de start niet meer af te breken na *V1*⁴⁵. De verschillende redenen voor het afbreken van een start bij een hoge snelheid zijn niet gerelateerd aan verkeersgroei. Verkeersgroei heeft daarom geen invloed op de kans per beweging van het afbreken van de start bij een snelheid boven de beslissingssnelheid.

Invloed beheersmaatregelen

Bij een toename van het aantal landingen zal de rubberafzet op banen toenemen. Het effect is dat de textuur van het baanoppervlak minder goed wordt waardoor onder natte omstandigheden de baan glad kan worden, vooral in het gebied waar het hoofdlandingsgestel de baan raakt tijdens de landing. Dit rubber moet dan ook regelmatig worden

⁴⁴ Voor elke landing kijken vliegers of de baanlengte voldoende lang is om het vliegtuig te kunnen laten stoppen. Hiervoor wordt er gebruik gemaakt van data die door de vliegtuigfabrikant is aangeleverd en de actuele condities voor de landingsbaan.

⁴⁵ Alleen in het uitzonderlijke geval dat het vliegtuig niet meer veilig is om te vliegen mag de vlieger de start boven *V1* afbreken.

verwijderd van de baan. Het verwijderen van rubber op de baan vindt plaats met speciale apparatuur. Dit gebeurt op basis van een tijdschema en op basis van de conditie van de baan. Regulier uitgevoerde frictietesten op de banen worden daarvoor gebruikt. Wanneer uit de frictietesten blijkt dat de rubberafzet sneller plaatsvindt, zal er eerder ingegrepen moeten worden om het rubber te verwijderen. Naar verwachting is deze beheersmaatregel effectief om eventuele nadelige veiligheidseffecten van een versnelde afzet van rubber bij toenemend verkeer te voorkomen.

Tabel 3: Maatregelen om de veiligheidseffecten van verkeersgroei in de categorie RE te beheersen of weg te nemen.

Beheersmaatregelen	Status	Effectiviteit
a) Het periodiek verwijderen van rubberafzet op banen.	Bestaand+	Functioneel
b) Het eerder dan gepland verwijderen van rubberafzet op banen wanneer uit frictietesten blijkt dat de rubberafzet sneller plaatsvindt dan verwacht.	Bestaand+	Functioneel
<i>Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn. Zie Appendix C voor uitleg gebruikte terminologie.</i>		

Conclusies (RE)

Runway excursions worden door een aantal factoren veroorzaakt waarbij baancondities en wind de belangrijkste zijn. De constructie van de banen (lengte, textuur en afschot) en het neerslagklimaat op Schiphol zijn dusdanig dat een beperkte groei van het verkeersvolume geen invloed heeft op de kans op een runway excursion. Een toename in rubberopbouw op de banen bij groei kan worden voorkomen door het frequenter verwijderen van deze rubberlaag. Hoewel het mogelijk is dat er iets vaker langer wordt geland bij een groei van het verkeersvolume, zal dit geen invloed hebben op de kans op een overrun per beweging gezien de relatief lange banen op Schiphol.

4.2.1.3 Undershoot/overshoot (USOS)

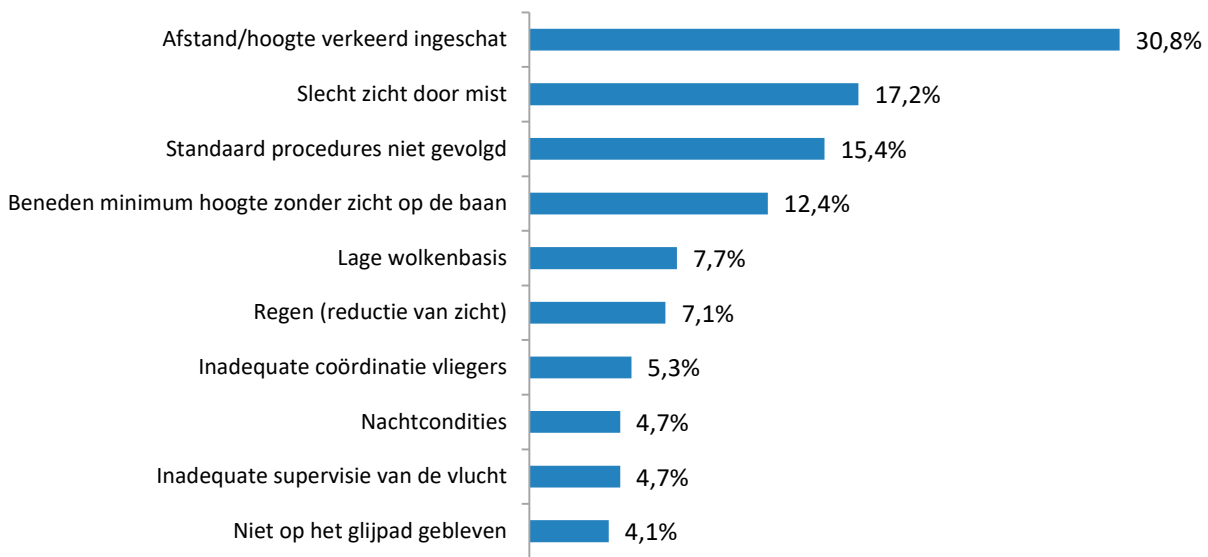
Achtergronden

De categorie 'undershoot/overshoot' (USOS) omvat voorvallen waarbij een vliegtuig vlak voor of vlak na de baan landt (maar niet op de baan). Dat kan gebeuren tijdens een landing of door een (nood-)landing direct na de start of doorstart. USOS-voorvallen komen niet vaak voor. Veruit de meeste van deze voorvallen betreffen landingen vlak voor de baandempel ('undershoot'). USOS komen vaker voor op luchthavens waar de zichtcondities vaak slecht zijn en de wolkenbasis vaak laag is, samen met het ontbreken van een ILS en een Precision Approach Path Indicator (PAPI – een visueel landingshulpmiddel) bij de baan [NLR, 2017].

Figuur 25 laat het frequentiediagram zien voor de belangrijkste oorzaken van USOS-ongevallen. De data zijn afkomstig uit de NLR Air Safety Database voor de periode 1995-2016 en hebben betrekking op ongevallen⁴⁶ met commerciële vliegtuigen in West-Europa en Noord-Amerika. Veel USOS-ongevallen hebben meerdere oorzaken. De meest voorkomende oorzaak is het verkeerd inschatten van de hoogte waarop het vliegtuig vliegt in combinatie met het verkeerd bepalen van de afstand tot de baan. Dit komt vaak voor in combinatie met slecht zicht door mist, een lage wolkenbasis of een vermindering van het zicht door zware regenval. Het niet volgen van de standaard procedures door de vliegers speelt een belangrijke rol in USOS-voorvallen. Bijvoorbeeld het niet tijdig afbreken van de nadering wanneer de baan niet in zicht is op de minimale hoogte. Een klein deel van de USOS-voorvallen is te wijten aan het te laag vliegen (onder voorgeschreven glijpad). Dit is een onstabiele nadering die niet was opgemerkt of niet werd

⁴⁶ Volgens definitie van ICAO Annex 13.

afgebroken zoals voorgeschreven. Veel van deze USOS-voorvallen vonden plaats tijdens niet-precisienaderingen⁴⁷ of visuele naderingen.



Figuur 25: Belangrijkste oorzaken voor USOS-ongevallen [NLR, 2017].

Invloed verkeersgroei op de USOS-ongevalskans

De invloed van een groei van het aantal bewegingen op de kans op een USOS-ongeval per beweging kan worden beoordeeld door te kijken naar de invloed van de groei op de belangrijkste oorzaken van een USOS-ongeval.

Data laten zien dat de belangrijkste oorzakelijke factoren liggen bij de beslissingen die de vliegers hebben genomen, vaak in combinatie met een aantal aan weer gerelateerde factoren. Deze weersfactoren - zoals zicht, mist en lage bewolking - staan vaak in relatie tot het verkeerd inschatten van hoogte en afstand tot de baandrempel. Voor het baangebruik op Schiphol werken de verkeersleiders met voorgeschreven internationale regels die onderscheid maken tussen omstandigheden met goed zicht, marginaal zicht en beperkt zicht. Marginaal en beperkt zicht hebben directe consequenties voor de capaciteit. Vanaf marginale condities en minder mag er niet meer gelijktijdig worden geland op twee banen die elkaar in het verlengde kruisen. Bij beperkt-zichtcondities wordt het tijdsinterval tussen landende vliegtuigen verhoogd op Schiphol. Beperkt-zichtcondities of zeer lage bewolking komt minder dan 5% van de operationele tijd voor op Schiphol [Hove en Wijngaard, 2008]. Bij extreem slechte zichtcondities (bijvoorbeeld dichte mist) kunnen alleen vliegtuigen landen die in staat zijn om een geheel automatische landing uit te voeren (autoland, ILS CAT III-nadering). Deze condities zijn er maar ongeveer 0.3% van de operationele tijd op Schiphol [Hove en Wijngaard, 2008]. In de USOS-voorvallen zijn geen gevallen bekend tijdens een autoland onder zulke slechte zichtcondities. Hoewel er meer landingen in slechte zichtcondities of lage bewolking zullen worden uitgevoerd zullen de mitigerende factoren (bijvoorbeeld de ILS- en PAPI-installaties) die al aanwezig zijn op Schiphol de kans op een USOS niet laten toenemen.

Er wordt geen effect van een groei van het aantal bewegingen voorzien op de kans dat vliegers zich niet aan standaard procedures houden of inadequate supervisie van de vlucht, aangezien er geen verandering in de vaardigheden en training van vliegers is voorzien als gevolg van verkeersgroei. Ook zullen de veiligheidsmanagementsystemen van de

⁴⁷ Dit zijn naderingen met behulp van instrumenten waarbij er wel laterale geleiding is maar geen verticale (in hoogte).

luchtvaartmaatschappijen afwijkingen van vliegers van procedures blijven monitoren, en de procedures waar nodig bijstellen.

Er zal bij een beperkte groei relatief niet vaker onder nachtelijke condities worden gevlogen. De groei heeft vanuit dit punt dan ook geen invloed op de kans op een USOS-ongeval.

Een klein deel van de USOS is gerelateerd aan onstabiele naderingen. Zoals beschreven onder 'ARC' zijn beheersmaatregelen nodig om een relatieve stijging van het aantal onstabiele naderingen tegen te gaan.

Invloed beheersmaatregelen

Een toename van het aantal onstabiele naderingen per beweging kan worden voorkomen door een aantal maatregelen, zoals in meer detail beschreven onder ARC. Luchtvaartmaatschappijen monitoren hun vluchten op onstabiele naderingen als onderdeel van hun veiligheidsmanagementsysteem. Veranderingen in het aantal onstabiele naderingen of de ernst ervan worden zodoende waargenomen waarop de maatschappij maatregelen kan treffen om dit te verminderen. Daarnaast is er bij een groei van het aantal bewegingen geen ruimte voor flexibele afhandeling van het vliegverkeer. Standaardisering van verkeersafhandeling is nodig om de verkeersgroei te kunnen accommoderen. LVNL heeft deze standaardisering reeds in gang gezet en verdere standaardisering is voorzien. Het is daarmee aannemelijk dat het relatief aantal onstabiele naderingen niet zal toenemen bij een beperkte groei van het aantal bewegingen.

Tabel 4: Maatregelen om de veiligheidseffecten van verkeersgroei in de categorie USOS te beheersen of weg te nemen.

Beheersmaatregelen	Status	Effectiviteit
a) Het monitoren van onstabiele naderingen en het acteren op negatieve trends als onderdeel van het veiligheidsmanagementsysteem van luchtvaartmaatschappijen.	Bestaand+	Monitoren
b) Het door de verkeersleiding verder voor de baan oplijnen van landend verkeer ("trombone") wanneer het verkeersaanbod voor een landingsbaan de capaciteit voor langere tijd overschrijdt.	Bestaand+	Functioneel
c) Geen gebruik maken van visuele naderingen en korter indraaien tijdens piekperiodes.	Bestaand+	Functioneel
<i>Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn. Zie Appendix C voor uitleg gebruikte terminologie.</i>		

Conclusie (USOS)

De belangrijkste factor bij een USOS-ongeval betreft condities met slecht zicht en een gebrek aan hulpmiddelen om onder deze omstandigheden te kunnen landen met als gevolg het verkeerd inschatten van hoogte en afstand tot de baandrempel. Op Schiphol speelt dit nauwelijks een rol, vanwege de goede landingshulpmiddelen. Een toename van het aantal onstabiele naderingen per beweging bij een verkeersgroei kan worden tegengegaan door een aantal beheersmaatregelen. De verwachting is dus dat verkeersgroei geen invloed zal hebben op de kans op een USOS-ongeval per beweging.

4.2.2 Analyse ongevals categorieën - in de lucht

4.2.2.1 Airprox/TCAS Alert/Loss of Separation/(Near) Midair Collisions (MAC)

Achtergronden

De categorie 'Airprox/TCAS Alert/Loss of Separation/(Near) Midair Collisions' (MAC) omvat alle ongevallen als gevolg van een botsing van twee vliegtuigen in de lucht en alle incidenten waarbij een dergelijke botsing dreigde⁴⁸. Deze verzameling incidenten omvat significante onderschrijdingen van de separatieminima, TCAS alerts⁴⁹ en bijna-botsingen⁵⁰.

De bescherming tegen botsingen in de lucht is afhankelijk van het soort vlucht (Instrument Flight Rules (IFR) of Visual Flight Rules (VFR), in gecontroleerd of ongecontroleerd luchtruim, met of zonder TCAS, et cetera). De drie hieronder beschreven beschermingen zijn effectief voor de vluchten van en naar Schiphol:

- Strategisch. Er lopen allerlei processen vooraf aan de vluchttuitvoering die maken dat het aanbod van verkeer in balans is met de afhandelcapaciteit van de luchtruimen en de luchthavens:
 - Slotallocatie van gereguleerde luchthavens zoals Schiphol;
 - Airspace Management: het opdelen van het luchtruim naar *Controlled Traffic Regions* (CTRs) en TMAs (een TMA is een naderingsverkeersleidingsgebied rondom en boven de CTR van een vliegveld) en dergelijke;
 - Sectorisatie: het onderverdelen van een luchtruim naar verkeersleidingsgebieden;
 - Air Traffic Flow Management: een samenspel van de luchtverkeersleidingsorganisaties als LVNL en de Network Manager in Brussel - vroeger als Central Flow Management Unit een onderdeel van Eurocontrol - waaronder het monitoren van zogeheten Traffic Flow Volumes als de Amsterdam FIR en het alloceren van ATC-slots⁵¹.
- Tactisch. Deze bescherming omvat de luchtverkeersleiding die het verkeer in een gecontroleerd luchtruim scheidt⁵². Dat wil zeggen dat er met procedures en met instructies voor wordt gezorgd dat vliegtuigen voldoende verticaal of lateraal gescheiden zijn. Wat voldoende is hangt af van de omstandigheden; typisch is dat 1.000 voet verticaal en 3 of 5 nautische mijlen lateraal (zie ook TURB, sectie 4.2.2.5).
- Botsingsvermijdend. Deze laag omvat het zogeheten See and Avoid waarbij vliegers op zicht andere vliegtuigen kunnen detecteren en, wanneer noodzakelijk, kunnen uitwijken. Deze laag omvat ook TCAS, dat verplicht is voor vliegtuigen die de Schiphol TMAs of CTR binnen vliegen⁵³. TCAS blijkt behoorlijk effectief (zie b.v. [Olson et al, 2010]) maar is dat minder op lage hoogtes, zo ongeveer onder de 2.000 voet, afhankelijk van vooral de verticale snelheden van de betrokken vliegtuigen.

⁴⁸ In het geval dat één botsing ertoe leidt dat twee vliegtuigen verongelukken - dit gebeurt doorgaans maar niet altijd - dan wordt dit geteld als twee ongevallen, anders zou de statistiek van de ongevalskans per beweging niet meer juist zijn.

⁴⁹ TCAS staat voor Traffic Alert and Collision Avoidance System, en is in de praktijk synoniem aan ACAS (Airborne Collision Avoidance System). Het geeft twee soorten alerts: TCAS TAs (Traffic Alert) en de meer kritische TCAS RAs (Resolution Advisories). De TAs helpen de piloten bij het visueel identificeren van andere vliegtuigen die mogelijk een gevaar gaan vormen. De RAs zijn sterk aanbevolen manoeuvres in de verticale richting om de verticale afstand tussen twee vliegtuigen te vergroten, die op verschillende manieren aan de vlieger worden gecommuniceerd, waaronder een auditief alert als "Descend. Descend."

⁵⁰ In dit rapport wordt alleen gekeken naar ongevallen en die vergeen of een botsing of een bijna-botsing waarbij een vliegtuig zodanig door de zogturbulentie van het ander vliegtuig wordt gehinderd dat dit tot een ongeval leidt, zie ook de sectie over TURB.

⁵¹ Het doel van Air Traffic Flow Management is om de verkeersstromen te optimaliseren naar de capaciteiten van de verschillende onderdelen op de verschillende momenten. Dit betekent onder andere dat de vertrektijden van vluchten naar Schiphol soms worden vertraagd als de omstandigheden maken dat dat een betere oplossing is dan bijvoorbeeld rondjes vliegen boven Nederland.

⁵² De Schiphol TMAs zijn luchtruimklasse A en daar mogen alleen IFR-vluchten vliegen, en die worden daarin onderling gesepareerd. De Schiphol CTR is klasse C en daar mag zowel IFR- als VFR-verkeer vliegen. Het IFR-verkeer wordt gesepareerd van ander verkeer, maar het VFR-verkeer onderling niet. Deze laatste vluchten zijn doorgaans geen Commercial Air Transport maar dat kan in principe niet uitgesloten worden. Een CAT-vlucht onder VFR in de Schiphol CTR is echter een uitzonderlijke situatie die voor de scope van deze studie gemakshalve wordt uitgesloten.

⁵³ TCAS is wereldwijd verplicht voor vliegtuigen met een maximum take-off gewicht boven de 5.700 kilogram en vliegtuigen met een capaciteit van 20 personen of meer.

Incidenten en ongevallen in de MAC-categorie worden in een gecontroleerd luchtruim doorgaans gezien vanuit het perspectief van de luchtverkeersleiding omdat de strategische laag nooit echt faalt en omdat de laatste bescherm laag gezien wordt als een laatste redmiddel (*last resort safety nets*). LVNL ziet het vermijden van MACs als haar verantwoordelijkheid hoewel de oorzaken ervan niet noodzakelijkerwijs bij de luchtverkeersleiding liggen.

Invloed verkeersgroei op de MAC-ongevalskans

Om te bepalen wat de invloed is van een groei van het aantal bewegingen op de MAC-ongevalskans per beweging wordt er in deze sectie eerst kort toegelicht dat falen van ATM/CNS, een aparte ongevals categorie⁵⁴, een rol speelt, dan wordt er ingegaan op het effect van verhoogde verkeersdichtheid en vervolgens worden de statistieken van de MAC-incidenten van de afgelopen jaren beschouwd.

Zoals hierboven is aangegeven, worden incidenten en ongevallen in de MAC-categorie in een gecontroleerd luchtruim doorgaans gezien vanuit het perspectief van de luchtverkeersleiding. De invloed van groei op het falen van ATM/CNS is daarom hier ook relevant. De relevante effecten in deze context zijn (zie sectie 0):

- Er schuilt een risico in de hoge fractie van de tijd dat sommige radiotelefoniefrequenties bezet zijn en dit risico kan toenemen bij meer verkeer.
- Er schuilt een risico in de complexiteit van de huidige operatie en dit risico kan toenemen bij meer verkeer, zie sectie 0.

Naast het falen van ATM/CNS is er nog een effect van groei op de MAC-ongevalskans. De kans op een MAC per beweging neemt doorgaans toe met de verkeersdichtheid op dat moment, maar de precieze afhankelijkheid hangt af van het soort verkeersconflict. Als het vliegverkeer ongeordend zou zijn en als er niet wordt ingegrepen door verkeersleiders, vliegers of TCAS, blijkt dat de kans dat een zeker vliegtuig in conflict komt met een ander vliegtuig recht evenredig is met de verkeersdichtheid in dat luchtruim op dat moment [May, 1971].

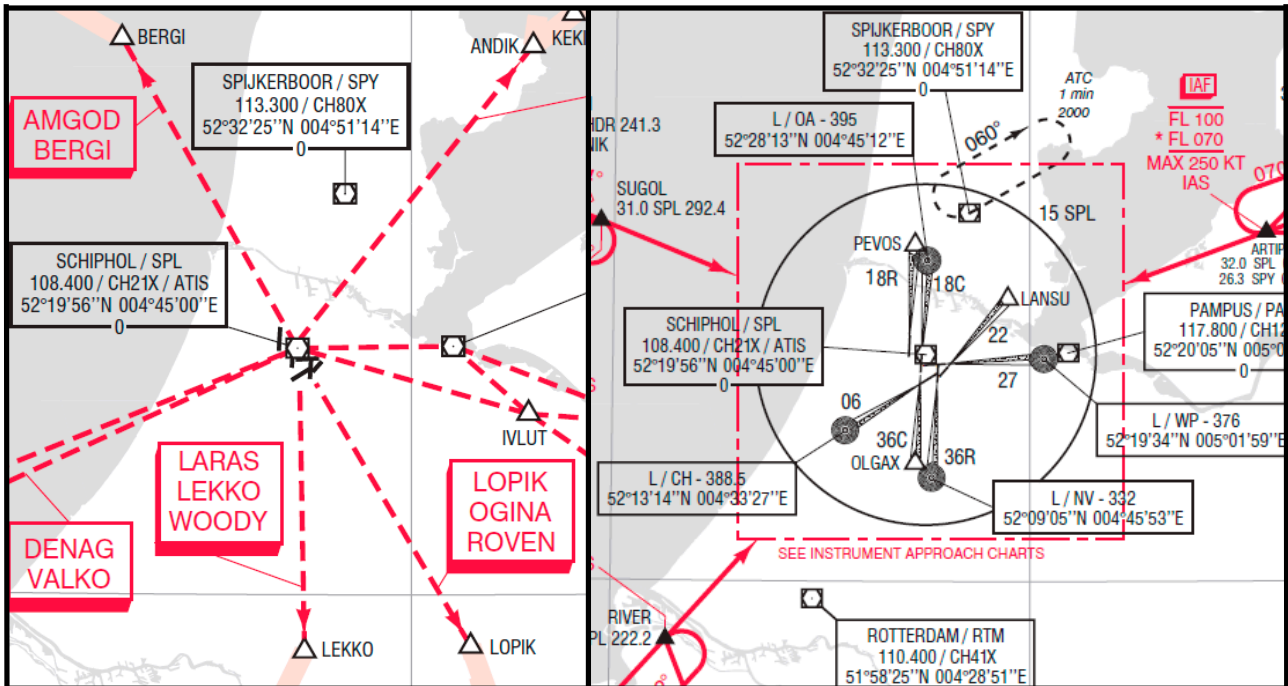
Er kunnen in dit verband drie soorten verkeersconflicten worden onderscheiden:

- Ongecontroleerd conflict: twee vliegtuigen waarvan er minstens één niet gecontroleerd is, komen met elkaar in conflict. De kans dat een gecontroleerde vlucht in conflict komt met een ongecontroleerde vlucht is min of meer recht evenredig met de dichtheid van het ongecontroleerde verkeer in de omgeving van de Schiphol CTRs en TMAs. De kans op een “ongeccontroleerde” MAC per beweging van een commercieel vliegtuig in de toekomst hangt dus af van de ontwikkelingen van het andersoortige verkeer.
- Longitudinaal conflict: twee vliegtuigen vliegen achter elkaar, over min of meer hetzelfde pad, op min of meer hetzelfde hoogteprofiel, door de verkeersleider gecontroleerd. Het effect van toenemende verkeersdichtheid treedt hier niet op doordat de kans op ingrijpen door de verkeersleiding ook toeneemt naarmate de dichtheid van het verkeer groter wordt. De taaklast van de verkeersleider zal dus toenemen bij meer verkeer - ook omdat de grootste taaklast al bij de longitudinale conflicten ligt - maar de kans op een “longitudinale” MAC per vlucht niet⁵⁵.
- Transversaal conflict: twee vliegtuigen vliegen over lateraal kruisende paden op min of meer dezelfde hoogte, door de verkeersleider gecontroleerd. Het verband met de verkeersdichtheid is hier aanwezig: een grotere dichtheid leidt tot een grotere kans op een “transversale” MAC. Deze conflictsituaties komen relatief weinig voor vanwege de ruimtelijke scheiding van de verschillende verkeersstromen maar zijn niet uit te sluiten in tal van specifieke gevallen. Voor Schiphol zijn dat onder andere: dubbele doorstarts op convergerende landingsbanen,

⁵⁴ Deze categorie omvat onder andere het wegvallen van veiligheidskritische functies van de technische ondersteuning van de verkeersleiding of een fout van een verkeersleider, zie sectie 0.

⁵⁵ Zie ook de figuur in de sectie over de invloed van groei op TURB. De essentie is dat de verkeersleider bij drukte de afstanden tussen de vliegtuigen naar de separatieminima regelt maar een overschrijding van die minima vermijdt.

een doorstart die min of meer gelijktijdig wordt uitgevoerd met een vertrek op een convergerende startbaan, afwijkingen bij vertrekken op parallelle banen, niet tijdig intercepten bij het gelijktijdig indraaien op parallelle banen en een trage klim op een *Standard Instrument Departure* (SID) die over een aankomststroom is ontworpen. De potentiële conflicten in de Schiphol CTR, dus dicht bij de banen, dragen relatief meer risico doordat de effectiviteit van TCAS op hoogtes onder de 2.000 voet beperkt is. De complexe lay-out van de Schiphol-banen maakt dat de mogelijkheid van transversale conflicten niet vermeden kan worden. Belangrijk is dat er een zekere maar kleine kans is op een “transversale” MAC per vlucht en dat die kans recht evenredig toeneemt met de verkeersdichtheid van de relevante stroom.



Figuur 26: (uitsnedes uit eerdere versie van het [AIP, 2017]). De Schiphol outbounds divergeren in essentie naar vijf richtingen (linker plaatje) langs de uitvliegroutes (SIDs) van banen naar punten die aansluiten op de hogere luchtwegen. De Schiphol inbounds convergeren in essentie vanuit drie richtingen (rechter plaatje); vanaf drie zogeheten Initial Approach Fixes (IAFs - Sugol, Artip en River) worden de vliegtuigen naar de verschillende banen geleid. De stromen in de TMA zijn daarmee grotendeels ruimtelijk gescheiden. (De kaarten illustreren overigens een aantal aspecten niet: de scheiding van verkeer in de CTR, verkeer in andere luchtruimen, het samenvoegen van naderende vliegtuigen komende van verschillende IAFs naar één stroom voor één baan en het standaard laten doorklimmen van SIDs tot boven FL60, waardoor ze toch weer inbound verkeer kunnen kruisen).

Het effect van verkeersgroei op de kans op een MAC per beweging is afhankelijk van de relatieve invloed van deze drie verschillende soorten verkeersconflicten:

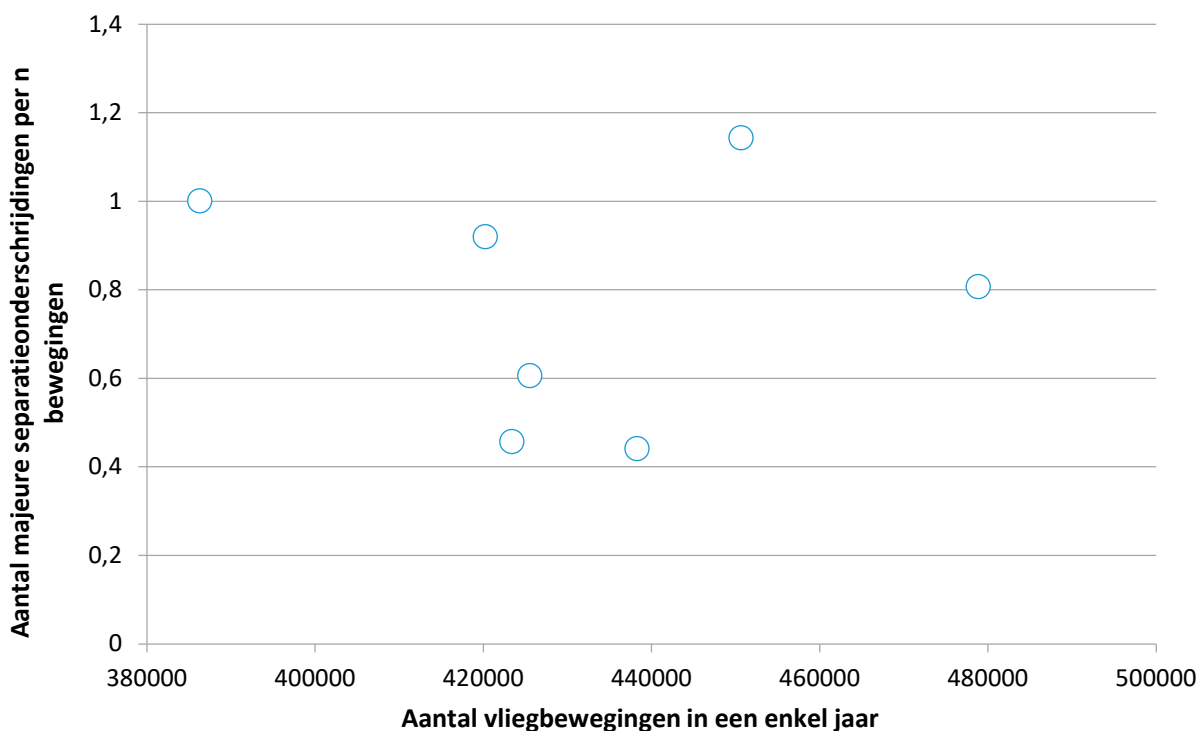
- Als de ongecontroleerde conflicten relatief het meeste risico dragen, zal de kans op een MAC per commerciële vlucht vooral afhangen van de ontwikkelingen van het VFR-verkeer *in de buurt van* Schiphol: de groei daarvan, de mogelijke toename van het aantal luchtruimschendingen (*air space infringements*), de komst van grotere drones, et cetera. Deze ontwikkelingen zijn niet onderzocht, want vallen buiten de scope van deze studie⁵⁶.
- Als de longitudinale conflicten relatief het meeste risico dragen, zal de kans op een MAC per beweging niet of nauwelijks afhangen van de groei van het verkeer.

⁵⁶ VFR-verkeer (bijvoorbeeld pleziervluchten) kan in de buurt van Schiphol komen zonder vanaf Schiphol te vertrekken of er te landen. Het gaat hierbij dus in algemene zin over de ontwikkeling van VFR-verkeer in Nederland, wat bijvoorbeeld beïnvloed kan worden door economische ontwikkelingen.

- Als de transversale conflicten relatief het meeste risico dragen, zal de kans op een MAC toenemen bij groeiend verkeer. Als de piekcapaciteit gelijk blijft, overeenkomstig de aannames zoals geformuleerd in sectie 0, zal de maximale kans op een MAC per vlucht niet toenemen. De gewogen kans op een MAC zal wel toenemen, maar minder dan de verkeersgroei⁵⁷.

Op grond van deze beschouwingen is de conclusie dat de kans op een MAC per beweging toeneemt bij verkeersgroei, dat de toename kleiner is dan de verkeersgroei zelf en dat de toename zo zeer afhangt van allerlei factoren dat de precieze afhankelijkheid niet bekend is. Met andere woorden: als het aantal bewegingen per jaar op Schiphol 10% groter is dan nu, dan zal de kans op een MAC per beweging ook toenemen maar met minder dan 10%.

Deze beschouwingen gelden in essentie ook voor het verleden en ook voor MAC-incidenten: er mag verwacht worden dat het aantal MAC-incidenten per vast aantal vluchten is toegenomen met het aantal bewegingen per jaar. De statistiek van gemelde, majeure separatie-onderschrijdingen in de jaren 2010-2016 laat geen duidelijke tendens zien, zie Figuur 27. Het ontbreken van deze tendens in de statistiek kan verklaard worden doordat er in de tussentijd beheersmaatregelen zijn genomen die de effecten van de verkeersdichtheid en ATM/CNS-falen teniet hebben gedaan. Daarnaast kunnen de volgende factoren de tendens verstoord hebben: statistische toevalligheden, veranderende meldingsbereidheid, veranderende volumes niet-commercieel verkeer en een relatief grote bijdrage van longitudinale conflicten.



Figuur 27: Het genormaliseerde aantal meldingen van majeure separatie-onderschrijdingen per n bewegingen (2010 = 1) als functie van het aantal bewegingen per jaar, voor de periode 2010-2016 (bron: LVNL).

⁵⁷ Als de piekcapaciteit van Schiphol gelijk blijft, kan de verkeersdichtheid tijdens de pieken niet toenemen. Dit maakt dat bij een verkeersgroei van 10%, de verkeersdichtheid op andere momenten meer dan 10% toeneemt, zeg met 20%. De kans op een MAC per beweging zal dan in een piek gelijk blijven en in een dalperiode met ongeveer 20% toenemen. Omdat de ongevalskans van een vlucht in een dalperiode lager is, vanwege de lagere dichtheid, is het netto-effect een toename van de gemiddelde ongevalskans, maar met minder dan 10%. De precieze waarde hangt dus ook af van de precieze verdeling van het verkeer over de tijd.

Naast statistieken over meldingen van separatie-onderschijdingen is een statistiek van TCAS Resolution Advisories (RAs) over de afgelopen jaren ook relevant. RAs vormen de meest urgente TCAS-waarschuwingen waarin manoeuvres aan de vliegers in de verticale richting worden gegeven om zo de verticale afstand tussen twee vliegtuigen te vergroten en botsingen te vermijden. In Tabel 5 worden de aantallen TCAS RAs per jaar gegeven. Daarbij zijn de valse TCAS RAs⁵⁸ apart geteld en is er een onderscheid gemaakt tussen RAs als gevolg van een conflict tussen een IFR- en een VFR-vlucht en tussen twee IFR-vluchten.

Tabel 5: Het aantal TCAS RAs in de Schiphol CTR en TMAs per jaar in de periode 2010-2016 met onderscheid van conflicten tussen IFR- en een VFR-vlucht ("versus VFR"), tussen twee IFR-vluchten ("versus IFR") en valse TCAS RAs ("nuisance") - (Bron: LVNL, op basis van meldingen).

Jaartal	TCAS RA (versus VFR)	TCAS RA (versus IFR)	TCAS RA (nuisance)
2010	3	3	2
2011	8	2	3
2012	6	0	1
2013	5	0	1
2014	8	0	0
2015	7	0	1
2016	11	0	3

Deze statistiek laat het volgende zien:

- Het jaarlijkse aantal serieuze conflicten tussen een IFR- en een VFR-vlucht ligt significant hoger dan tussen twee IFR-vluchten, terwijl er relatief weinig VFR-vluchten in de Schiphol CTR en TMAs vliegen.
- Het jaarlijkse aantal serieuze conflicten tussen IFR-vluchten is zo laag dat er geen trend in is te ontdekken.

Daarmee kan het volgende worden geconcludeerd:

- Er kan beredeneerd worden dat de kans op een MAC-ongeval per vlucht toeneemt door a) toenemend ATC/CNS-falen door meer verkeer en b) het effect van toenemende verkeersdichtheid in transversale conflicten.
- De statistieken van incidenten over de afgelopen jaren geven geen duidelijk beeld, onder andere doordat er in de tussentijd mitigerende maatregelen zijn genomen en de frequenties laag zijn.
- De ontwikkelingen van niet-commercieel verkeer in de buurt van Schiphol hebben een grotere invloed op de kans op een MAC-ongeval per vlucht dan de groei van het commerciële verkeer. Het onderzoek van toekomstige ontwikkelingen van niet-commercieel verkeer valt echter buiten de scope van deze studie.

Invloed beheersmaatregelen

Zoals in de inleiding is opgemerkt, worden incidenten en ongevallen in de MAC-categorie in een gecontroleerd luchtruim doorgaans gezien vanuit het perspectief van de luchtverkeersleiding, ook al spelen andere beschermingen en factoren ook een rol. Bij de vraag welke maatregelen de kans op een MAC-ongeval per vlucht kunnen verkleinen is daarom geput uit de maatregelen die de kansen op ATM/CNS-falen verkleinen, zoals onder andere aangedragen door de sectorpartijen (zie sectie 0). De relevante maatregelen zijn:

- Stabieler baangebruik door een verruiming van de vierdebaanregel;
- Minder last-minute-baanwisselingen door betere coördinatie, planning en communicatie;
- Meer voorspelbare aankomsttijden op de *Initial Approach Fixes* (IAFs) door een verbeterde Arrival Management, in combinatie met verhoogde coördinatie met de dienstverleners van de omliggende luchtruimen;

⁵⁸ De TCAS-logica extrapoleert horizontale en verticale snelheden en genereert op grond daarvan eventueel alerts. Dit kan leiden tot nuisance alerts (valse waarschuwingen), bijvoorbeeld in het geval dat het ene vliegtuig op, zeg FL70, vliegt en het andere vliegtuig op, zeg, FL55 klimt naar FL60. Op dat moment detecteert TCAS de dreiging van een botsing hoewel de verticale separatie van 1.000 voet in werkelijkheid gewaarborgd zal blijven.

- Meer voorspelbare vliegprofielen van naderingen, door de introductie van meer RNAV-naderingen (waardoor vaste route gevlogen worden, in plaats van routes op basis van koersinstructies van de luchtverkeersleider), de implementatie van Trajectory Prediction⁵⁹, het ophogen van de bovengrens van de Schiphol TMA en het invoeren van een vierde IAF;
- Betere ondersteuning van verkeersleiders door universele werkplekken⁶⁰ op de toren en de vervanging van het AAA-luchtverkeersleidingssysteem door iCAS;
- Beperking van de bezettingsgraad van radiotelefoniefrequenties door bijvoorbeeld het opdelen van verantwoordelijkheidsgebieden, vaker gebruik van datalink en vaker gebruik van automatische hand-over.

Naar verwachting bieden deze beheersmaatregelen voldoende mogelijkheden om de verwachte toename van de kans op een MAC-ongeval per beweging bij verkeersgroei te compenseren. Daarbij wordt opgemerkt dat de redeneringen en de statistieken uit de vorige sectie geen duidelijk beeld geven van de mate waarin de kans op een MAC-ongeval per beweging zal toenemen. Wel is aannemelijk gemaakt dat dit verband zodanig is dat een toename van het verkeersvolume met 10% leidt tot een toename van die kans met minder dan 10%.

Niet-commercieel verkeer kan significant bijdragen aan airspace infringements en de kans op een MAC. Zoals hierboven gesteld valt onderzoek naar de ontwikkelingen van niet-commercieel verkeer echter buiten de scope van deze studie. Er is daarom niet gekeken naar maatregelen die het risico van ongecontroleerde conflicten beheersen.

Tabel 6: Maatregelen om veiligheidseffecten van verkeersgroei in de categorie MAC te beheersen of weg te nemen.

Beheersmaatregelen	Status	Effectiviteit
a) Een verruiming van de vierdebaanregel om te zorgen voor stabielere baangebruik.	In overweging	Functioneel
b) Betere coördinatie, planning en communicatie om het aantal last-minute-baanwisselingen te verminderen.	Bestaand+	Procedureel
c) Verbeterde AMAN (Arrival Management) in combinatie met verhoogde coördinatie met de dienstverleners van de omliggende luchtruimen, om de voorspelbaarheid van het verkeer te verhogen.	Gepland	Procedureel
d) Meer RNAV-naderingen en Trajectory Prediction-gereedschap om de voorspelbaarheid van naderingsvliegprofielen te verhogen.	Gepland	Functioneel
e) Het ophogen van de bovengrens van de Schiphol TMA en het invoeren van een vierde IAF om de voorspelbaarheid van naderingsvliegprofielen te verhogen.	In overweging	Fysiek
f) Inrichting van universele werkplekken op de toren.	In overweging	Functioneel
g) Vervanging van het AAA-luchtverkeersleidingssysteem door iCAS.	Gepland	Functioneel
h) Beperking van de bezettingsgraad van radiotelefoniefrequenties door vaker gebruik van datalink en vaker gebruik van automatische hand-over.	Ter beschouwing	Functioneel
<i>Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn. Zie Appendix C voor uitleg gebruikte terminologie.</i>		

⁵⁹ Ook hier zijn er ontwikkelingen aan de luchtzijde gaande, als het doorgeven van de wind, de Final Approach Speed of zelfs het moment waarop de touchdown verwacht wordt. Een andere ontwikkeling, verder in de toekomst, is die van interval management, waarin vliegtuigen in een stroom naderingen de onderlinge separatie regelen. Ook dergelijke ontwikkelingen vergen mondiale samenwerking van meerdere partijen op langere termijn, waar Nederland aan kan bijdragen maar niet op kan aansturen.

⁶⁰ De werknemers in Toren-Centrum hebben verschillende taken (runway controller, ground controller, assistent). De verdeling van hun posities is nu niet afhankelijk van het baangebruik. Daardoor zijn de zichtlijnen van sommige functionarissen in sommige situaties niet optimaal. Door de invoering van digitale strippen kunnen de werkplekken universeel worden gemaakt en dit kan deze beperking wegnemen. Het invoeren van digitale strippen zelf kan ook worden gezien als een betere ondersteuning van verkeersleiders, maar dat wordt hier niet meegenomen omdat dit gezien wordt als een autonome ontwikkeling.

Conclusie (MAC)

Er kan beredeneerd worden dat groei van commercieel verkeer de kans op een MAC per beweging in beperkte mate doet toenemen. Deze tendens blijkt niet uit de incidentenstatistiek over de afgelopen jaren, onder andere doordat er in de tussentijd beheersmaatregelen zijn genomen.

De relevante beheersmaatregelen zijn die van ATM/CNS, een aparte ongevals categorie. Naar verwachting bieden deze beheersmaatregelen voldoende mogelijkheden om een toename van de kans op een MAC-ongeval per beweging bij verkeersgroei te compenseren.

4.2.2.2 Controlled Flight Into/toward Terrain (CFIT)

Achtergronden

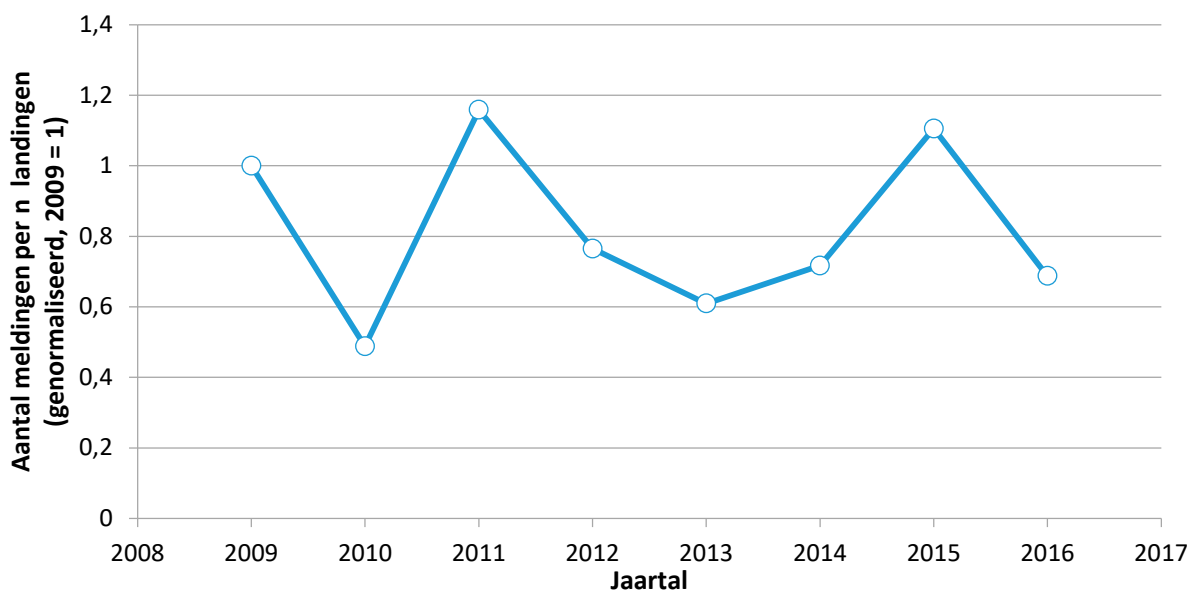
Ongevallen in de categorie 'Controlled Flight Into terrain' (CFIT) zijn een lange tijd de meest voorkomende fatale ongevallen geweest in de luchtvaart. Het betreft voorvallen waarbij een volledig bestuurbaar vliegtuig tegen de grond of een object op de grond aanbotst. Er zijn diverse oorzaken die kunnen bijdragen aan een CFIT-ongeval.

Invloed verkeersgroei op de CFIT-ongevalskans

De invloed van een groei van het aantal bewegingen op de kans op een CFIT-ongeval per beweging kan worden beoordeeld door te kijken naar de invloed van verkeersgroei op de belangrijkste oorzaken van een CFIT-voorval. Historische ongevalsdata laten zien dat de belangrijkste oorzakelijke factoren liggen bij de vlieger en bij de afwezigheid van een aantal systemen op de luchthaven [IATA, 2014].

De afwezigheid van verkeersleiding met radar, baanverlichting en/of precisienaderingshulpmiddelen verhoogt het risico op een CFIT-ongeval [FSF, 1994 en IATA, 2015]. Vliegen in slecht zicht is een andere belangrijke factor [IATA, 2014]. Op Schiphol is een volledige operationeel verkeersleidingsysteem beschikbaar met diverse radarsystemen. Meer dan 99% van de landingen vindt plaats op banen met een ILS-systeem. De ILS-systemen op Schiphol zijn van de hoogste categorie en kunnen worden gebruikt tot nul zicht. Met vliegtuigen die hiervoor zijn gecertificeerd mogen landingen uitgevoerd worden onder slecht-zichtcondities en lage wolkenbasis. Alle banen op Schiphol hebben de vereiste baanverlichting. Vanuit deze punten gezien zijn er geen CFIT-risico verhogende factoren aanwezig op Schiphol en heeft een beperkte groei van het aantal bewegingen geen gevolgen voor de kans op een CFIT-ongeval: verkeersleiding met radar, baanverlichting en precisienaderingshulpmiddelen blijven in dezelfde mate beschikbaar.

EGPWS aan boord van vliegtuigen is een doeltreffend waarschuwingssysteem gebleken om CFIT-ongevallen te voorkomen (zie Figuur 6). Het aantal EGPWS-waarschuwingen per landing (met betrekking tot glideslope, terrain en sink rate) is voor KLM gedurende de periode van groei op Schiphol stabiel gebleven (zie Figuur 28). Hoewel EGPWS zeer effectief is gebleken om CFIT-ongevallen te voorkomen, blijkt uit een aantal recente CFIT-ongevallen dat de vliegers de waarschuwingen van het EGPWS-systeem niet (goed) hadden opgevolgd. Er is daarom nu veel aandacht bij luchtvaartmaatschappijen om er voor te zorgen dat vliegers de kritische EGPWS-waarschuwingen altijd opvolgen. Dit geldt ook voor de luchtvaartmaatschappijen op Schiphol. Door de extra instructie van de vliegers en aandacht tijdens vliegertrainingen is de verwachting dat het deel van de CFIT-ongevallen waarbij waarschuwingen van het EGPWS-systeem niet goed worden opgevolgd verder zal afnemen. Er zijn geen indicaties dat groei van het aantal bewegingen hier invloed op heeft. De verwachting is dan ook dat een beperkte groei geen invloed heeft op de kans op een CFIT als gevolg van het niet opvolgen van de EGPWS-waarschuwingen.



Figuur 28: EGPWS rate KLM op Schiphol (exclusief bank angle, flaps/gear en false warnings) (bron: KLM).

Onstabiele naderingen zijn ook een factor in CFIT-ongevallen geweest [IATA, 2014], hoewel deze factor niet heel groot is in vergelijking tot de andere genoemde factoren. Zoals beschreven onder 'ARC' zijn beheersmaatregelen nodig om een relatieve stijging van het aantal onstabiele naderingen tegen te gaan.

Invloed beheersmaatregelen

Een toename van het aantal onstabiele naderingen per beweging kan worden voorkomen door een aantal maatregelen, zoals in meer detail beschreven onder ARC. Luchtvaartmaatschappijen monitoren hun vluchten op onstabiele naderingen als onderdeel van hun veiligheidsmanagementsysteem. Veranderingen in het aantal onstabiele naderingen of de ernst ervan worden zodoende waargenomen waarop de maatschappij maatregelen kan treffen om dit te verminderen. Daarnaast is er bij een groei van het aantal bewegingen geen ruimte voor flexibele afhandeling van het vliegverkeer. Standaardisering van verkeersafhandeling is nodig om de verkeersgroei te kunnen accommoderen. LVNL heeft deze standaardisering reeds in gang gezet en verdere standaardisering is voorzien. Het is daarmee aannemelijk dat het relatief aantal onstabiele naderingen niet zal toenemen bij een beperkte groei van het aantal bewegingen.

Tabel 7: Maatregelen om de veiligheidseffecten van verkeersgroei in de categorie CFIT te beheersen of weg te nemen.

Beheersmaatregelen	Status	Effectiviteit
a) Het monitoren van onstabiele naderingen en het acteren op negatieve trends als onderdeel van het veiligheidsmanagementsysteem van luchtvaartmaatschappijen.	Bestaand+	Monitoren
b) Het door de verkeersleiding verder voor de baan oplijnen van landend verkeer ("trombone") wanneer het verkeersaanbod voor een landingsbaan de capaciteit voor langere tijd overschrijdt.	Bestaand+	Functioneel
c) Geen gebruik maken van visuele naderingen en korter indraaien tijdens piekperiodes.	Bestaand+	Functioneel
<i>Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn. Zie Appendix C voor uitleg gebruikte terminologie.</i>		

Conclusie (CFIT)

Diverse beheersmaatregelen zorgen er voor dat effecten van groei worden beheerst. Een toename van het aantal onstabiele naderingen per beweging bij een verkeersgroei kan worden tegengegaan door een aantal beheersmaatregelen. De verwachting is dus dat verkeersgroei geen invloed zal hebben op de kans op een CFIT-ongeval per beweging

4.2.2.3 Loss of Control – Inflight (LOC-I)

Achtergrond

De categorie 'Loss Of Control-In-flight' (LOC-I) heeft betrekking op ongevallen waarbij de bemanning niet langer in staat is het vliegtuig te besturen, met als gevolg dat een onherstelbare afwijking van het gewenste vliegpad ontstaat. LOC-I-ongevallen zijn in bijna alle gevallen fataal: 97% van de LOC-I-ongevallen leidt tot dodelijke gevolgen voor de bemanning en passagiers [IATA, 2015]. Figuur 12 laat zien dat LOC-I over de laatste jaren de belangrijkste oorzaak is voor dodelijke ongevallen.

Invloed verkeersgroei op de LOC-I-ongevalskans

De invloed van een groei van het aantal bewegingen op de kans op een LOC-I-ongeval per beweging kan worden beoordeeld door te kijken naar de invloed van de groei op de belangrijkste oorzaken van een LOC-I-ongeval. Onderzoek naar LOC-I-ongevallen [CAST, 2000] laat zien dat belangrijke oorzakelijke factoren liggen bij de vlieger, het systeemontwerp en weersomstandigheden.

Aangenomen wordt dat de verkeerssamenstelling niet significant zal wijzigen als gevolg van verkeersgroei. Het (gemiddeld) systeemontwerp van de betreffende vliegtuigen zal daarom niet veranderen. Het systeemontwerp is dus onafhankelijk van verkeersgroei. Weersomstandigheden die een belangrijke rol kunnen spelen bij LOC-I-ongevallen zijn turbulentie, windshear (zie ook sectie 4.2.1.1) en ijsvorming. De blootstelling van vliegtuigen aan deze omstandigheden wordt niet beïnvloed door de groei van Schiphol.

Als belangrijkste aspect blijft dan over het functioneren van de vlieger. Belangrijke factoren die zijn terug te leiden naar de vliegers betreffen [Jacobsen, 2010 en Belcastro, 2010]: training, onvoldoende vliegvaardigheid, *situational awareness*, onstabiele naderingen en onjuiste handelingen naar aanleiding van systeemfouten. Van deze factoren zijn de elementen "*situational awareness*" en "onstabiele nadering" mogelijk gevoelig voor verkeersgroei.

Specifieke karakteristieken van een luchthaven en verkeersleiding zouden een rol kunnen spelen bij het tot stand komen van een LOC-I-ongeval, bijvoorbeeld wanneer zij zouden kunnen bijdragen aan het ontstaan van een hoge werkbelasting en verminderde *situational awareness* bij de vlieger. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan vaker verkort indraaien - op basis van koersinstructies - naar de Final Approach Fix om een vliegtuig sneller te kunnen laten landen. Het is bekend dat dit de werkbelasting van de vlieger kan verhogen, omdat er minder tijd is om de benodigde vliegerhandelingen tijdens de nadering uit te voeren. Dit zou kunnen leiden tot een toename van onstabiele naderingen en daarmee tot een mogelijke verhoging van de kans op een LOC-I-ongeval. Factoren die verder kunnen bijdragen aan een mogelijke toename van het aantal onstabiele naderingen per beweging zijn in meer detail beschreven onder de categorie ARC.

Invloed beheersmaatregelen

Om het mogelijke effect van groei op de LOC-I-ongevalskans per beweging te kunnen beheersen zijn vooral maatregelen nodig om ervoor te zorgen dat oorzaken voor het ontstaan van verminderde *situational awareness* zoveel mogelijk worden weggenomen en dat het aantal onstabiele naderingen niet toeneemt.

Een toename van de kans op verminderde *situational awareness* en van het aantal onstabiele naderingen per beweging kan worden voorkomen door een aantal maatregelen, zoals in meer detail beschreven onder ARC. Luchtvaartmaatschappijen monitoren hun vluchten op onstabiele naderingen als onderdeel van hun veiligheidsmanagementsysteem. Veranderingen in het aantal onstabiele naderingen of de ernst ervan worden zodoende waargenomen waarop de maatschappij maatregelen kan treffen om dit te verminderen. Daarnaast is er bij een groei van het aantal bewegingen geen ruimte voor flexibele afhandeling van het vliegverkeer. Standaardisering van verkeersafhandeling is nodig om de verkeersgroei te kunnen accommoderen. LVNL heeft deze standaardisering reeds in gang gezet en verdere standaardisering is voorzien. Het is daarmee aannemelijk dat het relatief aantal onstabiele naderingen niet zal toenemen bij een beperkte groei van het aantal bewegingen.

Tabel 8: Maatregelen om de veiligheidseffecten van verkeersgroei in de categorie LOC-I te beheersen of weg te nemen.

Beheersmaatregelen	Status	Effectiviteit
a) Het monitoren van onstabiele naderingen en het acteren op negatieve trends als onderdeel van het veiligheidsmanagementsysteem van luchtvaartmaatschappijen.	Bestaand+	Monitoren
b) Het door de verkeersleiding verder voor de baan oplijnen van landend verkeer ("trombone") wanneer het verkeersaanbod voor een landingsbaan de capaciteit voor langere tijd overschrijdt.	Bestaand+	Functioneel
c) Geen gebruik maken van visuele naderingen en korter indraaien tijdens piekperiodes.	Bestaand+	Functioneel
<i>Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn. Zie Appendix C voor uitleg gebruikte terminologie.</i>		

Conclusie (LOC-I)

LOC-I is wereldwijd de meest fatale ongevals categorie. Het voorkomen van dit type ongeval is daarom ook voor Schiphol van groot belang. Op basis van bovenstaande analyse wordt geconcludeerd dat een verdere groei op Schiphol geen negatief effect zal hebben op de LOC-I-ongevalskans per beweging wanneer beheersmaatregelen genomen worden. Deze beheersmaatregelen moeten gericht zijn op de realisatie van een meer standaard afhandeling van het vliegverkeer en het creëren van een stabiel verkeerbeeld. Hierdoor zal de kans op het ontstaan van onstabiele naderingen verminderd worden en daarmee worden negatieve effecten van verkeersgroei op de LOC-I-ongevalskans voorkomen.

4.2.2.4 Fuel related (FUEL)

Achtergronden

De categorie 'Fuel related' (FUEL) omvat ongevallen en incidenten gerelateerd aan brandstof en kan worden onderverdeeld in de volgende categorieën:

- Toevoerdefect: er is brandstof in het vliegtuig maar het is niet beschikbaar voor de motoren;
- Vervuiling: er zijn vreemde substanties in de brandstof aanwezig;
- Verkeerde brandstof: de brandstof in de tanks is niet geschikt voor het type motoren;
- Tekort: er is geen bruikbare brandstof meer aanwezig in het vliegtuig.

De oorzaken van de eerste drie categorieën zijn gelegen in vliegerfouten, technische mankementen van het vliegtuig of in de keten van de brandstofvoorziening tot aan het tanken van vliegtuig. Vliegerfouten en technische mankementen van het vliegtuig zijn onafhankelijk van het overige verkeer. Dit geldt ook voor oorzaken in de keten van de brandstofvoorziening: de processen in die keten spelen zich grotendeel buiten de luchthaven af en voor zover ze zich op een grote luchthaven als Schiphol afspelen, voldoen ze aan hoge kwaliteitsstandaarden, onafhankelijk van de grootte van de vraag naar brandstof. De kans op een ongeval of incident in die drie categorieën is daarmee niet gerelateerd aan de verkeersvolumes. Dergelijke redeneringen gelden niet volledig voor de laatste categorie, die daarom hieronder in meer detail wordt beschouwd.

Vluchten in de commerciële luchtvaart hebben een vluchtplan waarmee de lengte, het hoogteprofiel en de tijdsduur van de nominale vlucht vooraf vrij nauwkeurig bekend zijn. Op grond daarvan, en op basis van factoren als het type en het gewicht van het vliegtuig, wordt de benodigde hoeveelheid zogeheten *trip fuel* bepaald. Daarnaast wordt een hoeveelheid additionele brandstof meegenomen voor onvoorziene omstandigheden.

Invloed verkeersgroei op de FUEL-ongevalskans

Het voorkomen van ongevallen door toevoerdefect, vervuiling en verkeerde brandstof zijn onafhankelijk van de hoeveelheid verkeer. Dit geldt niet voor de subcategorie “brandstoftekort”. Uitgaande van de hoeveelheden brandstof die mee worden genomen tijdens een vlucht, zijn er in essentie twee mogelijke oorzaken voor brandstoftekort:

- Er is minder getankt dan nodig, bijvoorbeeld door een verkeerde berekening of door miscommunicatie tussen de luchtvaartmaatschappij en de partijen betrokken bij het tanken en het toezicht daarop;
- De vlucht heeft meer brandstof nodig dan waarin is voorzien, bijvoorbeeld doordat er onvoorzien eerst 20 minuten moet worden gehold bij de luchthaven van de bestemming, dan wordt uitgeweken naar de alternatieve luchthaven en er opnieuw 20 minuten moet worden gehold.

De eerste oorzaak is onafhankelijk van de hoeveelheid verkeer. Er zijn geen effecten denkbaar die de kans op verkeerde berekeningen of miscommunicatie vergroten bij een beperkte groei van het aantal bewegingen. De kans op een scenario waarin de tweede oorzaak een rol speelt blijkt ook onafhankelijk van de hoeveelheid verkeer, zoals hieronder onderbouwd.

Het Europese luchtvaartstelsel is zo ingericht dat een vlucht niet zal vertrekken als er op dat moment al bekend is dat ergens een gebrek aan afhandelcapaciteit kan ontstaan. Een onderdeel van dat systeem is dat een vlucht van en/of naar een gereguleerde luchthaven alleen kan vertrekken met de juiste luchthaven-slots [Capacity declaration, 2017] en de juiste ATC-slots [ATCFM Operational Manual, 2015]. Hierdoor kan geen brandstoftekort ontstaan door een te hoog verkeersaanbod of door voorziene verstoringen.

De ATC-slotallocatie is gebaseerd op het monitoren van de hoeveelheden verkeer in zogeheten *Traffic Flow Volumes* zoals de Amsterdam FIR. De voorspelde hoeveelheid verkeer wordt daarbij vergeleken met een van de omstandigheden afhankelijke drempelwaarde. Als het potentiële aanbod van verkeer te groot dreigt te worden, worden vluchten gereguleerd door de centraal georganiseerde Network Manager in Brussel. Deze kan dan bijvoorbeeld een aangepaste *Calculated Take-off Time* (CTOT) voor een vlucht bepalen, waarop die dan met een beperkte tolerantie van -5 en + 10 minuten moet vertrekken [ATCFM Operational Manual, 2015 en EU 255, 2010]. Dit

systeem van ATC-slots bestaat al langer⁶¹ en is in de loop van de afgelopen jaren fijngeslepen. De voorspelbaarheid van de operatie en de punctualiteit van de vluchten op Schiphol is daarmee in de afgelopen periode vergroot.

De luchthaven- en ATC-slotallocatieprocessen zijn echter niet in staat om niet-voorspelde, grotere verstoringen weg te nemen, zoals het sluiten van de luchthaven na een terreurdreiging, plotselinge onweersbuien, het uitrukken van de brandweer of het sluiten van een luchthaven in de omgeving⁶². In dat geval worden de holdings gebruikt om naderend verkeer tijdelijk in de lucht te houden, bij voorkeur de vaste holdings op de drie *Initial Approach Fixes* (ARTIP, RIVER en SUGOL). Als vliegtuigen voor langere tijd in de holding gaan, ontvangen de bemanningen de aangepaste *Estimated Approach Time* (of de zogeheten *Onward Clearance Time*) waarmee ze kunnen verifiëren of de hoeveelheid beschikbare brandstof voldoende is, of dat er uitgeweken moet worden⁶³. Eventueel melden vliegers een dreigend brandstoftekort aan de luchtverkeersleiding omdat dit essentieel kan zijn in de afhandeling van verkeer. De mogelijkheden tot houden en uitwijken en het gegeven dat de frequentie van niet-voorspelde, grotere verstoringen op Schiphol niet of nauwelijks zal toenemen door verkeersgroei omdat de oorzaken daarvan doorgaans buiten het vliegverkeer liggen, maken dat ook onvoorziene verstoringen de kans op een FUEL-ongeval per beweging bij verkeersgroei niet vergroten.

Van 2010 tot en met 2016 zijn er voor Schiphol-naderingen drie urgente en één noodsituatie gerelateerd aan brandstof gemeld, alle in de periode 2012 tot en met 2014 (bron: LVNL). Deze statistiek vormt dus geen reden om te twifelen aan de onafhankelijkheid van een aan brandstof gerelateerd voorval ten aanzien van de hoeveelheid verkeer en verkeersgroei.

Invloed beheersmaatregelen (FUEL)

Er is geen effect van een groei van het aantal bewegingen op de FUEL-ongevalskans per beweging.

Conclusie (FUEL)

Van vier brandstofgerelateerde subcategorieën is er één, namelijk “brandstoftekort”, met een mogelijk verband met de hoeveelheid verkeer. Dit verband zou kunnen zijn: een hogere verkeersdichtheid leidt tot meer congestie, langer houden en dus een grotere kans op brandstoftekort per beweging. Dit verband blijkt er bij nadere beschouwing in de praktijk niet te zijn: de kans per beweging op een FUEL-ongeval op Schiphol neemt niet toe met toenemende verkeersvolumes.

Een belangrijk element daarin is dat de mechanismes die verkeersvolumes en afhandelcapaciteit in balans houden goed werken. Hierdoor kan geen brandstoftekort ontstaan door een te hoog verkeersaanbod of door voorziene verstoringen. Voor onvoorziene verstoringen geldt het volgende: de al lage frequentie van onvoorziene verstoringen op Schiphol zal niet of nauwelijks toenemen door een verkeersgroei omdat de oorzaken daarvan doorgaans buiten het vliegverkeer liggen.

⁶¹ In 1988 richtte Eurocontrol de Central Flow Management Unit (CFMU) op, die later is, onder de Single European Sky regulering, is uitgegroeid tot wat nu de Network manager heet.

⁶² In het verleden zijn er NOTAMs uitgegeven waarin werd aangekondigd dat Schiphol in een specifieke drukke periode niet kon dienen als alternatieve luchthaven. Daarmee is het risico van brandstoftekort door uitwijkend verkeer tot op zekere hoogte gecontroleerd.

⁶³ Holdings lopen bij een hoger verkeersaanbod eerder vol dan bij een lager verkeersaanbod. De snelheid waarmee holdings later weer leeg lopen wordt bepaald door de afhandelcapaciteit van Schiphol, en die verhoudt zich met het verkeersaanbod. Als het piekaanbod en de piekcapaciteit van Schiphol in de toekomst in gelijke verhouding blijven staan, is daar dus geen groter risico. De maximale capaciteit van de holdings op de IAFs van Schiphol is (3x) 18 vliegtuigen als alle Flight Levels tussen FL70 en FL240 worden gebruikt. ARTIP kan eventueel overlopen naar de holding bij NARSO; alle holdings kunnen overlopen naar een ad hoc holding, maar dit gebeurt in de praktijk nooit. Er is geen aanwijzing dat de opvangcapaciteit van de holdings onvoldoende zou zijn. Daarbij komt dat Schiphol in de gelukkige omstandigheid verkeert dat er meerdere kleine en grote luchthavens in de buurt liggen (Rotterdam, Eelde, Brussel, Heathrow, Frankfurt, et cetera).

4.2.2.5 Turbulence Encounter (TURB)

Achtergronden

De categorie 'Turbulence Encounter' (TURB) betreft de voorvallen waarin een vlucht door turbulentie wordt verstoord. Er kan binnen deze categorie onderscheid gemaakt worden naar de rol die wolken, onweer, gebouwen, windturbines en andere vliegtuigen spelen. In relatie tot groei is echter alleen het volgende onderscheid van belang:

- De turbulentie wordt veroorzaakt door een ander vliegtuig: zogturbulentie of *wake vortex turbulence*;
- De turbulentie wordt niet veroorzaakt door een ander vliegtuig.

Wanneer er separatiediensten worden geleverd, zoals in klasse A en C luchtruim rondom Schiphol, laten verkeersleiders de afstanden tussen vliegtuigen niet kleiner worden dan zekere minima. Deze separatieminima vallen uiteen in radar- en wake-separatienormen. De radar-separatienorm is voor alle vliegtuigen in het hetzelfde luchtruim gelijk; in de Schiphol TMAs en CTR is dat 3NM. De wake-separatienorm hangt af van de categorieën waarin de leader en de follower vallen. LVNL gebruikt daarbij de volgende ICAO-normen voor de minimale afstand⁶⁴.

Tabel 9: ICAO-wake-separatienormen.

Leader \ Follower	Super	Heavy	Medium	Light
Super	-	6 NM	7 NM	8 NM
Heavy	-	4 NM	5 NM	6 NM
Medium	-	-	-	5 NM
Light	-	-	-	-

Deze normen worden vooral gebruikt wanneer vliegtuigen achter elkaar vliegen, zoals bij vertrek op gelijke of gedeeltelijke overlappende SID's of bij een naderingssequentie. Dit verklaart ook de termen leader en follower; het verkeer is sequentieel en de separatie is longitudinaal, dat willen zeggen: in de lengterichting. De normen gelden echter ook voor kruisend verkeer, of voor bijzondere gevallen wanneer er bijvoorbeeld op parallelle banen gelijktijdig wordt genaderd, omdat er dan ook een risico is van zogturbulentie.

Invloed verkeersgroei op de TURB-ongevalskans

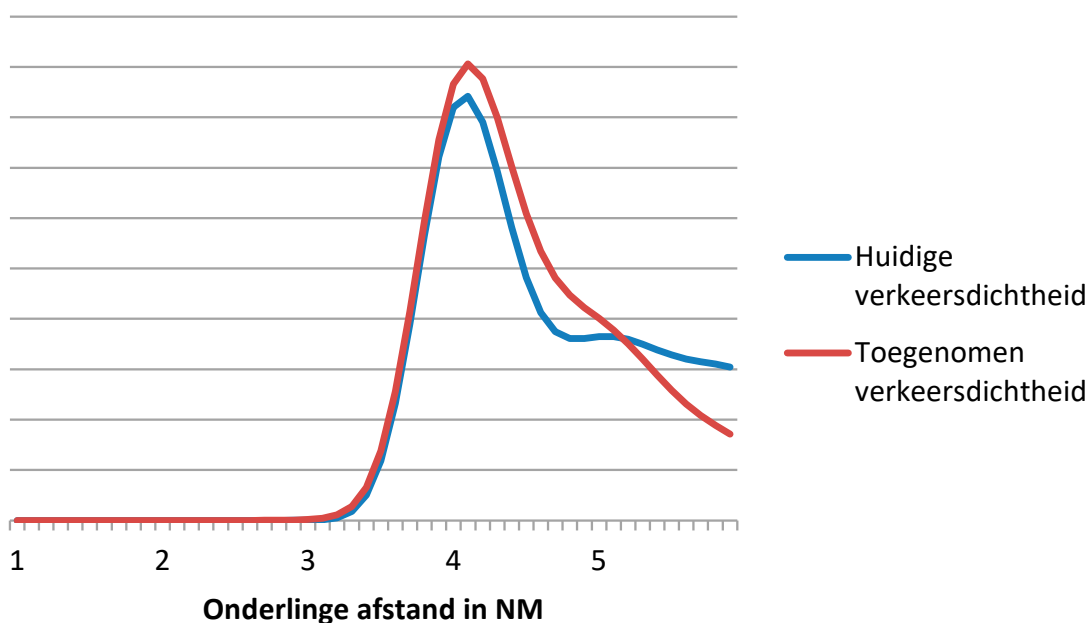
Turbulentie die niet veroorzaakt wordt door een ander vliegtuig neemt niet toe als er meer verkeer is; er is geen directe of significante indirecte afhankelijkheid.

Er is mogelijk wel een invloed van een groei van het aantal bewegingen op zogturbulentie-ongevallen. Door die groei zal de verkeersdichtheid gedurende periodes toenemen, hoewel niet gedurende de pieken en dus niet boven een maximum, in overeenstemming met de uitgangspunten en aannamen zoals geformuleerd in sectie 0. Hieronder wordt eerst het risico van turbulentie veroorzaakt door een ander vliegtuig in dezelfde stroom geanalyseerd voor een verhoging van de verkeersdichtheid zonder verhoging van de baancapaciteiten, daarna wordt het risico van turbulentie van vliegtuigen in verschillende stromen beschouwd.

De verwachtingswaarde voor de gemiddelde longitudinale separatie tussen twee vliegtuigen zal bij een hogere verkeersdichtheid afnemen: sequentieel verkeer komt gemiddeld dichter op elkaar. Omdat de verkeersleiders

⁶⁴ Deze afstandsnormen worden gebruikt voor de naderingen; bij vertrek worden minimale tijdsintervallen gehanteerd [PANS-ATM, 2016]. In de hoofdttekst wordt steeds uitgegaan van minimale afstanden, maar de conclusies gelden ook voor de gevallen waarin minimale tijdsintervallen worden gehanteerd. Overigens zijn de risico's van zogturbulentie bij vertrekkend verkeer beperkt omdat de vliegpaden meer van elkaar verschillen. Bij visuele separatie gelden weer andere normen maar dat blijft hier buiten beschouwing omdat het weinig wordt toegepast op Schiphol.

dezelfde separatieregels blijven hanteren, zal de verdeling over de relatief kleine afstanden niet significant veranderen, zoals geïllustreerd in Figuur 30 hieronder.



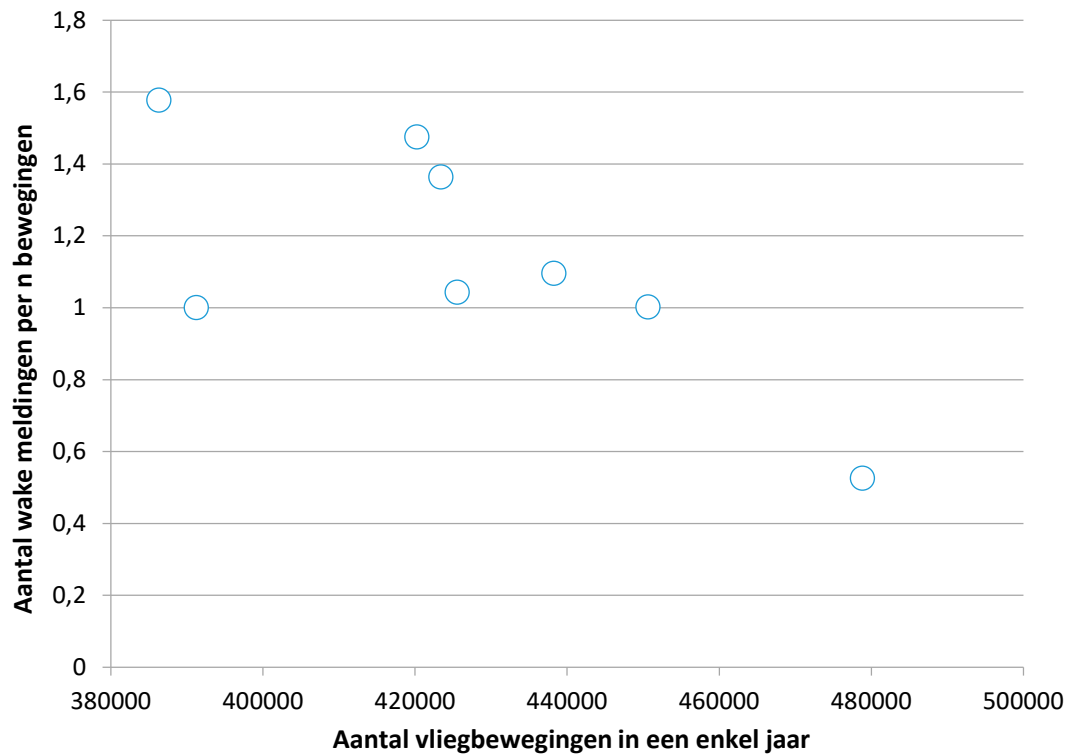
Figuur 29: Hypothetische verdelingen van de onderlinge afstanden tussen twee heavy vliegtuigen naderend op de zelfde baan, op een vast punt voor de baandrempel, bij de huidige verkeersdichtheid (in blauw) en bij toegenomen verkeersdichtheid (in rood). De gemiddelde waarde van de afstand is bij de toegenomen verkeersdichtheid kleiner dan bij de huidige verkeersdichtheid maar de kansen op relatief korte onderlinge afstand, minder dan de 4 nautische mijl (NM) minimale separatie, zijn min of meer gelijk.

Zoals ook geïllustreerd in de figuur zal bij verkeersgroei de massa van de verdeling voor relatief grote afstanden verplaatst worden naar afstanden net iets boven, of in de buurt van de separatieregels. Echter, doordat de verkeersleiders hun werk blijven doen zal de verdeling over afstanden kleiner dan de separatieregels niet significant veranderen. Het aantal meldingen van wake turbulence per beweging zou dus iets toe kunnen nemen, maar niet heel significant en de kans per beweging op ongevallen door zogturbulentie blijft gelijk.

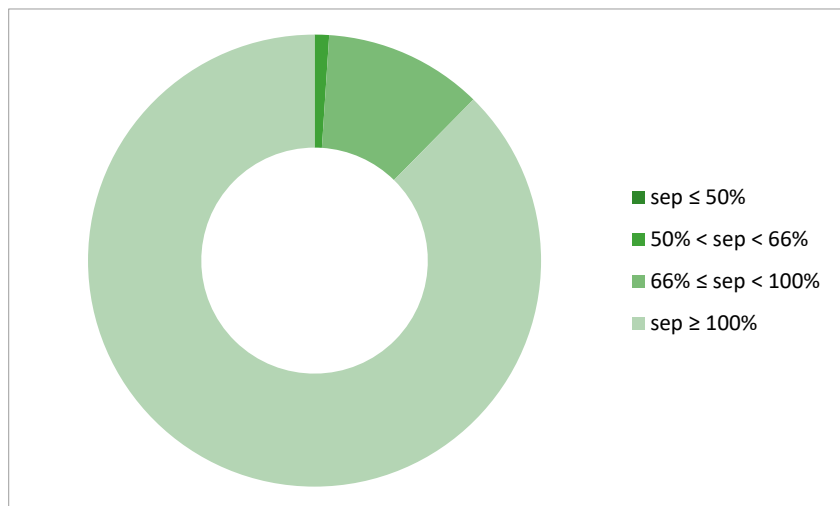
Deze redenering wordt bevestigd door de statistiek van meldingen van wake turbulence op Schiphol van de afgelopen jaren⁶⁵. Zoals ook te zien is in de twee grafieken hieronder blijkt namelijk het volgende:

- Het relatief aantal meldingen van wake turbulence neemt niet toe met het aantal bewegingen per jaar; er is eerder sprake van een dalende tendens, zie Figuur 31.
- Bij veel meldingen (88% van het totaal) bleek de wake-separatieregels niet onderschreden te zijn. Slechts in één melding in zeven jaar bleek de wake-separatieregels significant (tussen een derde en de helft) onderschreden te zijn.

⁶⁵ Inclusief meldingen van zogturbulentie door kruisend verkeer.



Figuur 30: Genormaliseerd aantal meldingen van wake turbulence per n bewegingen op Schiphol (2009 = 1) voor de periode 2009 – 2016 uitgezet tegen het aantal bewegingen per jaar (bron: KLM).



Figuur 31: Verdeling van de feitelijk separatie ("sep") ten opzichte van de wake-separatienorm ("100%") bij wake-turbulence-meldingen (bron: LVNL). Het is niet voorgekomen dat de feitelijke separatie minder dan de helft van de norm is ("sep ≤ 50%"), ondanks dat het wel in de legenda staat. Uit deze verdeling blijkt dat de afstand tussen de betrokken vliegtuigen groter is dan de norm in de ruime meerderheid van de wake-turbulence-meldingen.

Zogturbulentie heeft ook invloed op kruisend verkeer. De risico's zijn over het algemeen kleiner omdat de tijdspanne van blootstelling korter is, de hoogte groter is (waardoor de bemanning de effecten van de turbulentie nog kan herstellen voordat het vliegtuig de grond raakt) en de snelheden hoger zijn (waardoor de kracht van de turbulentie van de leader groter is maar de ontvankelijkheid van de follower kleiner). De redenering van hierboven - voor sequentieel verkeer - geldt echter niet voor dit risico.

De standaard afhandeling van verkeer in de CTR en TMA van Schiphol vraagt geen krappe kruisingen, waarbij de verkeersleider vliegtuigen op gelijke hoogte op korte tijd achter elkaar laat kruisen. De gevallen waarin vliegtuigen wel kort achter elkaar onder een zeker hoek over hetzelfde punt vliegen zijn uitzonderingen: bijvoorbeeld na een doorstart op een baan die kruist met een actieve startbaan of wanneer een vliegtuig het localiser-signaal niet goed aanvliegt tijdens parallel naderen. In deze gevallen is er niet alleen een kleine kans op een MAC, maar is er ook een kans op een *near miss*, waarna de zogturbulentie van het ene vliegtuig het andere vliegtuig ernstig kan hinderen. In een eerdere veiligheidsstudie [VEMER, 2011a] is na analyse geconcludeerd dat zelfs de impact van de zogturbulentie van de A380, een zogeheten Super (zie Tabel 9), acceptabel is door de korte duur van de krachtwerking, en dat het risico dat die impact tot een ongeval leidt verwaarloosbaar klein is.

Invloed beheersmaatregelen (TURB)

Er is geen effect van een groei van het aantal bewegingen op de TURB-ongevalskans per beweging.

Conclusie (TURB)

De kans per beweging op een ongeval door turbulentie die niet wordt veroorzaakt door een ander vliegtuig zal niet toenemen door groei. Zogturbulentie veroorzaakt door sequentieel verkeer (dus op min of meer de zelfde hoogte op min of meer hetzelfde pad) neemt toe doordat de afstanden gemiddeld kleiner worden bij toenemend verkeer. De kans per beweging op ongevallen neemt echter niet toe omdat de wake-separatienormen gehandhaafd blijven; de elementen in de redenering hiervoor worden bevestigd door de statistieken van de meldingen van wake turbulence op Schiphol in de afgelopen jaren. Het risico dat zogturbulentie van kruisend verkeer tot een ongeval leidt, is verwaarloosbaar klein.

4.2.3 Analyse ongevalscategorieën - op de grond

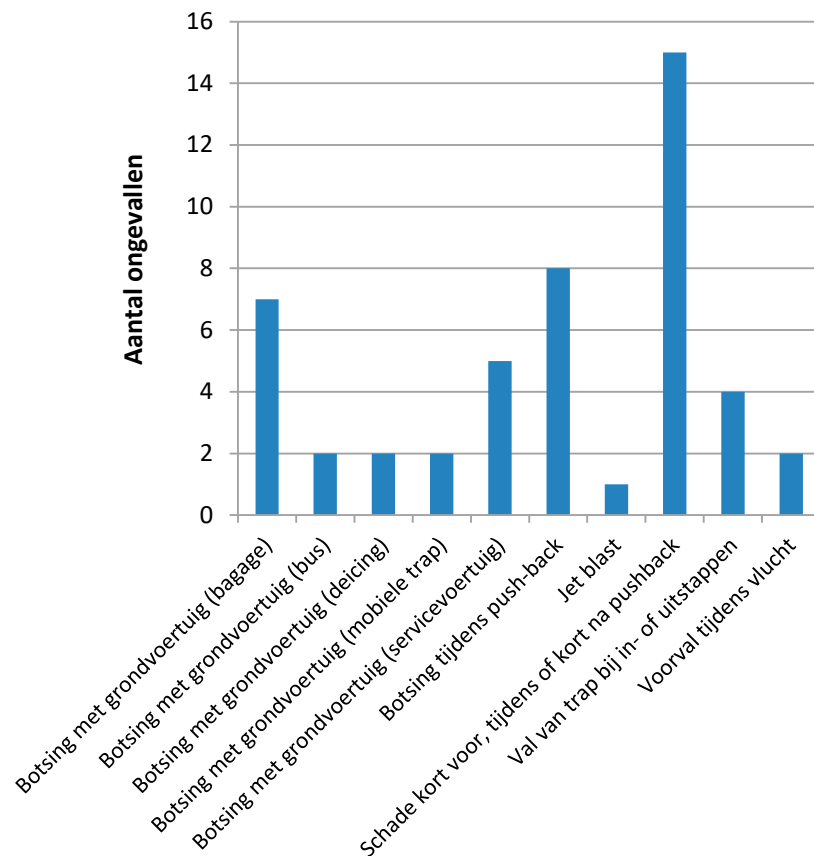
4.2.3.1 Ground Handling (GROUND)

Achtergronden

De categorie 'ground handling' (GROUND) betreft voorvallen die zich kunnen voordoen tijdens, of als gevolg van, grondafhandeling. Deze voorvallen vinden vooral plaats op de opstelplaatsen, maar kunnen ook plaatsvinden tijdens de vlucht als gevolg van onopgemerkte schade opgelopen bij de grondafhandeling. Binnen de scope van de integrale veiligheidsanalyse - namelijk vliegveiligheid - gelden alleen voorvallen die plaatsvinden terwijl er aan boord van het vliegtuig personen zijn die een vlucht gaan maken of net zijn aangekomen na een vlucht. Voorvallen gedurende deze tijd waarbij passagiers gewond raken vallen hier onder. Voorvallen gedurende deze tijd waarbij servicemedewerkers - werkzaam rond het vliegtuig - gewond raken vallen onder arbo-veiligheid en zijn buiten scope.

Tijdens de grondafhandeling gebeuren geregeld incidenten. Voor veel van deze incidenten geldt echter dat het onwaarschijnlijk is dat het ook tot een ongeval had kunnen leiden. De NLR Air Safety Database is geraadpleegd om te achterhalen welke typen voorvallen ook dusdanig ernstig kunnen zijn dat ze tot een ongeval⁶⁶ leiden. Het gaat hierbij om ernstig letsel van passagiers of grote schade aan het vliegtuig. Er zijn 48 GROUND-ongevallen bekeken uit Europa en Noord-Amerika in de periode 2007 - 2014. Figuur 32 toont een overzicht van aantallen GROUND-ongevallen onderverdeeld naar type ongeval.

⁶⁶ Volgens de definitie van ICAO Annex 13.



Figuur 32: Typen ongevallen in de categorie GROUND [NLR, 2017].

Een groot gedeelte van de ongevallen is gerelateerd aan de pushback. Het betreft hier schade ontstaan kort voor, tijdens of kort na de pushback door de interactie met de pushback-truck en botsingen tussen twee vliegtuigen tijdens de pushback. Een ander groot gedeelte van de GROUND-ongevallen betreft botsingen tussen een vliegtuig en een grondvoertuig. Ongevallen waarbij passagiers letsel oplopen betreffen vallen van de trap bij in- of uitstappen van het vliegtuig en jet blast. De twee voorvallen tijdens de vlucht betreffen een tail strike door een verkeerde belading en een cabine-decompressie door schade opgelopen tijdens de grondafhandeling.

Invloed verkeersgroei op de GROUND-ongevalskans

Om de invloed van een groei van het aantal bewegingen op het aantal GROUND-ongevallen per beweging te bepalen wordt er gekeken naar een vijftal aandachtsgebieden: intensiever gebruik van de beschikbare vliegtuigopstelplaatsen (VOPs), extra druk op de grondafhandeling, adequate communicatie, beschikbaarheid van voldoende gekwalificeerd personeel en beschikbaarheid van voldoende geschikt materieel. De laatste drie aandachtsgebieden zijn in een eerdere studie geïdentificeerd [NLR, 2009].

Intensiever gebruik van VOPs

De groei van het aantal bewegingen op Schiphol leidt tot intensiever gebruik van VOPs en de wegen die toegang bieden tot VOPs. Bij een toename van het aantal bewegingen op Schiphol, zal het aantal bewegingen van grondvoertuigen sterker toenemen. Elke turnaround vereist namelijk dat bagage, vracht, catering en/of brandstof worden uit- en/of ingeladen en dat het vliegtuig een pushback ontvangt vanaf de VOP. Bij langere of ingewikkelder turnarounds kan het voorkomen dat er 10 verschillende organisaties met hun voertuigen aanwezig zijn rond het vliegtuig (NLR, 2007). Het is onvermijdelijk dat de benodigde voertuigen gebruikmaken van het platform en de randwegen.

Door het intensieve gebruik van VOPs is het onderhoud aan VOPs en de apparatuur overdag steeds lastiger in te plannen. Daardoor wordt onderhoud deels verplaatst naar de nacht. De omstandigheden in de nacht zijn minder ideaal voor onderhoudswerk (vermoeidheid, minder licht et cetera). Het veegen van VOPs gebeurt nu in dalperiodes, die bij groei echter steeds minder voorkomen. De veegplannen moeten daarom aangepast worden aan de groei van het verkeer, omdat anders de kans op Foreign Object Damage (FOD) door zwerfvuil toeneemt.

Schiphol kent al een geruime tijd een volledig open geliberaliseerd afhandelingsregime (Burghouwt, 2013). Dit betekent dat het aantal op Schiphol actieve grondafhandelaren in principe onbeperkt is. Doordat er meerdere afhandelaren actief zijn en deze geen vaste VOPs hebben wordt er veel met materiaal af- en aangereden. Er is een beperkt overzicht van het aantal grondvoertuigen en hun bewegingen, doordat er geen systeem is voor track en trace. Soms is de vorige afhandelaar nog niet vertrokken als de volgende arriveert. Door een grote hoeveelheid materieel en gebrek aan ruimte kunnen de richtlijnen niet altijd gerespecteerd worden en gaat men shortcuts bedenken. Wanneer parkeervakken nog bezet zijn, wordt materieel buiten de parkeervakken geplaatst. Voertuigen worden soms op de rode lijn geparkeerd en voertuigen rijden onder vleugels door. Hierdoor ontstaat een toenemende kans op botsingen van voertuigen met vliegtuigen.

Het intensiever gebruik van VOPs door een groei van het aantal bewegingen heeft dus een negatief effect op de veiligheid dat beheerst moet worden.

Extra druk op de grondafhandeling

Beperkte groei van het verkeersvolume verhoogt de werkdruk per beweging niet, zolang de groei geaccomodeerd wordt in huidige rustigere periodes. Deze groei zorgt niet voor kortere omdraaitijden. Er zijn bij dit groeiscenario namelijk niet meer VOPs benodigd dan in de huidige piekperiodes. Voor het accommoderen van meer bewegingen moet wel de productiviteit worden verhoogd, om gemiddeld meer vliegtuigen per dag af te handelen. Een vergroting van productiviteit levert niet per definitie een verhoging van de werkdruk op. Het is aannemelijker dat een verhoogde werkdruk voornamelijk veroorzaakt wordt door de grote concurrentie tussen afhandelaars. Deze concurrentiestrijd wordt niet onevenredig vergroot door een groei op Schiphol.

Adequate communicatie

Het European Commercial Aviation Safety Team (ECAST) heeft in 2010 onderzocht en vastgesteld dat communicatie één van de belangrijkste oorzaken is voor het maken van fouten onder afhandelingspersoneel (ECAST, 2010). In de consultaties wijst de sector met name op problemen met communicatie in het pushbackproces. Voor een foutloze pushback is goede communicatie essentieel. Goede communicatie is uitdagend door de lange communicatieketens. De grondverkeersleider geeft een pushbackklaring aan de vlieger, de vlieger geeft de klaring door aan de chauffeur van de pushbacktruck. In de huidige situatie worden instructies relatief vaak niet goed opgevolgd door de pushbackchauffeur (ongeveer 100 keer per jaar⁶⁷). Het komt voor dat de pushback niet wordt uitgevoerd volgens de geldende standaard voor de VOP. Dit komt met name vaak voor na een wijziging van de standaard, bijvoorbeeld door toedoen van veranderingen aan de infrastructuur. Het komt ook voor dat een niet-standaard instructie (bijvoorbeeld 'abeam') niet goed wordt uitgevoerd. Dit kan komen omdat de vlieger de instructie niet goed doorgeeft, of omdat de pushbackchauffeur de instructies niet goed begrijpt. Het is aannemelijk dat bij drukte het aantal niet-standaard klaringen toeneemt. Pushbacks zonder klaring komen nog maar sporadisch voor sinds de grondverkeersleider zowel de start-up- als de pushbackklaring geeft.

⁶⁷ Bron: consultatie met sectorpartijen

Een foutieve pushback kan in conflict komen met een taxiënd of gesleept vliegtuig of met een grondvoertuig. Bij een groei van het aantal bewegingen neemt de kans op een conflict toe. Dit effect moet beheerst worden. Voor een conflict met een gesleept vliegtuig geldt bovendien dat de sleepregie communiceert met het gesleept verkeer en moet afstemmen met de grondverkeersleider terwijl ze fysiek gescheiden zijn.

Beschikbaarheid van voldoende gekwalificeerd personeel en voldoende geschikt materieel

De groei in het aantal bewegingen op Schiphol heeft tot gevolg dat de grondafhandelaren hun capaciteit in personeel moeten vergroten. Tijdelijke contracten en hoog personeelsverloop hebben als gevolg dat werknemers minder ervaren zijn [FNV, 2015]. Een hoog personeelsverloop en een gebrek aan ervaring zijn zorgpunten ten aanzien van grondafhandeling die ook in eerdere NLR-studies zijn geïdentificeerd [NLR, 2008, NLR, 2009 en NLR, 2010d]. Ervaren personeel behouden is een uitdaging, mede door vergrijzing en gebruik van uitzendkrachten. Daarnaast zorgt het gebruik van verschillende typen materieel met verschillen in de bediening voor een extra uitdaging ten aanzien van de opleiding van personeel. Bij een verdere groei van Schiphol zal dit spanningsveld vergroot worden en dat kan resulteren in een toename in botsingen tussen grondvoertuigen en vliegtuigen. Het zou ook kunnen leiden tot een toename in ongevallen vanwege een beperkt bewustzijn van de gevaren die geassocieerd zijn met het werken op een VOP. Het borgen van de kennis van grondpersoneel is een uitdaging.

Wanneer extra VOPs worden gecreëerd op relatief grote afstand van de terminal, zoals de bufferposities U1 t/m U5 parallel aan taxibaan C, zullen de chauffeurs van grondafhandelaren langere afstanden moeten afleggen om vliegtuigen af te handelen, waardoor er voor de totale operatie minder materiele capaciteit beschikbaar is. Dit geldt ook voor de tankdiensten, catering- en schoonmaakbedrijven. Hierdoor verhoogt de werkdruk op andere VOPs bij gelijkblijvende capaciteit.

Invloed beheersmaatregelen

De hierboven beschreven knelpunten schetsen de huidige situatie. Bij een verdere groei kunnen problemen in de grondafhandeling verergeren wanneer geen adequate beheersmaatregelen worden genomen.

Het intensieve gebruik van VOPs moet beheerst worden zodat krapte niet leidt tot ongevallen. Daarnaast moet het aantal bewegingen van grondvoertuigen beperkt worden zodat er bij de VOPs minder materiaal af- en aangereden hoeft te worden. De krapte op VOPs en het aantal bewegingen van grondvoertuigen kan worden beheerst door:

- Het bewust beperken van het aantal grondafhandelaren (organisaties) dat actief is op Schiphol⁶⁸. In andere EU-landen (onder meer België, Oostenrijk, Duitsland, Spanje, Portugal en Griekenland (Burghouwt, 2013)) is het aantal grondafhandelaren op een luchthaven gelimiteerd;
- Om het aantal grondafhandelaren (organisaties) in ieder geval niet nog verder te laten groeien kan er voor worden gekozen om geen nieuwe grondafhandelaren toe te laten⁶⁹;
- Om het aantal grondbewegingen te verminderen en de drukte bij de VOPs te verkleinen kan er voor gekozen worden om VOPs toe te wijzen aan één afhandelaar om wisselingen van afhandelaar bij de VOP te beperken;
- Om het aantal grondbewegingen te beperken kan pooling van voertuigen en materieel ingevoerd worden. Dit komt nu al voor - met name bij afhandeling van vrachtverkeer - maar kan uitgebreid worden;
- Om een beter beeld te krijgen van het aantal grondbewegingen en om pooling te faciliteren kan track en trace ingevoerd worden op voertuigen en materieel om te bepalen hoeveel verkeer er is, waar het verkeer en materieel is en welke routes er gereden worden.

⁶⁸ Hiervoor is een wijziging van het open geliberaliseerd afhandelingsregime nodig. Deze wijziging kan niet doorgevoerd worden door Schiphol zelf, of door andere sectorpartijen.

⁶⁹ Idem.

Pushback-instructies worden relatief vaak niet goed opgevolgd. Bij een groei van het aantal bewegingen kan dit voor een toename van conflicten zorgen. De problemen rond de pushback hebben de aandacht van de sector. Het ground movement safety team van het Veiligheidsplatform Schiphol is naar aanleiding van pushbackvoorvallen een actieprogramma gestart. Er zijn een aantal beheersmaatregelen genomen die het aantal voorvallen met pushbacks moet doen verminderen. De genomen beheersmaatregelen zijn onder andere:

- De definities van gebruikte terminologie zijn afgestemd;
- Er zijn informatiesessies georganiseerd met afhandelaren, vliegers en controllers;
- In het AIP is opgenomen dat vliegers de pushbackklaring letterlijk doorgeven.

Om bij een groei van het aantal bewegingen er voor te zorgen dat het aantal pushback-voorvallen per beweging niet toeneemt is het wenselijk het actieprogramma van het ground movement safety team door te zetten. De inzet is om de communicatie bij de pushback te verbeteren. Voorziena beheersmaatregelen zijn:

- Verbetering van communicatie bij pushback door directe verbinding via tablet tussen de verkeersleiding en de pushbackchauffeurs. De tablet bevat informatie over de geldende pushbackstandaarden. Voor dit systeem wordt een businesscase gemaakt.
- Het samenvoegen van sleepregie met grondverkeersleiding om de kans op conflicten tussen pushback en gesleept verkeer te verkleinen.

Bij verdere groei van het aantal bewegingen op Schiphol is het wenselijk in te zetten op een verhoging van de werkkwaliteit van grondafhandelaren, onder andere ten aanzien van ervaring van personeel, om er voor te zorgen dat groei van Schiphol niet zorgt voor een groei van het aantal GROUND-ongevallen per beweging. De kwaliteit van een afhandelaar zou daarom altijd mee moeten wegen in het keuzeprocess van luchtvaartmaatschappijen voor een afhandelaar. De kwaliteit van de grondafhandelaar wordt beoordeeld - en is inzichtelijk voor luchtvaartmaatschappijen - via onafhankelijke audits, bijvoorbeeld IATA's *Safety Audit for Ground Operations* (ISAGO).

Tabel 10: Maatregelen om de veiligheidseffecten van verkeersgroei in de categorie GROUND te beheersen of weg te nemen.

Beheersmaatregelen	Status	Effectiviteit
a) Het beperken van het aantal grondafhandelaren (organisaties) dat actief is op Schiphol.	Ter beschouwing	Functioneel
b) Geen nieuwe grondafhandelaren (organaties) toelaten.	Ter beschouwing	Functioneel
c) VOPs toewijzen aan één afhandelaar.	Ter beschouwing	Functioneel
d) Pooling van voertuigen en materieel.	Bestaand+	Procedureel
e) Invoering van track en trace op voertuigen en materieel.	In overweging	Monitoren
f) Directe verbinding via tablet tussen de verkeersleiding en de pushbackchauffeurs.	In overweging	Functioneel
g) Directe coördinatie tussen grondverkeersleiding en sleepregie door deze samen te voegen op de 12de verdieping van Toren-Centrum.	In overweging	Functioneel
h) Het meewegen van de kwaliteit van een grondafhandelaar (vastgesteld in een onafhankelijke audit) in het keuzeprocess van luchtvaartmaatschappijen voor een afhandelaar.	Bestaand+	Procedureel
<i>Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn. Zie Appendix C voor uitleg gebruikte terminologie.</i>		

Conclusie (GROUND)

Geconcludeerd kan worden dat het aannemelijk is dat bij een groei van het aantal bewegingen de ongevalskans per beweging gerelateerd aan grondafhandeling toeneemt wanneer er geen additionele beheersmaatregelen genomen worden. Dit komt doordat er intensiever gebruik wordt gemaakt van VOPs, doordat meer communicatie nodig is die nu al niet altijd adequaat verloopt, doordat een groter beroep op de beschikbare capaciteit (mensen en middelen) wordt gedaan en doordat er meer voertuigbewegingen plaatsvinden. Dit alles leidt zonder beheersmaatregelen tot een verhoogde kans op fouten.

Beheersmaatregelen zijn nodig om er voor zorgen dat het aantal GROUND-ongevallen per beweging niet toeneemt bij verkeersgroei. Deze beheersmaatregelen moeten er voor zorgen dat de krapte op de VOPs en het aantal bewegingen van grondvoertuigen afneemt. Het is tevens nodig de communicatie in het pushbackproces te verbeteren en kwaliteitsaspecten een belangrijke rol te geven in de keuze van luchtvaartmaatschappijen voor een grondafhandelaar. De sector is continue bezig om risico's in het grondafhandelingsproces te beheersen. Er zijn legio reeds genomen en geplande beheersmaatregelen genoemd in de consultaties met de sector. Daarnaast zijn er mogelijke additionele beheersmaatregelen vastgesteld. Voor een aantal beheersmaatregelen geldt dat ze een impact hebben op verscheidene partijen met mogelijk tegenstrijdige belangen en dat de beslissing tot uitvoer niet door de sectorpartijen zelf genomen kan worden. De daadwerkelijke uitvoering van deze beheersmaatregelen is daarmee uitdagend.

Wanneer onvoldoende beheersmaatregelen worden genomen kan dit de vliegveiligheid beïnvloeden. Er moet dan gedacht worden aan botsingen tussen grondvoertuigen en vliegtuigen, schades als gevolg van verkeerd uitgevoerde pushbacks, foreign object damage bij de VOP en jet blast. Wanneer schades voor de start niet worden opgemerkt kan dit tot ongevallen leiden tijdens de vlucht.

4.2.3.2 Ground Collision (GCOL)

Achtergronden

De categorie 'Ground Collision' (GCOL) omvat botsingen van een vliegtuig op de grond met een ander vliegtuig (inclusief gesleepte vliegtuigen), een persoon, grondvoertuig, obstakel, gebouw et cetera. Het gaat om botsingen die plaatsvinden terwijl een vliegtuig op eigen kracht voortbeweegt op een oppervlak anders dan de baan gebruikt voor de landing of start. Botsingen die voortkomen uit een 'Runway Incursion' vallen buiten deze categorie. Alle botsingen tijdens de pushback – dus ook met taxiënd en gesleept verkeer – zijn voor de eenduidigheid behandeld onder GROUND.

In tegenstelling tot in gecontroleerd luchtruim is de flight crew op de grond zelf verantwoordelijk voor het behouden van separatie met ander verkeer⁷⁰. De luchtverkeersleiding zal aangeven naar welke startbaan of welke gate een vliegtuig zich moet begeven en welke route daarbij gevolgd moet worden. Daarnaast worden de grondbewegingen gecoördineerd en gemonitord door de grondverkeersleider van LVNL in combinatie met de sleepregie van Schiphol. Er zijn diverse causale factoren aan te wijzen die bijdragen aan de botsingskans op de grond [NLR, 2003]:

- Omgevingsfactoren: slecht zicht;
- Vliegers en bestuurders: gebrek aan *positional awareness*, niet goed naar buiten (kunnen) kijken, niet houden aan procedures, het nalaten van het nemen van actie of het nemen van ongeschikte acties en falen van crew resource management;

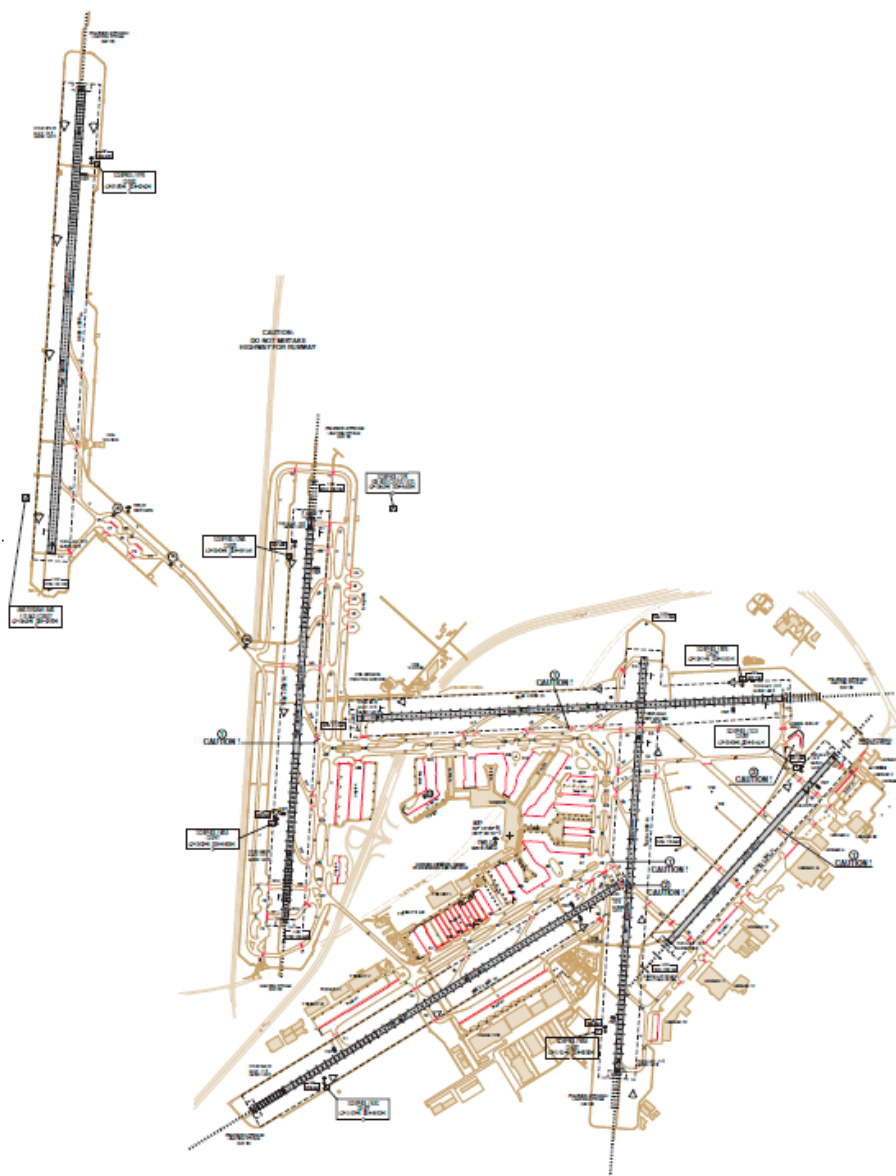
⁷⁰ De luchtverkeersleiding is verantwoordelijk voor het geven van een taxiklaring. Ook kan de luchtverkeersleiding informatie verstrekken aan vliegers om botsingen te voorkomen.

- Luchtverkeersleiding: incorrecte instructies/advies;
- Systeemfalen: falen van vliegtuigsystemen die de controleerbaarheid van het vliegtuig beïnvloeden of het falen van ATC-grondsystemen.

Invloed verkeersgroei op de GCOL-ongevalskans

Allereerst kan er worden vastgesteld dat groei geen effect heeft op de kans per beweging van botsingen met obstakels en gebouwen. De reden hiervoor is dat de groei geen effect heeft op de aanwezigheid van obstakels en gebouwen waarmee gebotst kan worden. De groei heeft wel een effect op het aantal vliegtuigen, grondvoertuigen en personen dat op de luchthaven aanwezig is, dit aantal zal groeien.

Op de grond geldt - net als in de lucht - dat de kans per beweging dat een zeker vliegtuig in conflict komt met een ander vliegtuig bij benadering recht evenredig is met de verkeersdichtheid op dat moment (zie ook MAC, sectie 4.2.2.1). Omdat er op de grond geen vaste separatieafstand geldt en er maar ten dele door de luchtverkeersleiding gesepareerd wordt, geldt het voor zowel longitudinale conflicten (twee vliegtuigen taxiën achter elkaar) en transversale conflicten (twee vliegtuigen bewegen zich op kruisende taxibanen).

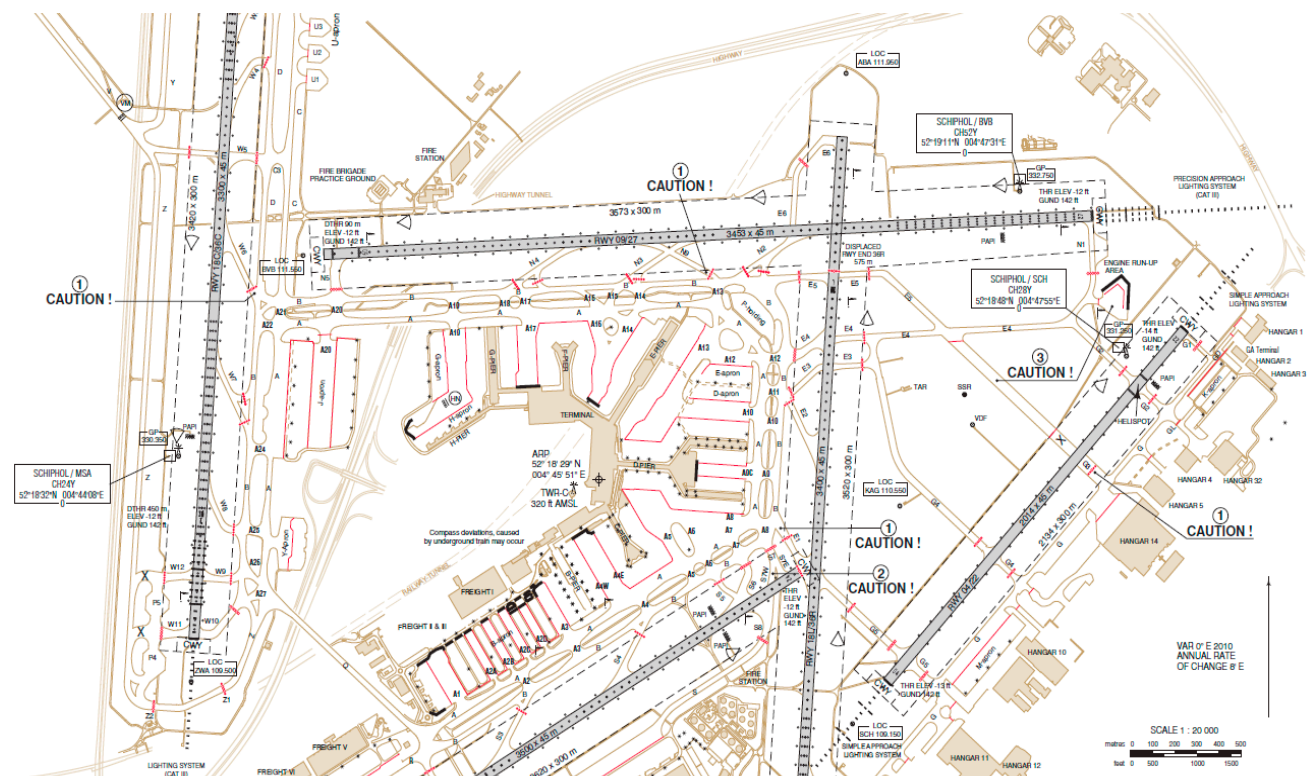


Figuur 33: (Taxi)banenstelsel Schiphol.

Figuur 33 en Figuur 34 geven overzichten van het banenstelsel inclusief taxibanen op Schiphol. Het vliegverkeer van en naar start- en landingsbanen is goeddeels gescheiden, op de taxibaan Quebec na. Er zijn echter plannen om ook hier het verkeer te scheiden. Botsingen tussen vliegtuigen zullen dus met name het gevolg zijn van longitudinale conflicten op dezelfde taxibaan of transversale conflicten bij het kruisen van taxibanen. Daarnaast zijn er botsingen mogelijk als gevolg van een conflict tussen een vliegtuig en een grondvoertuig.

De in de introductie genoemde factoren kunnen fouten veroorzaken. Aannemende dat de kans van optreden van deze factoren niet met verkeersgroei toeneemt, kan gesteld worden dat bij een fout de kans per beweging op een conflict met een ander vliegtuig (of grondvoertuig) lineair toeneemt met de groei. Daarnaast kan de groei van verkeer effect hebben op de werklast van de vlieger, bestuurder van het grondvoertuig of de verkeersleider wat mogelijk de kans op fouten vergroot.

De luchtverkeersleiding heeft een belangrijke rol in het voorkomen van botsingen op de grond. Bij een groei van het aantal bewegingen zal de luchtverkeersleiding de veiligheid in principe handhaven door in te leveren op andere parameters (milieu en efficiency). Toch kan de drukte op de grond de veiligheid beïnvloeden. De drukte zorgt onder andere voor een hoge bezetting van de radiotelefoniefrequentie. De frequentiebezetting kent pieken rond de 80% (8 van 10 minuten wordt er gecommuniceerd). Mede op basis hiervan zet LVNL drie grondverkeersleiders in op Toren-Centrum. Dit heeft de hoge radiotelefoniebezetting al significant teruggebracht, maar er zijn nog altijd periodes waarin de frequentie zwaar belast wordt. Een hoge bezetting van de radiotelefoniefrequentie kan er voor zorgen dat de verkeersleider of vlieger een bericht mist. Bij twijfel over een klaring kunnen vliegers door de drukte op de frequentie besluiten geen confirmatie te vragen. LVNL heeft deze zomer de werkbelastingen gemeten bij het werken met drie grondverkeersleiders in plaats van twee. De werklast over drie grondverkeersleiders blijkt goed verdeeld te zijn en de totale werklast is beheerst voor de huidige operatie.



Figuur 34: (Taxi)banenstelsel Schiphol – detail.

De hoge bezetting van de radiotelefoniefrequentie wordt onder andere veroorzaakt door vertragingen op de grond. Vliegtuigen moeten soms na landing wachten op een remote holding area of op een taxibaan tot een VOP vrij is. Door een gebrek aan VOPs komt het vaker voor dat er gewacht moet worden en worden wachttijden langer. De gemiddelde wachttijd na landing is in 2017 ongeveer 40% toegenomen op Schiphol ten opzichte van 2016 (bron: LVNL). Vliegers communiceren meer en langer tijdens het wachten om zeker te stellen dat de luchtverkeersleiding hun belang in de gaten houdt.

Een groei van het aantal bewegingen leidt tot meer sleepbewegingen doordat de druk op de VOPs hoog is. Vliegtuigen moeten van gates weggesleept worden als ze langer dan 3 uur blijven staan. Daarnaast zullen er meer vliegtuigen van en naar Schiphol-Oost gesleept worden voor onderhoud en parkeren. Dit levert meerdere baankruisingen op (mogelijk met actieve banen). Deze sleepbewegingen zullen lastiger in te passen zijn, omdat er minder dalperiodes zijn.

De coördinatie van sleepverkeer in de huidige operatie via grondverkeersleider en sleepregie is ook een knelpunt. Er is een kans op misverstanden door de fysieke splitsing (op twee verschillende verdiepingen van Toren-Centrum) en noodzaak tot monitoren van verschillende communicatiekanalen (sleepregie heeft moeite om de grondfrequentie goed te monitoren naast hun andere taken). De sleepregie kan vanaf hun werkpositie niet de gehele luchthaven overzien, maar heeft wel beschikking over camerabeelden.

Bij een groei van het aantal bewegingen gaat er meer gebruik worden gemaakt van remote afhandeling (niet bij een pier). Dit heeft een tweeledig effect. Enerzijds zullen er meer bewegingen zijn van grondvoertuigen naar remote afhandelingplaatsen. Om sommige remote afhandelingplaatsen te bereiken moeten taxibanen gekruist worden. Anderzijds zullen er minder sleepbewegingen zijn (vliegtuigen op remote afhandelingplekken hoeven niet weggesleept te worden na 3 uur). Het is in het kader van deze analyse niet eenduidig vast te stellen wat per saldo het effect is op veiligheid.

Invloed beheersmaatregelen

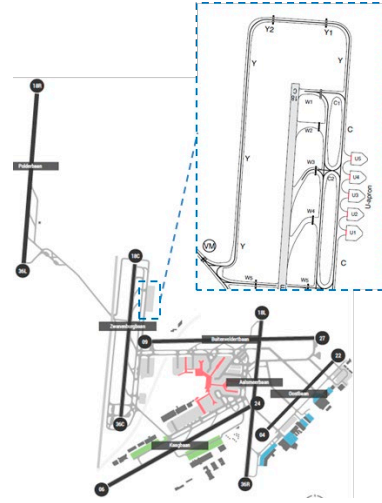
Om er voor te zorgen dat het aantal GCOL-ongevallen per beweging niet toeneemt bij een groei van het aantal bewegingen moet er een blijvende oplossing zijn voor de hoge bezetting van de radiotelefoniefrequentie(s). LVNL heeft als uitgangspunt de afhandeling van verkeer meer te standaardiseren. Dit betekent onder andere dat er over de gehele dagoperatie structureel drie grondverkeersleiders in Toren-Centrum nodig zijn om de bezetting van de frequentie en de belasting van de verkeersleiders op een acceptabel niveau te houden en verkeersgroei te accommoderen.

De geplande verdubbeling van taxibaan Quebec stelt de grondverkeersleider in staat de standaard rijrichting door te voeren op het hele veld. Daarnaast kunnen de wachttijden van vliegtuigen na landing verkleind worden door een uitbreiding van het aantal VOPs. In 2017 is het besluit genomen om een extra pier (Pier A) te bouwen met 10-13 opstelplaatsen (zie Figuur 35). Deze pier is naar verwachting in 2019 gereed. Tot die tijd zal Schiphol de bewegingen (tot maximaal 500 duizend tot en met 2020) moeten afhandelen met de al aanwezige infrastructuur. Om de zomerpiek van 2017 op te vangen is onder meer besloten structureel gebruik te maken van de bufferposities U1 t/m U5, parallel aan taxibaan C, om vliegtuigen technisch af te handelen (zie Figuur 36).

LVNL gaat de 12^{de} verdieping van Toren-Centrum opnieuw inrichten. Dit biedt de mogelijkheid om de communicatie tussen sleepregie en grondverkeersleiding te verbeteren door op de 12^{de} verdieping de sleepregie met de grondverkeersleiding samen te voegen in drie zogenaamde ground clusters. In elke cluster zitten een grondverkeersleider en een assistent (inclusief sleepregie) naast elkaar.



Figuur 35: Plannen pier A.



Figuur 36: Bufferposities U1 t/m U5.

De hoeveelheid grondverkeer is afhankelijk van de positie waar de vliegtuigen afgehandeld worden. Er wordt aan gewerkt om het benodigde grondverkeer op de remote afhandelingsplekken te beperken. Als voorbeeld wordt genoemd dat sommige remote afhandelingsplekken aansluitingen krijgen op het brandstofsysteem, waardoor er geen brandstofwagens naartoe hoeven te rijden die taxibanen moeten kruisen.

Tabel 11: Maatregelen om de veiligheidseffecten van verkeersgroei in de categorie GCOL te beheersen of weg te nemen.

Beheersmaatregelen	Status	Effectiviteit
a) Het structureel inzetten gedurende de dagoperatie van drie grondverkeersleiders in Toren-Centrum.	Bestaand+	Functioneel
b) Directe coördinatie tussen grondverkeersleiding en sleepregie door deze samen te voegen op de 12de verdieping van Toren-Centrum.	In overweging	Functioneel
c) Verdubbeling van taxibaan Quebec.	Gepland	Fysiek
d) Uitbreiding van het aantal VOPs door een extra pier (Pier A) te bouwen met 10-13 opstelplaatsen.	Gepland	Fysiek
e) Structureel gebruik maken van de bufferposities U1 t/m U5, parallel aan taxibaan C, om vliegtuigen af te handelen.	Bestaand+	Fysiek
f) Het benodigde grondverkeer van en naar de remote afhandelingsplekken beperken, bijvoorbeeld door vaste aansluitingen van op het brandstofsysteem.	Bestaand+	Fysiek
<i>Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn. Zie Appendix C voor uitleg gebruikte terminologie.</i>		

Conclusie (GCOL)

Zonder beheersmaatregelen neemt de kans op een GCOL-ongeval per beweging toe met de dichtheid van het verkeer op dat moment. Hoe meer verkeer in de buurt, hoe groter de kans op een botsing. Dit effect geldt voor longitudinale conflicten tussen twee vliegtuigen die op dezelfde taxibaan in dezelfde richting taxiën en transversale conflicten bij het kruisen van taxibanen. Daarnaast geldt het voor conflicten tussen een vliegtuig en een grondvoertuig en een vliegtuig en een gesleept vliegtuig. De volgende zaken zijn nodig om het grondverkeer optimaal te accommoderen: een blijvende oplossing voor de hoge bezetting van de radiotelefoniefrequentie(s), het verder standaardiseren van de afhandeling van taxiënd verkeer, het verbeteren van de communicatie tussen sleepregie en grondverkeersleiding en het beperken van de hoeveelheid verkeer van grondvoertuigen.

Er zijn een aantal bestaande, geplande en in overweging zijnde beheersmaatregelen geïdentificeerd die er voor zorgen dat het aantal botsingen op de grond per beweging niet stijgt bij verkeersgroei. Deze maatregelen zijn: structureel drie grondverkeersleiders tijdens de gehele dagoperatie, meer vliegtuigopstelplaatsen beschikbaar maken, een verdubbeling van taxibaan Quebec, herindeling Toren-Centrum zodat sleepregie en grondverkeersleiding bij elkaar komen te zitten en het beperken van het benodigde grondverkeer op remote afhandelingsplekken.

4.2.3.3 Runway Incursion (RI)

Achtergronden

De categorie 'Runway Incursion' (RI) omvat alle gebeurtenissen op een luchthaven met betrekking tot de onjuiste aanwezigheid van een vliegtuig, voertuig of persoon in het beschermde gebied bedoeld voor landen en starten. Deze ongevals categorie is breed gedefinieerd en omvat alle gebeurtenissen waarbij een actieve baan zonder toestemming betreden wordt of waarbij onterecht toestemming wordt gegeven. Het betreft ook die gevallen waarbij geen vliegtuig betrokken is, of waar er geen gevaar was omdat de baan op dat moment niet gebruikt werd.

Bij het verder categoriseren van runway incursion-ongevallen op een grote, gecontroleerd luchthaven als Schiphol kan onderscheid gemaakt worden tussen:

- Een ongeval waarbij één of meerdere vliegtuigen betrokken zijn⁷¹;
- De betrokken vliegtuigen en voertuigen zijn wel of niet geklaard⁷²;
- Als er twee vliegtuigen betrokken zijn, gaat het om: a) twee landingen (inclusief line-up), b) twee starts (na bijvoorbeeld een afgebroken start), c) start en landing (inclusief line-up), d) Landing en kruising of e) start en kruising.

Er zijn meerdere beschermende maatregelen tegen dergelijke botsingen op Schiphol. Belangrijke bestaande elementen daarin zijn:

- Er zijn taxiwegen en rijbanen voor trekkers rondom landings- en startbanen aangelegd om baankruisingen te vermijden;
- Alle banen zijn duidelijk gemarkeerd met borden, lichten en andere signalering;
- Vliegers worden met kaarten geattendeerd op specifieke locaties met een verhoogde kans op een runway incursion ("hot spots");
- De verkeersleiders in de torens (de *runway controllers*) zorgen er met klaringen en instructies voor dat er hoogstens één vliegtuig of één voertuig tegelijkertijd op dezelfde baan is⁷³, daarbij gebruikmakend van zicht of, in geval van zogeheten Beperkt-Zicht-Omstandigheden, met behulp van strikte procedures, daarbij geholpen door een grondradarbeeld;
- Er zijn duidelijke regels voor vliegers en voertuigbestuurders voor het betreden van het beschermde gebied van een baan (bijvoorbeeld: alleen na "*cleared to land*", "*cross runway*" of "*line up runway*");
- Er is een Runway Incursion Alerting System Schiphol (RIASS) dat automatisch een runway incursion detecteert en de verkeersleiding alarmeert;
- Vliegers controleren bij vertrek, landing en het kruisen van een baan of de baan vrij is en blijft, voor zover mogelijk.

⁷¹ In het geval twee vliegtuigen bij een runway incursion verongelukkig wordt dit geteld als twee RI-ongevallen, anders zou de statistiek van de ongevalskans per beweging niet meer juist zijn. In het geval van een ongeval met één vliegtuig, is de botsing typisch met een voertuig, zoals een sleep.

⁷² Als vliegtuigen en voertuigen duidelijk geklaard zijn voor de aanwezigheid op de baan, ligt een causale factor van een eventuele botsing op de baan in het domein van de luchtverkeersleiding. Als één klaring er niet is, ligt een causale factor van een eventuele botsing op de baan in het domein van de bemanning of de bestuurders. In vele gevallen blijkt een klaring echter niet duidelijk of verkeerd begrepen te zijn.

⁷³ Hierop bestaan enkele uitzonderingen zoals dat een vliegtuig aan het begin van de baan mag oplijnen terwijl het ander toestel kruist en dat twee voertuigen tegelijkertijd over de baan rijden.

Voorvallen in de RI-categorie worden voor een gecontroleerde luchthaven doorgaans gezien vanuit het perspectief van de luchtverkeersleiding omdat zij verantwoordelijk is voor toezicht op het verkeer en het geven van toestemming tot betreden van actieve start- en landingsbanen. Dat neemt niet weg dat meerdere partijen betrokken zijn bij runway incursions en het vermijden daarvan.

Invloed verkeersgroei op de RI-ongevalskans

Om te bepalen wat de invloed is van een groei van het aantal bewegingen op de RI-ongevalskans per beweging wordt er in deze sectie eerst kort toegelicht dat falen van ATM/CNS, een aparte ongevals categorie⁷⁴, een rol speelt, dan wordt er ingegaan op het effect van verhoogde verkeersdichtheid en vervolgens worden de statistieken van de RI-voorvallen van de afgelopen jaren beschouwd.

Uit eerdere studies blijkt dat een significant deel van het RI-risico in scenario's zit waarin een vliegtuig of voertuig niet geklaard is. De invloed van groei op het falen van ATM/CNS is daarom ook hier relevant en de relevante effecten in deze context zijn:

- Er schuilt een risico in de hoge fractie van de tijd dat sommige radiotelefoniefrequenties bezet zijn, zie ook sectie 4.2.3.2. Bij meer verkeer kan het aantal gevallen toenemen dat klaringen niet goed gehoord, begrepen of gecontroleerd worden;
- Er schuilt een risico in de complexiteit van de huidige operatie en dit risico kan toenemen bij meer verkeer, zie sectie 0.

Naast het falen van ATM/CNS is de toename van de verkeersdichtheid ook relevant. In de sectie over de invloed van groei op de MAC-ongevalskans (sectie 4.2.2.1) is het effect van toenemende verkeersdichtheid uiteen gezet. Dat effect maakt dat de kans op een RI per beweging afhangt van het soort conflict⁷⁵. Bij benadering neemt die kans recht evenredig toe met de dichtheid van de stroom van de voertuigen of vliegtuigen waarmee een vliegtuig kan botsen.

Hoe dit effect doorwerkt op de RI-ongevalskans per beweging bij verkeersgroei hangt daarmee af van:

- Hoe de toename van het verkeersvolume wordt verdeeld over de tijd. Als de piekcapaciteit gelijk blijft, overeenkomstig de uitgangspunten en aannames zoals geformuleerd in sectie 0, zal de maximale kans op een RI-ongeval per beweging niet toenemen maar het aantal vliegtuigen dat wordt blootgesteld aan een hogere kans wel. Een toename van 10% aan bewegingen op Schiphol zal daardoor leiden tot een toename van de kans op een RI per beweging van minder dan 10%.
- Hoe het huidige risico op een RI-ongeval is verdeeld over de verschillende onderliggende scenario's. In eerdere studies is geschat dat het scenario waarbij een vliegtuigbemanning onbedoeld een actieve baan oprijdt de hoogste ongevals kans heeft. Dit wordt gevolgd door de scenario's van een vliegtuig dat landt zonder klaring en een vliegtuig dat een baan kruist zonder klaring [VEMER 2011b].
- Hoe de toename van het verkeersvolume wordt verdeeld over de verkeerstromen op de luchthaven. Deze verdeling hangt in eerste instantie weer af van de gebruikte baancombinaties en de daarbij horende verkeerspatronen en daarmee is de precieze afhankelijkheid moeilijk te doorgronden. In eerste instantie mag

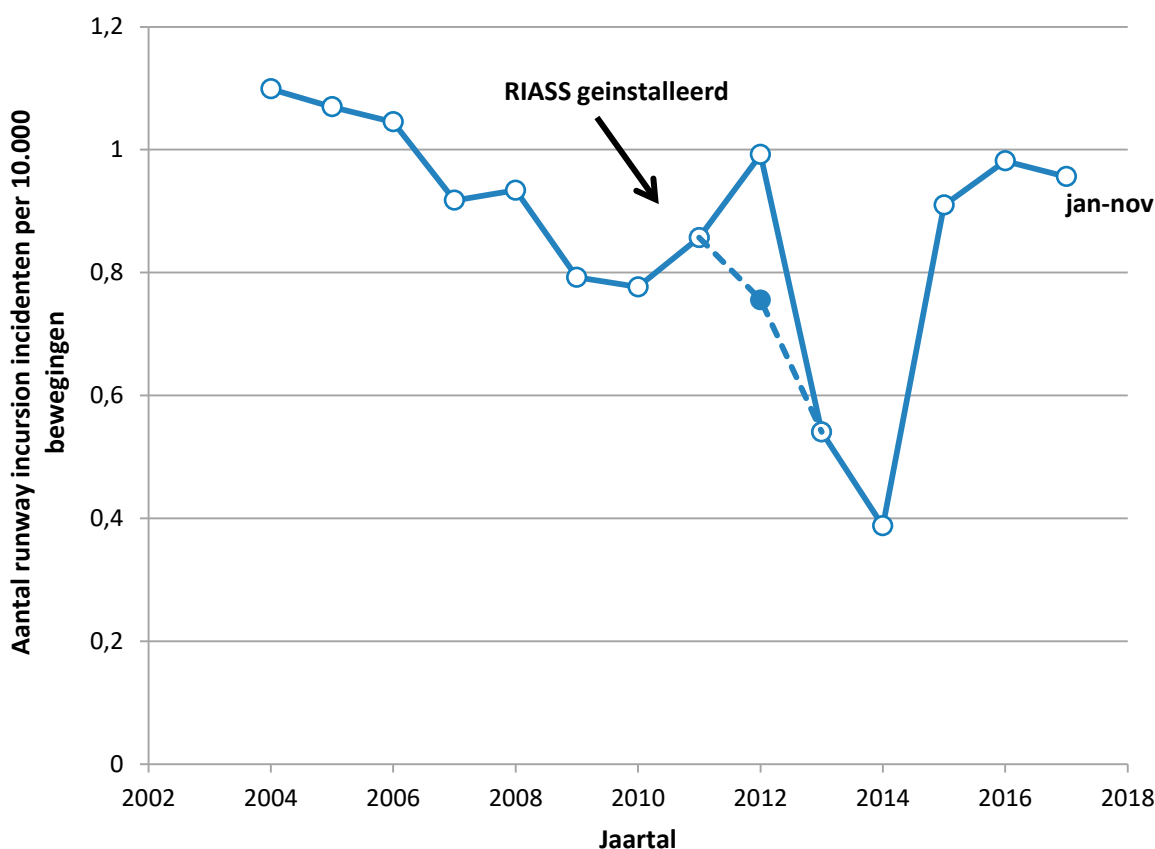
⁷⁴ Deze categorie omvat onder andere het wegvallen van veiligheidskritische functies van de technische ondersteuning van de verkeersleiding of een fout van een verkeersleider, zie sectie 0.

⁷⁵ In de analyse is onderscheid gemaakt tussen longitudinale en transversale conflicten. Daarbij wordt opgemerkt dat de kans op ingrijpen bij een longitudinaal conflict (dus bij twee landingen, twee starts of een landing en een start) anders verloopt dan in de lucht omdat de relatieve snelheden anders zijn. Bij benadering neemt de kans op een RI-ongeval recht evenredig toe met de frequentie van de aankomst van de voertuigen of vliegtuigen waarmee het potentieel kan botsen. Deze frequentie is voor een vliegtuig dat een baan kruist - met opzet of niet, met klaring of niet - het aantal landingen of starts per uur op die baan op dat moment. Voor een vliegtuig dat start of landt is die frequentie min of meer gelijk aan de dichtheid van het verkeer -vliegtuigen en voertuigen- rondom de baan op dat moment. Deze dichtheid wordt doorgaans bepaald door de baancombinatie en het verkeersaanbod op dat moment. Voor het geval van de mixed mode-operatie (waarin een baan voor zowel landen en starten wordt gebruikt) is de RI-kans per beweging recht evenredig met het aantal landingen of starts per uur op die baan op dat moment.

verwacht worden dat alle verkeersstromen, inclusief die van het sleepverkeer, bij benadering in gelijke mate toenemen bij groei.

Op grond van deze beschouwingen is de conclusie dat de kans op een RI-ongeval per beweging toeneemt bij verkeersgroei, dat de toename kleiner is dan de verkeersgroei zelf en dat de toename zo zeer afhangt van allerlei factoren dat de precieze afhankelijkheid niet bekend is. Met andere woorden: als het aantal bewegingen per jaar op Schiphol 10% groter is dan nu, dan zal de kans op een RI-ongeval per beweging ook toenemen maar met minder dan 10%.

Deze beschouwingen gelden in essentie ook voor het verleden en ook voor RI-voorvallen: er mag verwacht worden dat het aantal RI-voorvallen per 10.000 vluchten is toegenomen met het aantal bewegingen per jaar, tenzij de mitigerende maatregelen in de tussentijd de effecten van de verkeersdichtheid en ATM/CNS-falen weer teniet hebben gedaan⁷⁶. Daarom is het relevant om de statistieken te analyseren. *Figuur 37* toont de ontwikkeling van de RI-voorvalkans per beweging op Schiphol over de periode 2004-2017⁷⁷.

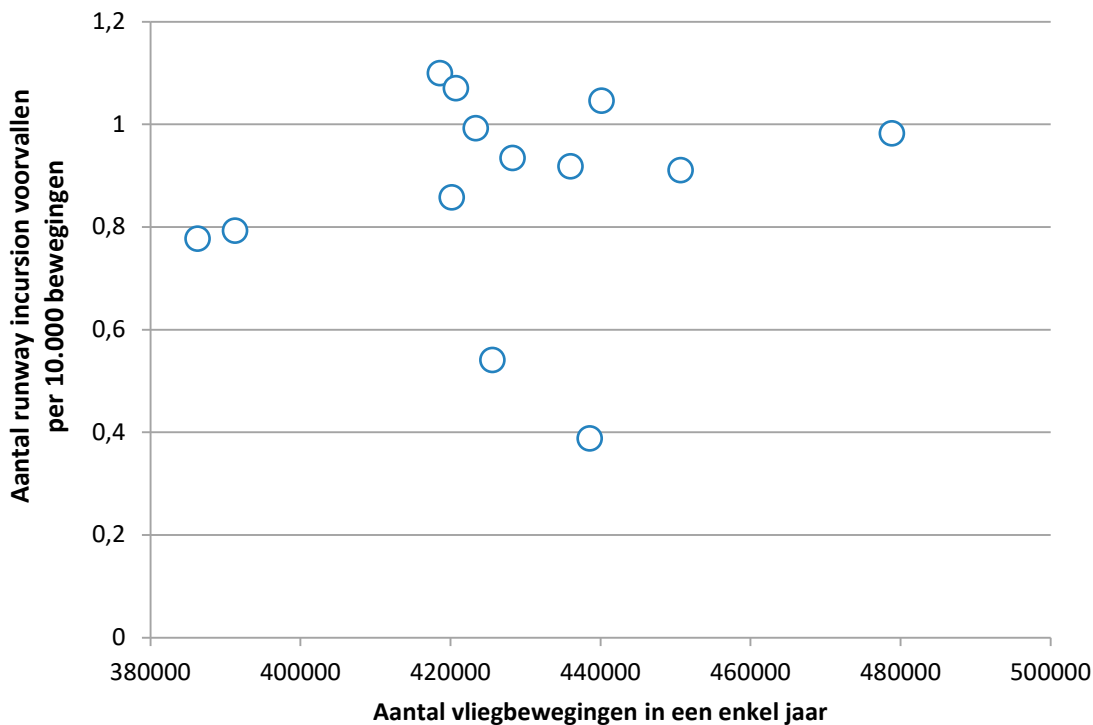


Figuur 37: Aantal runway incursion voorvallen per 10.000 bewegingen op Schiphol voor de afgelopen jaren en de eerste elf maanden van 2017 (Bron: LVNL, Schiphol, voorlopige data 2017). De introductie van RIASS in 2011 is aangegeven. Verder is een correctie voor het jaar 2012 aangegeven omdat toen op één dag tien runway incursions zijn geregistreerd door het in gebruik nemen van een procedureel niet vrijgegeven baan.

⁷⁶ Enkele concrete maatregelen uit de afgelopen jaren zijn: infrastructurele aanpassingen (taxibanen op Zwanenburgbaan, Adressable Light System, de introductie van RIASS, additionele stopbars en de verbeteringen aan stopbars en strips om aan te geven dat een baan bezet is). Daarnaast zijn er ook meer procesmatige stappen gezet, zoals publicatie van hot spots in AIP, communicatie met luchtvaartmaatschappijen naar aanleiding van incidenten, publicaties om de bewustwording te vergroten en het opzetten van het Runway Safety Team.

⁷⁷ De interpretatie van de ICAO-definitie voor een runway incursion kan per land iets verschillen. Op Schiphol ligt de drempel van het classificeren van voorvallen als een runway incursion lager dan bij de meeste andere landen. Op deze wijze verzamelt de sector meer gegevens over waardoor een runway incursion kan ontstaan. Het vergelijken van de incursion rate van Schiphol met andere luchthavens is niet altijd goed mogelijk door de strikte interpretatie van de definitie van een runway incursion.

Relevanter voor de bepaling van het effect van een groei van het verkeersvolume is de RI-voorvalkans per beweging op Schiphol uitgezet tegen het aantal bewegingen per jaar, zoals in Figuur 38. Deze statistiek laat een tendens zien waarin het aantal runway incursion voorvallen per 10.000 bewegingen toeneemt met het aantal bewegingen per jaar, in overeenstemming met de beschouwingen hierboven. Dit verband is statistisch niet significant maar was dat mogelijk wel als de preventiemaatregelen van de afgelopen jaren niet zouden zijn ingevoerd



Figuur 38: Aantal runway incursion voorvallen per 10.000 bewegingen op Schiphol voor de periode 2004 - 2016 uitgezet tegen het aantal bewegingen per jaar. De correctie voor 2012 en data van 2017 –zie vorige grafiek– zijn hierin niet meegenomen (bron: LVNL, Schiphol).

Invloed beheersmaatregelen

Het terugdringen van het aantal runway incursions krijgt in verschillende nationale en internationale initiatieven veel aandacht. In sectie 4.1 is CAST al genoemd, als breder initiatief om deze ongevalskans te verkleinen, en de specifieke werkgroepen onder leiding van Eurocontrol met de verwachting de kans op runway incursions met ongeveer 45% te verlagen. Ook binnen SESAR zijn een aantal zogeheten *Operational Improvements* ontwikkeld die de kans op runway incursions kunnen terugbrengen [SESAR, 2016]. In Nederland wordt binnen het Veiligheidsplatform Schiphol, een samenwerkingsverband van de luchthaven, de verkeersleiding en de luchtvaartmaatschappijen, aan de operationele veiligheid van Schiphol gewerkt, met specifieke aandacht voor runway incursions binnen het Runway Safety Team. Daarnaast ontwikkelen Schiphol en LVNL initiatieven binnen hun eigen domein om runway incursions te voorkomen.

De Schiphol-specifieke, relevante en potentiële beheersmaatregelen die in deze kaders, tijdens de werksessies van deze studie of onder ATM/CNS (sectie 0) zijn genoemd kunnen als volgt gecategoriseerd worden:

- Infrastructuur: runway status lights, additionele high speed exits (bijvoorbeeld op banen 22, 36C en 36R), additionele borden (bijvoorbeeld “*Taxi beyond this point to clear runway protected area*” bij afritten N3, N4 en W7), verplaatsen of additionele referentie Runway Holding Points (bij intersecties baan 06/24);
- A-SMGCS (Advanced Surface Movement and Guidance System): Follow-the-Greens-concept, airport map display in de cockpit, navigatie- en surveillancesystemen in voertuigen;

- Stabieler baangebruik door een verruiming van de vierdebaanregel;
- Minder last-minute-baanwisselingen door betere coördinatie, planning en communicatie;
- Coördinatie: directe coördinatie tussen grondverkeersleiding en sleepregie (door deze samen te voegen op de 12^{de} verdieping van Toren-Centrum), meer coördinatie tussen runway controller en assistent (waar die nu nog op aparte frequenties klaringen geven aan vliegtuigen en voertuigen);
- Grondverkeersleiding: over de gehele dagoperatie structureel drie grondverkeersleiders in Toren-Centrum en afschaffen autocontact ground (automatisch overschakelen naar de grondverkeersleider na de landing).

Het mag verwacht worden dat deze beheersmaatregelen voldoende mogelijkheden bieden om de verwachte toename van de kans op een RI-ongeval per beweging door een groei van het verkeersvolume te compenseren.

Tabel 12: Maatregelen om de veiligheidseffecten van verkeersgroei in de categorie RI te beheersen of weg te nemen.

Beheersmaatregelen	Status	Effectiviteit
a) Aanleg van additionele high speed exits (op banen 22, 36C en 36R).	In overweging	Functioneel
b) Invoering van runway status lights.	In overweging	Visueel
c) Bij afritten N3, N4 en W7 plaatsing van additionele borden (" <i>Taxi beyond this point to clear runway protected area</i> ").	In overweging	Visueel
d) Bij intersecties baan 06/24: verplaatsen of additionele referentie Runway Holding Points.	In overweging	Visueel
e) Invoering van het Follow-the-Greens-concept.	In overweging	Visueel
f) Invoering van airport map displays in de cockpit.	Ter beschouwing	Visueel
g) Invoering van navigatie- en surveillancesystemen in grondvoertuigen.	In overweging	Visueel
h) Een verruiming van de vierdebaanregel om te zorgen voor stabiel baangebruik.	In overweging	Functioneel
i) Betere coördinatie, planning en communicatie om het aantal last-minute-baanwisselingen te verminderen.	Bestaand+	Procedureel
j) Directe coördinatie tussen grondverkeersleiding en sleepregie door deze samen te voegen op de 12de verdieping van Toren-Centrum.	In overweging	Functioneel
k) Meer coördinatie tussen runway controller en assistent (waar die nu nog op aparte frequenties klaringen geven aan vliegtuigen en voertuigen).	In overweging	Procedureel
l) Het structureel inzetten gedurende de dagoperatie van drie grondverkeersleiders in Toren-Centrum.	Bestaand+	Functioneel
m) Autocontact ground afschaffen.	Ter beschouwing	Functioneel
<i>Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of additionele maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn. Zie Appendix C voor uitleg gebruikte terminologie.</i>		

Conclusie (RI)

Er kan beredeneerd worden dat groei van commercieel verkeer de kans op een RI-ongeval per beweging doet toenemen, ook al wordt dit niet hard onderbouwd door een incidentenstatistiek over de afgelopen jaren. De relevante beheersmaatregelen zijn die van ATM/CNS, een aparte ongevals categorie. Mogelijke beheersmaatregelen liggen in aanpassingen van de infrastructuur en baangebruik, A-SMGCS en betere coördinatie tussen de betrokken partijen. Naar verwachting bieden deze beheersmaatregelen voldoende mogelijkheden om een toename van de kans op een RI-ongeval per beweging bij verkeersgroei te compenseren.

4.2.3.4 Loss of Control Ground (LOC-G)

Achtergrond

De categorie 'Loss Of Control-Ground' (LOC-G) heeft betrekking op ongevallen waarbij de bemanning niet langer in staat is het vliegtuig te besturen, terwijl het toestel op de grond is. LOC-G-voorvallen kunnen veroorzaakt worden door een gladde start-, landings- of taxibaan, als gevolg van regen, ijs, sneeuw of smeltende sneeuw. Een LOC-G-ongeval kan ook veroorzaakt worden als gevolg van voorvallen uit een andere categorie, bijvoorbeeld als gevolg van een motorstoring (SCF-PP) of als gevolg van een ontwijkmanoeuvre tijdens een runway incursion (RI). LOC-G kan ook resulteren in voorvallen in een andere categorie, bijvoorbeeld runway excursions (RE).

In algemene zin zijn de kansen op LOC-G-voorvallen klein, omdat het om een combinatie van kleine kansen gaat. De kans op een motorstoring is klein, en lang niet in alle gevallen leidt dit tot een verlies van besturing. Hetzelfde geldt voor uitwijkmanoeuvres na een runway incursion; een uitwijkmanoeuvre zal lang niet in alle gevallen tot een onbestuurbare situatie leiden. Dezelfde redenering gaat ook op voor gladde banen; deze omstandigheden leiden lang niet in alle gevallen tot het verliezen van de bestuurbaarheid. Veelal vindt dit plaats onder extreme weerscondities, die inherent op Schiphol een lage kans van voorkomen hebben. Daarnaast is de ernst van een LOC-G-voorval vaak beperkt omdat er rond de banen nog de nodige ruimte bestaat waarin een LOC-G opgevangen kan worden.

Invloed verkeersgroei op de LOC-G-ongevalskans

De vraag is wat de invloed is van een groei van het aantal bewegingen op Schiphol op de kans op een LOC-G-ongeval per beweging. Deze vraag kan worden beantwoord door te kijken naar de invloed van verkeersgroei op de belangrijkste oorzaken van een LOC-G-ongeval. De kans op gladde banen op Schiphol is niet gerelateerd aan het aantal bewegingen. Ook de kans op motorfalen is niet gerelateerd aan het aantal bewegingen. Een mogelijke uitzondering wordt gevormd door LOC-G-voorvallen, die geïnitieerd worden door runway incursions (RI). Zoals in de categorie RI aangegeven wordt, is het mogelijk dat zonder verdere maatregelen de kans op een runway incursion onevenredig toeneemt met de groei. Mocht dit het geval zijn, dan zal als gevolg daarvan ook de kans op een LOC-G-ongeval toenemen, al is het slechts een zeer klein percentage van het aantal RI's. Daarmee is het effect van groei op LOC-G-ongevallen onlosmakelijk verbonden aan het effect op RI-voorvallen. Als de kans op RI-voorvallen beheerst wordt door specifieke beheersmaatregelen, dan wordt automatisch ook het effect op LOC-G-ongevallen beheerst. Tevens dient opgemerkt te worden dat LOC-G die leiden tot runway excursions, al afgedekt worden door de beschouwing van die categorie.

Invloed beheersmaatregelen

Het is mogelijk dat zonder verdere maatregelen de kans op een runway incursion onevenredig toeneemt met de groei. Mocht dit het geval zijn, dan zal als gevolg daarvan ook de kans op een LOC-G-ongeval toenemen. Zie de uitwerking van de categorie RI, sectie 4.2.3.3, voor de maatregelen die nodig zijn om het risico te beheersen.

Conclusie (LOC-G)

Het effect van een groei van het aantal bewegingen op de LOC-G-ongevalskans per beweging is conditioneel afhankelijk van het effect van verkeersgroei op de runway incursion ongevalsekans. Een aparte beschouwing met betrekking tot het effect van verkeersgroei op deze categorie is daarom niet nodig.

4.2.4 Analyse ongevals categorieën - diversen

4.2.4.1 Abrupt Manoeuvre (AMAN)

Achtergronden

De categorie 'Abrupt Manoeuvre' (AMAN) betreft voorvallen waarbij de bemanning met intentie een abrupte manoeuvre uitvoert. Een als AMAN gecategoriseerd ongevalsscenario kan bestaan uit letsel aan inzittenden door de onaangekondigde standverandering van het vliegtuig en/of door schade of storing ten gevolge van overbelasting van systemen of componenten. Abrupte manoeuvres kunnen plaatsvinden in de lucht en op de grond.

Invloed verkeersgroei op de AMAN-ongevalskans

In de lucht gaat het om abrupte manoeuvres om terrein, obstakels, weer of andere vliegtuigen te ontwijken. Aangezien verkeersgroei geen invloed heeft op de aanwezigheid van terrein, obstakels of weer, zal groei niet zorgen voor een toename van de kans per beweging van deze scenario's. Groei kan wel leiden tot een toename van de kans per beweging van het scenario dat er bij een ernstige separatieonderschrijding een ander vliegtuig moet worden ontweken doormiddel van een abrupte manoeuvre. Op de grond gaat het om abrupte manoeuvres om onverwacht verkeer te ontwijken of abrupte manoeuvres veroorzaakt door een melding van verkeersleiding (bijvoorbeeld naar aanleiding van een RIASS-waarschuwing). Verkeersgroei kan leiden tot een toename van de kans per beweging van het scenario dat er een ander vliegtuig moet worden ontweken doormiddel van een abrupte manoeuvre.

Er kan worden aangenomen dat het percentage AMAN-voorvallen per separatieonderschrijding gelijk blijft bij verkeersgroei. Hetzelfde geldt voor het percentage AMAN-voorvallen per conflict met ander verkeer op de grond. Met andere woorden: als het aantal ernstige separatieonderschrijdingen of het aantal conflicten op de grond toenemen dan zal het aantal AMAN-voorvallen evenredig toenemen. En, indien het aantal voorvallen per beweging gelijk blijft dan zal het aantal AMAN-voorvallen per beweging ook gelijk blijven. De AMAN-kans volgt daarmee de kansontwikkeling per beweging van de MAC-, RI-, en GCOL-scenario's. Voor de AMAN-kans is er om die reden geen nadere beschouwing gedaan

Invloed beheersmaatregelen (AMAN)

Zie MAC, RI en GCOL

Conclusie (AMAN)

De AMAN-kans volgt de kansontwikkeling per beweging van de MAC-, RI-, en GCOL-scenario's.

4.2.4.2 Aerodrome (ADRM)

Achtergrond

De categorie 'Aerodrome' (ADRM) heeft betrekking op ongevallen waarbij luchthavenontwerp, -diensten en -functies een rol spelen. Het zijn gebeurtenissen waarbij bepaalde tekortkomingen een rol spelen, bijvoorbeeld op het gebied van taxibanen, opstelplaatsen, obstakels, hulpdiensten (brandweer/reddingsdiensten), verlichting/markering, procedures en dienstverlening in het algemeen. Daarnaast vallen onder de categorie ADRM ook gebeurtenissen veroorzaakt door zwerfvuil (*foreign objects*): losse materialen, brokstukken of fragmenten op het luchthaventerrein. Onder *Foreign Object Damage* (FOD) wordt de schade verstaan, die door het zwerfvuil toegebracht kan worden aan een luchtvoertuig. De schade kan effect hebben op de vliegtuigprestaties en vliegveiligheid.

Invloed verkeersgroei op de ADRM-ongevalskans

In 2014 is Schiphol gecertificeerd volgens de nieuwste Europese regelgeving (Verordening (EU) No 139/2014). Daarbij is aangetoond dat Schiphol aan alle daartoe gestelde eisen voldoet. Het is dus niet aannemelijk dat Schiphol bepaalde tekortkomingen heeft die, door een beperkte groei van het aantal bewegingen, zouden kunnen leiden tot een afname van de veiligheid. Dat betekent niet dat groei geen effect zou kunnen hebben op bijvoorbeeld de veiligheid van grondafhandeling en de daarbij horende infrastructuur. Dit wordt echter geadresseerd in de categorie GROUND. Onder de categorie ADRM wordt hier uitsluitend geconcludeerd dat er geen bepaalde tekortkomingen zijn ten aanzien van de vigerende voorschriften, waardoor de veiligheid zou kunnen afnemen als gevolg van een groei van het aantal bewegingen. Voor het onderwerp *Foreign Object Damage* is deze conclusie echter niet op voorhand te trekken. Bij intensiever baangebruik is het denkbaar, dat zonder verdere maatregelen, de kans op FOD toeneemt. Er zijn immers meer vliegtuigen die FOD kunnen veroorzaken (bijvoorbeeld het verliezen van een onderdeel) en er zijn meer vliegtuigen die aan FOD blootgesteld kunnen worden. Om deze reden wordt het onderwerp FOD hier nader geanalyseerd.

In 2010 heeft IATA, op basis van hun *Safety Trend Evaluation, Analysis & Data Exchange System* (Steades⁷⁸) een uitgebreid onderzoek gedaan naar de risico's van FOD. Hierbij zijn 817 voorvallen met betrekking tot FOD nader geanalyseerd. De IATA-analyse geeft aan dat 2% van de FOD-voorvallen als hoog risico en 19% als gemiddeld risico worden gekwalificeerd. Dit betekent dat het FOD-risico niet als onbetekenend kan worden gezien. Het grootste risico doet zich voor tijdens de start, wanneer zich op de baan een vreemd voorwerp bevindt. De vraag is wat de invloed is van verkeersgroei op Schiphol op de kans van een ADRM-ongeval gerelateerd aan FOD. Deze vraag kan worden beantwoord door te kijken naar de invloed van de groei op de belangrijkste oorzaken.

De belangrijke oorzakelijke factoren van FOD-voorvallen liggen bij het ongemerkt achterblijven van zwerfvuil in het operationele gebied van een luchthaven. Grofweg kan dit gebeuren door:

- Onachtzaamheid/slordigheid van het grondpersoneel: het laten slingeren van gereedschappen, rommel, wielblokken, schroeven, pinnen e.d.;
- Onderhoudstoestand van opstelplaatsen, taxi- en startbanen: door jet blast kunnen brokstukken, stenen of vegetatie losgeblazen worden en in het operationele gebied terechtkomen;
- Onderdelen kunnen van vliegtuigen losraken en op taxi- of startbanen terechtkomen: dit kunnen metalen onderdelen zijn, maar ook rubberdelen van banden.

Het eerste punt betreft vooral training van grondpersoneel, en het regelmatig houden van campagnes om op het risico van FOD te wijzen. Luchthavens kunnen hier een pro-actieve rol in spelen. Het staat echter los van de hoeveelheid verkeer, en dus ook van de eventuele groei van het verkeer op een luchthaven. Het tweede punt heeft te maken met de staat van onderhoud van de luchthaven. Wellicht dat meer bewegingen zouden kunnen bijdragen aan grotere slijtage van luchthavenoppervlakken. Bij grotere slijtage, zou de kans op een FOD-voorval dus kunnen toenemen. Dit zou kunnen leiden tot de noodzaak tot kleinere onderhoudsintervallen, of meer frequente inspecties van de baantoestand. Het derde punt zou bij een intensiever baangebruik tot een toename van het FOD-risico kunnen leiden.

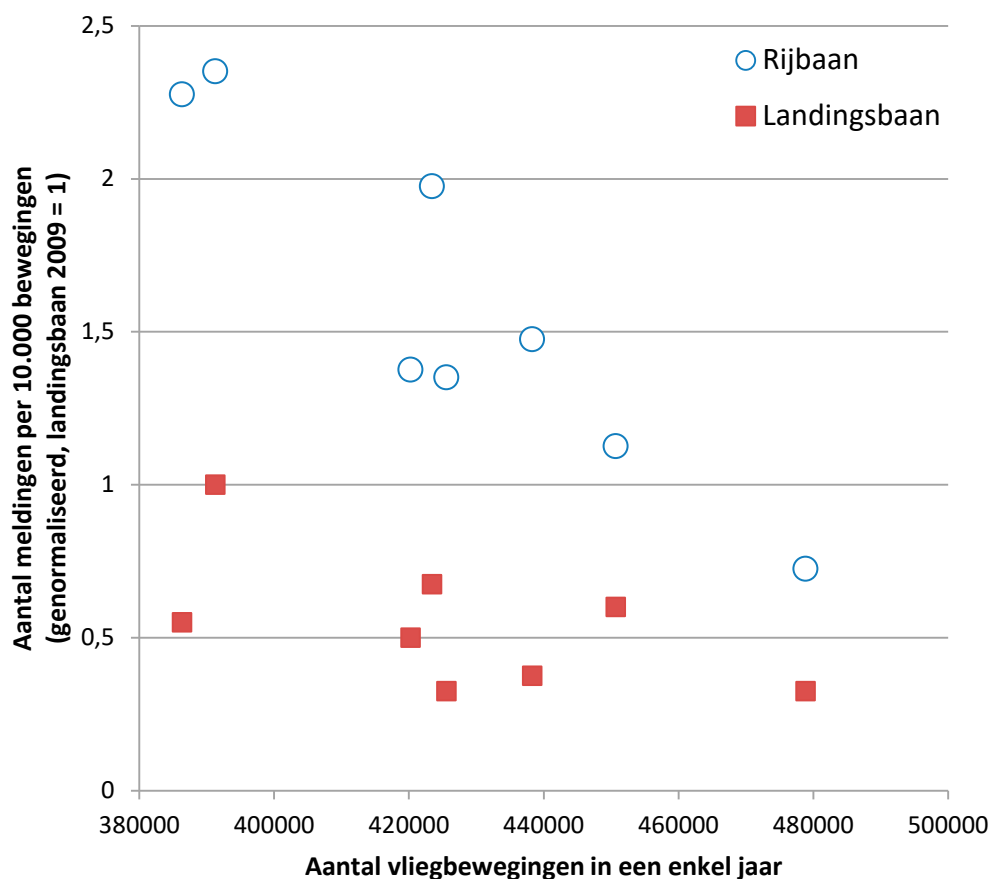
Op Schiphol worden baaninspecties vrijwel altijd uitgevoerd door de vogelwacht. Naast de vogelsituatie wordt gekeken naar de staat van de verharding, de omliggende onverharde delen van de baan, de verlichting en de mogelijke aanwezigheid van zwerfvuil dat een risico kan vormen voor een veilige start- en/of landingsoperatie. Voorafgaande aan een aankomst- of vertrekpiek worden de hoofdbanen geïnspecteerd. Daarnaast, wanneer een baan langer dan 20 minuten niet in gebruik is, wordt er voor nieuw gebruik gecontroleerd op FOD. Voor banen die continu

⁷⁸ STEADES data omvatten Air Safety Reports van 120 luchtvaartmaatschappijen, die per kwartaal bij IATA worden aangeleverd.

in gebruik zijn geldt een tijdschema waarbij deze banen vier keer per dag worden gecontroleerd. Deze inspectiefrequentie is daarmee in overeenstemming met de internationale aanbevelingen, zoals vastgelegd door ICAO⁷⁹. Daarnaast voert Schiphol een actief beleid om zwerfvuil zoveel mogelijk te beperken. Een voorbeeld is het gebruik van FOD-hekjes. Deze hekjes vangen veel windvuil (rommel dat door wind over het luchthaventerrein wordt geblazen) op.

Invloed beheersmaatregelen

Historische gegevens laten zien dat het aantal meldingen van zwerfvuil op taxibanen en landingsbanen de laatste jaren is afgenomen, ondanks een groei in het aantal bewegingen (Figuur 39). Uitgaande van een stabiele meldingsbereidheid kan hieruit geconcludeerd worden dat de beheersmaatregelen effectief zijn en meer dan voldoende om de effecten van groei te compenseren. Er is geen reden aan te nemen bij verdere groei de beheersmaatregelen minder effectief worden. Een aanscherping van de beheersmaatregelen is dan ook niet vereist.



Figuur 39: Aantal zwerfvuil-meldingen afgezet tegen aantal bewegingen per jaar voor de periode 2009-2016 (bron: Schiphol).

Conclusie

Het is denkbaar dat een toename van het verkeer op Schiphol de kans op FOD-gerelateerde ongevallen vergroot. Schiphol hanteert echter een effectief en actief FOD-beleid. Historische gegevens laten zien dat het aantal meldingen van zwerfvuil op taxibanen en landingsbanen de laatste jaren is afgenomen, ondanks een groei in het aantal

⁷⁹ ICAO Doc 9137, Part 8

bewegingen. Uitgaande van een stabiele meldingsbereidheid kan hieruit geconcludeerd worden dat de huidige beheersmaatregelen effectief zijn. Er is geen reden aan te nemen bij verdere groei de beheersmaatregelen minder effectief worden.

4.2.4.3 ATM/CNS (ATM)

Achtergronden

De Engelse omschrijving van de categorie 'ATM/CNS' (ATM) is "*Occurrences involving Air Traffic Management (ATM) or Communication, Navigation, Surveillance (CNS) service issues*". Uit "*service issues*" blijkt dat het gaat om gebeurtenissen waarin niet noodzakelijk een vliegtuig betrokken is, laat staan dat er een vliegtuig is verongelukt. De categorie omvat gevallen als het uitvallen van een ILS, het wegvallen van veiligheidskritische functies van de technische ondersteuning van de verkeersleiding of een fout van een verkeersleider.

Een ongeval dat alleen in de categorie ATM/CNS wordt ingedeeld, en niet ook in een andere categorie, is moeilijk voorstelbaar. Dergelijke ongevallen hebben in de periode 2006-2016 niet in Noord-Amerika of de Europese Unie plaatsgevonden. Een ATM/CNS-falen wordt daarom hier opgevat als een causale factor in een ongeval van een andere categorie, zoals in onderstaande typische voorvallen:

- Als een ernstig falen van het surveillancesysteem leidt tot een botsing met een ander vliegtuig in de lucht, is er zowel sprake van een ATM/CNS als van een MAC;
- Als een radiocommunicatiestoring leidt tot een botsing op een startbaan, is er zowel sprake van een ATM/CNS als een RI;
- Als een onjuiste klaring van een verkeersleider leidt tot een botsing van twee vliegtuigen op de grond, is er zowel sprake van een ATM/CNS als van een G-COL.

In de sectie hieronder wordt de invloed van groei op ATM/CNS-falen geanalyseerd, ter ondersteuning van de analyse van de kans op voorkomen van de overlappende ongevals categorieën.

Invloed verkeersgroei op de ATM/CNS-ongevalskans

Storingen technische systemen

Veel ATM/CNS-functies worden geleverd door technische systemen (hardware en software). De beschikbaarheid, nauwkeurigheid en integriteit daarvan zijn niet of nauwelijks gerelateerd aan een groei van het aantal bewegingen. Het zou beargumenteerd kunnen worden dat meer verkeer voor sommige functionaliteiten meer capaciteit en dus meer onderhoud vergt, en dat een onderhoudsorganisatie bij sterke groei dus onder druk komt te staan en daarmee de kwaliteit van systeemondersteuning, maar dit is een indirect effect, waar controlemechanismen voor bestaan, en dat ook niet significant zal zijn bij een beperkte verkeersgroei.

Bezetting radiotelefoniefrequenties

Radiotelefoniefrequenties voor de communicatie van vliegtuigbemanningen en de verkeersleiding hebben een beperkte capaciteit. Een aantal daarvan in gebruik bij de grond- en naderingsverkeersleiding van Schiphol zijn in pieken voor een groot deel van de tijd bezet. Een toename van het verkeersvolume in de orde van 10% zal vooral leiden tot meer of langere pieken en niet tot een significante verhoging van de maximale verkeersdichtheid op enig moment. Omdat het aantal verkeersleiders wordt gepland aan de hand van het verkeersaanbod, en frequenties dan als het ware worden gesplitst, dreigt er geen overbelasting. Dat neemt niet weg dat er een risico schuilt in de hoge fractie van de tijd dat sommige frequenties bezet zijn en dat dit risico kan toenemen bij meer verkeer.

Belasting van mensen

Enkele essentiële ATM/CNS-functies worden geleverd door mensen, in het bijzonder de ATC-diensten zoals geleverd door verkeersleiders, assistenten en supervisors. Bij een toename van de hoeveelheid verkeer zijn er twee risico's te onderscheiden: de werklast wordt op enig moment te hoog en de werkdruk over langere tijd maakt dat mensen minder goed functioneren. Deze risico's worden hieronder geanalyseerd.

De toename van de hoeveelheid verkeer leidt, zoals ook boven gesteld, vooral tot meer of langere pieken en niet tot een verhoging van de maximale verkeersdichtheid op enig moment. In de periodes van verhoogde verkeersdichtheid worden er bij een gelijke bezetting dan meer observaties, beslissingen en handelingen van de verkeersleiders assistenten en supervisors gevraagd; de werklast neemt toe. De prestatie van een operator is echter bij begrensde werklast niet erg afhankelijk van de werklast: optimale prestaties worden geleverd bij een werklast die niet heel laag is [de Waard, 1996]. De kans op fouten wordt dus pas groter als de werklast boven een grens komt. Het verkeersleidingsysteem kent daarom een dynamische aanpassing van de operationele verkeersleidersbezetting, passend bij het geplande verkeersvolume. Dit, en het gegeven dat de maximale werklast niet toeneemt, maakt dat een toename van de hoeveelheid verkeer niet zal leiden tot meer fouten als gevolg van een te hoge werklast⁸⁰. Omdat de toename van de hoeveelheid verkeer op Schiphol vooral zal leiden tot meer of langere pieken zal wellicht niet de momentane taaklast maar de werkdruk over langere tijd een risico kunnen zijn: mensen kunnen na verloop van tijd overbelast, gedemotiveerd of gefrustreerd raken, en dit kan indirect leiden tot mindere prestaties. Werk- en rusttijdenregelingen, en eventueel ondersteuning uit de organisatie, moeten waarborgen dat de verkeersleiders steeds de inspanningen kunnen leveren die nodig zijn voor het benodigde prestatieniveau.

Toename van complexiteit

Zoals in het OVV-rapport [OVV, 2017] is gesteld is de huidige verkeersleidingsoperatie op Schiphol complex en wordt deze door verkeersgroei zonder tegenmaatregelen nog complexer. Complexiteit betreft hier de verscheidenheid en de dynamiek van de verkeerssituaties in combinatie met de veelheid aan regels, procedures, werkwijzen, afspraken en uitzonderingen. Deze complexiteit schuilt dus niet alleen in de grote verkeersvolumes en de pieken en dalen in het verkeer, maar ook in regelgeving, en werkwijzen, afspraken en uitzonderingen als gevolg van commerciële druk, maatschappelijke druk en externe ontwikkelingen.

Een belangrijke factor in de complexiteit zijn de wisselingen van de baancombinatie, ruim 18 per dag in de periode van 1 november 2010 tot en met 30 juni 2016 [OVV, 2017]. Daarbij wordt opgemerkt dat de complexiteit en de risico's van een wisseling sterk afhangen van het soort wisseling⁸¹ en van de mate waarin deze van te voren is aangekondigd. Het grootste risico zit in een gebrek aan voorspelbaarheid en stabiliteit. Vliegers hebben alleen hinder van een wisseling van de vertrekbaan na de pushback of van de landingsbaan na het binnenvliegen van de TMA. Dergelijk last-minute-baanwisselingen worden al zoveel mogelijk voorkomen maar leiden soms nog tot afwijkingen en incidenten.

Bij een toename van het verkeersvolume zal de vierde baan vaker gebruikt worden. Bij een groter verkeersvolume en vaker gebruik van de vierde baan zal het aantal baanwisselingen per dag naar verwachting iets afnemen. Dit komt omdat pieken in elkaar gaan overlopen wanneer het verkeersaanbod groeit, met name in de middag. In het zomerseizoen van 2017, met meer verkeer en meer overlopende pieken dan in de jaren daarvoor, was het aantal baanwisselingen per dag 2 a 3 minder dan in de jaren daarvoor⁸².

⁸⁰ Daarbij kan nog worden opgemerkt dat de hoeveelheid werklast waarbij de overgang van hoge naar lage prestaties plaatsvindt, verschilt van individu tot individu, en kan zelfs voor één individu verschillen als gevolg van zaken als vermoeidheid en stress. Daarop getrainde professionals als verkeersleiders kunnen een afname van de eigen prestatie of waakzaamheid herkennen en daarop zelf handelen, juist met acht op de risico's van een te grote werklast.

⁸¹ Als voorbeeld van een complexe baancombinatiewisseling zou kunnen dienen: landingen op twee parallelle banen naar het zuiden worden vanwege plotse draaiing van de sterke wind landingen op twee parallelle banen naar het noorden. Als voorbeeld van een eenvoudige baancombinatiewisseling zou kunnen dienen: er is een kleine, aangekondigde piek in het aantal vertrekken, waardoor er tijdelijk een tweede vertrekbaan wordt gebruikt, onafhankelijk van de andere banen.

⁸² Bron: LVNL, statistiek baanwisselingen Schiphol.

De vraag of de verkeersgroei maakt dat de grenzen van de menselijke informatieverwerking bereikt worden, werd door de experts in de werksessies negatief beantwoord. Daarbij wordt opgemerkt dat de complexiteit van de verkeerssituatie op enig moment niet significant zal toenemen bij groei: verkeerspieken worden niet zozeer hoger maar gaan langer duren. Ook kan worden opgemerkt dat de systeem- en informatieondersteuning aan de verkeersleider over de jaren verbeterd is en zal blijven verbeteren (vergelijkbaar met de toename van de complexiteit van vliegtuigen en de ondersteuning in de cockpit).

Invloed beheersmaatregelen

In de sectie hierboven zijn bestaande elementen genoemd die maken dat de risico's van groei beperkt blijven: de werk- en rusttijdenregelingen, het werklastmodel⁸³, de veerkracht van mensen, de ondersteuning uit de organisatie in het geval dat mensen dreigen te worden overbelast en de verbeterende systeem- en informatieondersteuning aan verkeersleiders. Voorbeelden van toekomstige verbeteringen in deze ondersteuning zijn universele werkplekken op de toren en de vervanging van het AAA-verkeersleidingssysteem door iCAS.

Beheersmaatregelen die het risico van bezette radiotelefoniefrequenties beperken zijn: opdelen van verantwoordelijkheidsgebieden (zoals een derde grondverkeersleider op Schiphol Toren-Centrum), vaker gebruik van datalink (zoals bij Delivery) en vaker gebruik van automatische hand-over (van de ene verkeersleider naar de ander bij bepaalde posities of hoogtes).

Er blijft dan nog één belangrijk gebied over dat additionele maatregelen vergt: de complexiteit van de verkeersleidingsoperatie, zoals ook genoemd in het OVV-rapport [OVV, 2017] en in de voor deze studie georganiseerde werksessies. Mogelijke beheersmaatregelen hiervoor zijn:

- stabielere baangebruik door een verruiming van de vierdebaanregel;
- minder last-minute-baanwisselingen door betere coördinatie, planning en communicatie;
- meer voorspelbare aankomsttijden op de *Initial Approach Fixes* (IAFs) door verbeterd Arrival Management, in combinatie met verhoogde coördinatie met de dienstverleners van de omliggende luchtruimen (Extended AMAN, introductie XMAN Crosscentre arrival management in FABEC-verband, invoering van CDM op andere luchthavens)⁸⁴;
- meer voorspelbare vliegprofielen van naderingen door meer RNAV-naderingen (waardoor vaste route gevlogen worden, in plaats van routes op basis van koersinstructies van de luchtverkeersleider) en Trajectory Prediction-gereedschap⁸⁵ en, mogelijk, het ophogen van de bovengrens van de Schiphol TMA en het invoeren van een vierde IAF.

De effecten van de eerste twee genoemde maatregelen worden tot slot hieronder kwalitatief verder uiteen gezet. Zoals in sectie 0 is gemeld, beperkt de vierdebaanregel het aantal bewegingen dat op een vierde baan mag worden uitgevoerd, typisch in de overgangen tussen de aankomst- en vertrekpieken. Wanneer het gebruik van de vierde baan wordt verruimd heeft dit een aantal positieve veiligheidseffecten. Die zitten vooral in het beperken van de gevolgen

⁸³ Het werklastmodel van LVNL is in de loop van de afgelopen jaren ontwikkeld en wordt nu ook op taal toegepast (planning sectorisatie op grond van verwacht verkeer, waarbij dat verwachte verkeer in het model niet zozeer wordt vertaald in aantallen per tijdsinterval maar in taaklast en bezetting). Het model wordt wellicht verder ontwikkeld, zodat het gebruikt kan worden bij *Approach* en vaker wordt toegepast in capaciteitsbeheer.

⁸⁴ Ook aan de luchtzijde zijn er ontwikkelingen die hier op inspelen als de technische mogelijkheid van een zogeheten Controlled Time of Arrival, waarbij een vlieger een bepaalde aankomsttijd op een bepaald waypoint (IAF) invoert en de avionica daar dan op regelt. Een dergelijke ontwikkeling vergt mondiale samenwerking van meerdere partijen op langere termijn, waar Nederland aan kan bijdragen maar niet op kan aansturen.

⁸⁵ Ook hier zijn er ontwikkelingen aan de luchtzijde gaande, als het doorgeven van de wind, de Final Approach Speed of zelfs het moment waarop de touchdown verwacht wordt. Een andere ontwikkeling, verder in de toekomst, is die van interval management, waarin vliegtuigen in een stroom naderingen de onderlinge separatie regelen. Ook dergelijke ontwikkelingen vergen mondiale samenwerking van meerdere partijen op langere termijn, waar Nederland aan kan bijdragen maar niet op kan aansturen.

van verkeerde planning, moeizame communicatie of gehaaste coördinatie. Hierdoor daalt de kans op bijvoorbeeld de volgende scenario's:

- vlak voor het vliegtuig begint met taxiën, krijgt de bemanning een wisseling van de startbaan door, waarna het vergeten kan worden een nieuwe Standard Instrument Departure in te voeren, met mogelijk een MAC tot gevolg;
- een naderingsverkeersleider krijgt voor een korte periode te maken met een extra stroom verkeer, waardoor er iets mis zou kunnen gaan in de afhandeling daarvan, met mogelijk een MAC tot gevolg;
- een bemanning krijgt een wisseling van een startbaan door nadat het vliegtuig begonnen is met taxiën en dat leidt, door fouten in het taxiën, of mogelijk na een foutieve instructie van de grondverkeersleider –die de wisseling ook pas laat vernam–, tot een G-COL;
- een grondverkeersleider krijgt voor een korte periode te maken met een extra stroom verkeer, waardoor er iets mis zou kunnen gaan in de afhandeling daarvan, met mogelijk een RI tot gevolg.

Het grootste risico van wisselingen van de baancombinatie is gelegen in een gebrek aan voorspelbaarheid en stabiliteit, in het bijzonder wanneer dat leidt tot last-minute-baanwisselingen. De beslissing over de wisseling van de baancombinatie wordt genomen door de supervisor die daarbij informatie gebruikt over onder andere het verkeersaanbod, het weer en de bezetting van de luchtverkeersleidingsposities. De processen van coördinatie, planning en communicatie zijn hierbij al ingericht op het voorkomen van last-minute baanwisselingen maar kunnen met enige moeite verder worden geoptimaliseerd. Zo zouden de condities van een baancombinatiewisseling nog verder aangescherpt kunnen worden (bijvoorbeeld: vierde baan pas weer sluiten als de laatste nadering daarop nog een zekere afstand voor de IAF vliegt), zou de informatie nog verder in de keten van de betrokken partijen opgehaald kunnen worden (bijvoorbeeld: er wordt tijdig aangegeven dat een push-back langer gaat duren dan verwacht) en zou de communicatie nog fijnmaziger kunnen worden gemaakt (bijvoorbeeld: assistent-verkeersleider geeft aan dat de bemanning van een toestel aan de gate op hun verzoek al vroeg over de vertrekbaan is geïnformeerd).

Conclusie (ATM/CNS)

De categorie van ATM/CNS-falen omvat veel gebeurtenissen waarin niet noodzakelijk een vliegtuig betrokken is, laat staan dat er een vliegtuig is verongelukt. Elk mogelijk ongeval in deze categorie kan ook worden toegewezen aan een andere categorie, zoals: MAC, RI of G-COL.

Ter ondersteuning van de analyse van de genoemde categorieën is de relatie tussen een groei van het aantal bewegingen en ATM/CNS-falen nader geanalyseerd. Dan blijken er twee aandachtsgebieden te zijn: de bezetting van radiotelefoniefrequenties en de complexiteit van de operatie. Er zijn verscheidene maatregelen te nemen die terug komen in de secties over de beheersmaatregelen tegen een toename van de kans op een MAC-, RI- of G-COL-ongeval.

4.2.4.4 Birdstrikes (BIRD)

Achtergronden

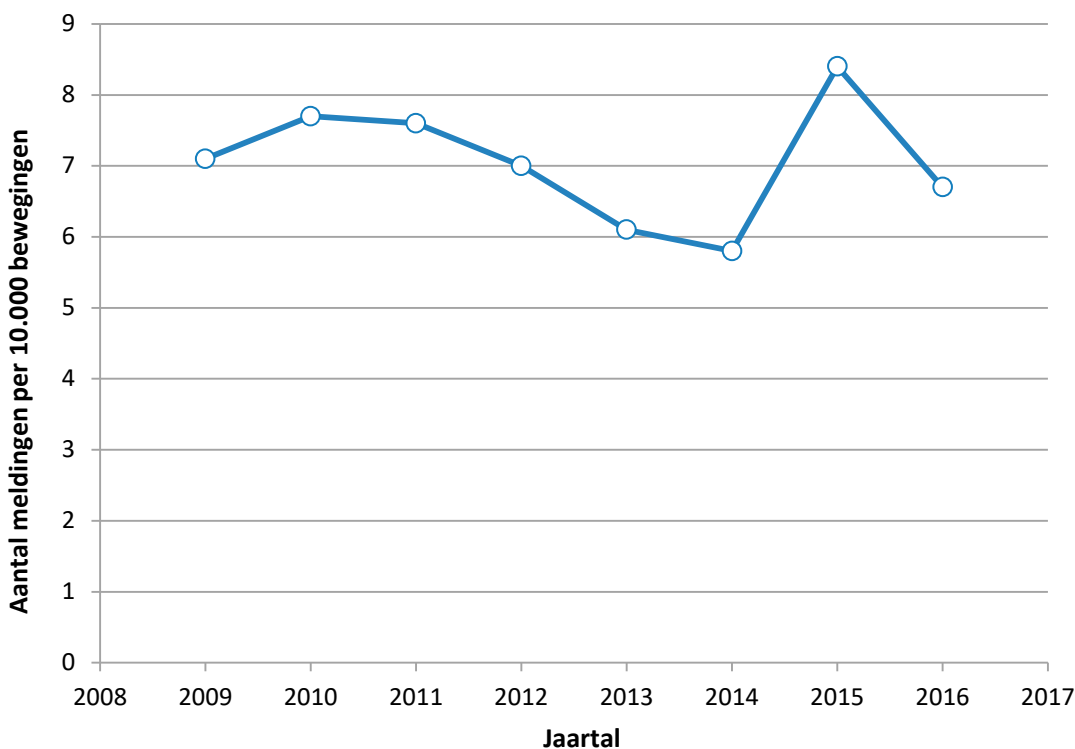
De categorie 'Birdstrikes' (BIRD) omvat voorvallen waarbij vogels tegen een vliegtuig zijn aangebotst. De meeste vogelaanvaringen met vliegtuigen vinden plaats op of in de directe nabijheid van luchthavens. De kans op een botsing tussen een vliegtuig en vogels hangt van veel factoren af. Belangrijke factoren zijn de omvang en het soort van de vogelpopulatie in de nabijheid van de luchthaven. Dit wordt beïnvloed door factoren zoals de geografische ligging, de aanwezigheid van voedsel, het weerklimaat et cetera. Daarnaast zijn de beheersmaatregelen tegen vogeloverlast van belang. In de loop der jaren zijn er op en om Schiphol vele maatregelen genomen om de kans op vogelaanvaringen te beperken. Ook zijn er voor civiele transportvliegtuigen verschillende certificatie-eisen opgesteld ten aanzien van vogelaanvaringen. Deze eisen zorgen ervoor dat aanvaringen met vogels van zeker gewicht niet direct leiden tot problemen voor het vliegtuig tijdens de vlucht.

Ondanks dit soort maatregelen is het niet te voorkomen dat er aanvaringen met vogels plaatsvinden. In het merendeel van de botsingen zijn de gevolgen voor het vliegtuig gering. Vliegtuigongevallen door vogelaanvaringen zijn daarom zeldzaam. Zelfs als er een motor zou uitvallen heeft dat geen ernstige gevolgen aangezien civiele vliegtuigen gecertificeerd zijn om veilig met een motor minder te kunnen vliegen (zowel tijdens de start als de landing). Ook grote schade aan het vliegtuig door een vogelaanvaring betekent niet meteen dat een vliegtuig onbestuurbaar wordt. Slechts in het uitzonderlijke geval dat meerdere motoren uitvallen of dat essentiële besturingssystemen onbruikbaar worden als gevolg van een vogelaanvaring, kan een vogelaanvaring tot een ongeval leiden.

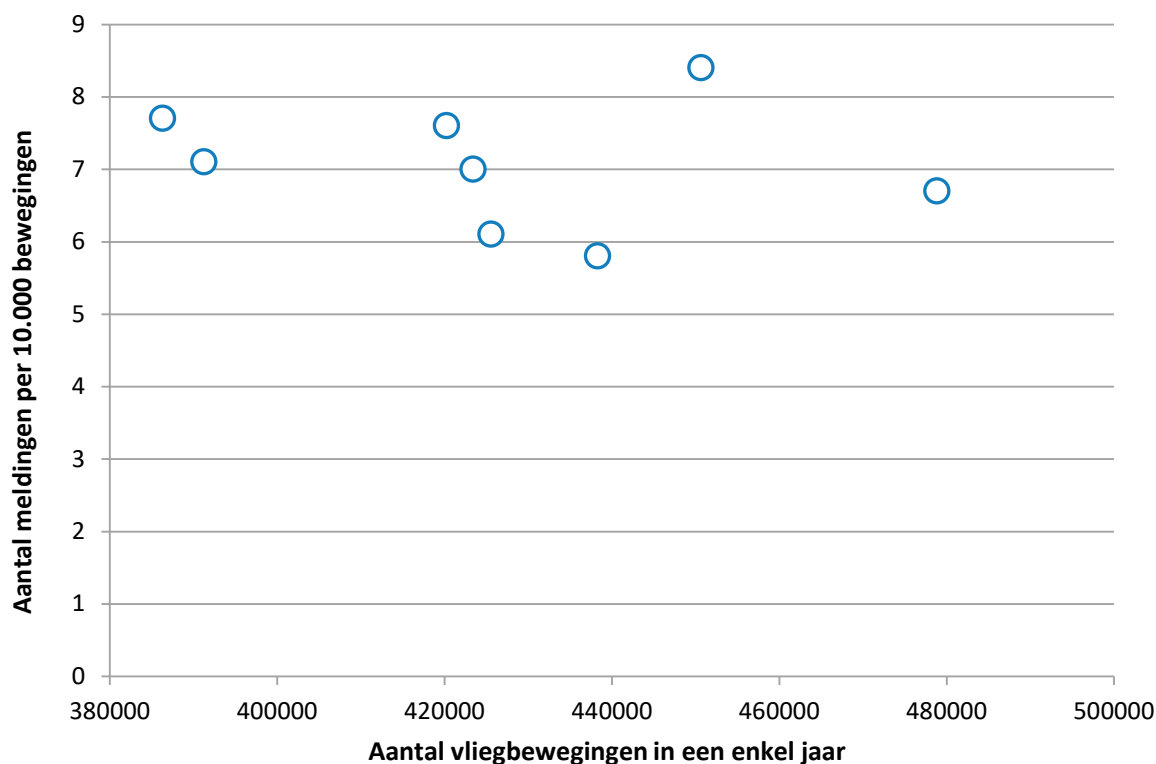
Schiphol is gelegen in een polder met veel water, grazige weiden en akkerbouwgebieden. De kust en de duinen liggen ook in de buurt. Nederland is ook een schakel in de trekroutes van vogels die noord-zuidroutes vliegen. Deze factoren zorgen ervoor dat Schiphol van relatief veel vogels bezoek krijgt. Figuur 40 toont de vogelaanvaringskansen voor Schiphol. Voor de periode 2009-2016 waren er gemiddeld 7 aanvaringen met vogels per 10.000 bewegingen. Voor deze periode zijn er geen grote trends in de data te zien. De variatie in het aantal meldingen per jaar kunnen worden veroorzaakt door onder andere toeval, verschillen in het weer en iets andere beheersmaatregelen.

Invloed verkeersgroei op de BIRD-ongevalskans

De vraag is of een beperkte toename in het aantal bewegingen op Schiphol de kans op een vogelaanvaring per beweging zou kunnen vergroten met als gevolg een toename in de kans op een ongeval door een vogelaanvaring. Figuur 41 laat het verband zien tussen het aantal jaarlijkse bewegingen op Schiphol en de kans op een vogelaanvaring voor de periode 2009-2016. Hieruit volgt geen direct verband tussen het aantal bewegingen en de kans om een vogel te raken voor de beschouwde periode. Dit is een eerste indicatie dat er wellicht geen effect is van de toename van het verkeer op de kans op een aanvaring met vogels. Echter het geeft nog geen uitsluitsel van het effect van de toekomstige groei van het verkeer op de kans op een vogelaanvaring.



Figuur 40: Aantal meldingen van vogelaanvaringen op Schiphol per 10.000 bewegingen (Bron: Schiphol).



Figuur 41: Relatie tussen het aantal vliegbewegingen en de frequentie van een vogelaanvaring op Schiphol (2009-2016).

Er bestaat een groot aantal maatregelen om het aantal vogelaanvaringen op en rond luchthavens terug te dringen. In het algemeen zijn dit maatregelen die betrekking hebben op het onaantrekkelijk maken van de omgeving, het actief verjagen van vogels en het reduceren van de vogelpopulatie. Deze maatregelen worden ook op Schiphol genomen en zullen in de toekomst ook worden toegepast. De luchthaven probeert bijvoorbeeld door middel van soorten beplanting het luchthaventerrein zo in te richten dat het geen vogels aantrekt. De Nederlandse overheid heeft met agrariërs in de omgeving overeenkomsten gesloten over het versneld onderploegen van graanresten. Hierdoor worden de akkers na de oogst minder aantrekkelijk voor vogels zodat ze op andere plekken op zoek gaan naar voedsel. De vogelwacht van Schiphol is dag en nacht paraat en verjaagt vogels van start- en landingsbanen die in gebruik zijn. Innovatieve technieken worden ook op Schiphol gebruikt, zoals lasers om vogels te verjagen en radars om vogels te detecteren. Het radardetectiesysteem kan worden gebruikt om te monitoren of bepaalde maatregelen effect hebben. Daarnaast wordt het systeem ingezet om actueel inzicht te geven in vogelvliegeroutes welke acuut risicovol zijn voor de vliegoperatie. Sinds 2008 worden er extra maatregelen genomen tegen de ganzen in de omgeving van Schiphol. De ganzen vliegen over Schiphol op verschillende hoogtes en gaan er normaal niet op de grond zitten. Hierdoor is het moeilijk om effectieve maatregelen op Schiphol zelf te nemen. Daarom is er een aantal jaren geleden een project gestart om het aantal ganzen in een bepaalde straal rond Schiphol te verkleinen. Dit heeft geresulteerd in een vermindering van de populatie van ganzen [Van de Riet et al., 2015]. Deze beheersmaatregel is heel effectief om vogelaanvaringskansen op een stabiel niveau te houden of te verminderen [Dolbeer en Franklin, 2013].

Er zijn factoren gerelateerd aan verkeersgroei die een invloed kunnen hebben op de aanvaringskansen. Deze hebben te maken met de vliegtuigen die verantwoordelijk zijn voor de groei. De absolute groei van de afgelopen twee jaar op Schiphol in bewegingen komt voornamelijk van vliegtuigen uit de klasse Boeing 737/Airbus A320 die door *low cost carriers* worden gebruikt. Historische gegevens laten zien dat grote vliegtuigen een hogere kans op een aanvaring met

vogels hebben dan kleinere vliegtuigen. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in snelheden van deze vliegtuigen en door het verschil in het frontale oppervlak. De kans om een vogel te raken wordt namelijk groter bij toenemende frontaal oppervlak van een vliegtuig en/of toenemende snelheid [Cockshutt en Gunn, 1966 en Meeking, 1998]. Tussen vliegtuigen in de klassen Boeing 737/Airbus A320 en Boeing 777/Airbus A330 zitten geen grote verschillen in snelheden tijdens de start en landing. Wel is het frontaal oppervlak van de klasse Boeing 777/Airbus A330 ongeveer twee tot twee-en-half keer groter dan voor de klasse Boeing 737/Airbus A320. Dit komt overeen met de verschillen in vogelaanvaringskansen die zijn waargenomen tussen deze typen vliegtuigen [Rosenthal, 2005; Meeking, 1998 en Sladen-Pilon, 2008]. Uit de toekomstscenario's voor Schiphol volgt dat een groei tot 550 duizend bewegingen ook voornamelijk vliegtuigen uit de klasse Boeing 737/Airbus A320 betreft. De verwachting is dan ook dat de kans op een vogelaanvaring niet toeneemt maar eerder zal afnemen (ook weer onder aanname van gelijkblijvende omstandigheden) door de toename van vliegtuigen met een kleiner frontaal oppervlak⁸⁶. Nieuwere versies van de Boeing 737/Airbus A320, de Boeing 737Max/Airbus A320Neo, hebben grotere motorinlaten gekregen. Daardoor neemt het totale frontaal oppervlak toe. Echter niet in die mate (ongeveer 2.5%) dat dit een merkbaar verschil gaat opleveren op de kans dat deze vliegtuigen een vogel kunnen raken. Dus wanneer de huidige versies van de Boeing 737/Airbus A320 zouden worden vervangen in de toekomst op Schiphol, dan zal er geen invloed zijn op de kans op een vogelaanvaring.

Nieuwe motoren zijn doorgaans stiller dan de typen die ze vervangen. Moderne vliegtuigen zoals de Airbus A350, de Boeing 787, de Airbus 320Neo, en de Boeing 737Max zijn voorbeelden van modellen waarop zulke motoren gebruikt worden. Deze vliegtuigen gaan in de toekomst steeds meer op Schiphol opereren. Uit een beperkt aantal studies zou blijken dat vliegtuigen met een stillere motor een grotere kans hebben op een vogelaanvaring, zie bijvoorbeeld [Kelly et al., 2001]. Dit zou kunnen komen omdat de vogels de vliegtuigen te laat opmerken door het mindere geluid dat ze produceren. Andere studies hebben dit verband echter niet kunnen vinden, zie bijvoorbeeld [Maragakis, 2009]. Het gedrag van sommige vogels wordt helemaal niet beïnvloed door het geluid dat vliegtuigen maken [Sodhi, 2002]. Uit de literatuur blijkt er dus geen duidelijke, eenduidige correlatie te zijn tussen het geluid dat een vliegtuig produceert en de kans op een vogelaanvaring. Er kan daarom voorlopig geconcludeerd worden dat een verkeersgroei door stillere vliegtuigen geen invloed heeft op de kans op een aanvaring met een vogel.

In de luchtvaart is er een duidelijke trend om vliegtuigen met drie of vier motoren te vervangen door versies met twee motoren. De verkeersgroei zal ook grotendeels komen van vliegtuigen met twee motoren. Deze trend is ook waarneembaar op Schiphol⁸⁷. Alle verkeersvliegtuigen zijn gecertificeerd om veilig te kunnen blijven vliegen bij de uitval van één motor tijdens de start of nadering. In uitzonderlijke gevallen kan er als gevolg van een botsing met vogels meer dan één motor uitvallen. Wanneer dit tijdens de start gebeurt, zal dat meestal resulteren in het afbreken van de start. Wanneer dit gebeurt net na het loskomen of tijdens de nadering zijn de gevolgen anders. Voor vliegtuigen met twee motoren is het dan niet meer mogelijk om te blijven vliegen en zal er een gedwongen landing moeten worden uitgevoerd (al dan niet op de baan). Voor vliegtuigen uitgerust met drie of vier motoren kan het nog mogelijk zijn om wel enigszins door te blijven vliegen en te klimmen⁸⁸. Tijdens de startfase kan dit moeilijk zijn - afhankelijk van de condities en het gewicht van het vliegtuig - maar tijdens de nadering, wanneer het vliegtuig een stuk lichter is, is dit beter mogelijk (hoewel het landen van het vliegtuig dan een betere optie is dan een doorstart). Aan de andere kant is het vliegtuig wel veel moeilijker te besturen wanneer twee motoren aan dezelfde kant niet meer functioneren. Een Boeing 747-400 bijvoorbeeld heeft tijdens de nadering weinig marge ten opzichte van de

⁸⁶ Bij een geringe groei zal het in de praktijk overigens moeilijk zijn om de verschillen in kansen te kunnen waarnemen. Andere factoren zoals toeval, verandering in beheersmaatregelen of weersomstandigheden kunnen dit effect namelijk maskeren.

⁸⁷ Indien het verkeer niet verder groeit op Schiphol zal het aandeel vliegtuigen met twee motoren toch toenemen door bijvoorbeeld de uitfasering van de B747-400 door KLM.

⁸⁸ Om obstakels rond de luchthaven te vermijden moet het vliegtuig voldoende kunnen klimmen zodat de hoogte tussen deze obstakels en vliegtuig voldoende ruim is.

minimale snelheid (met twee gefaalde motoren aan dezelfde kant) waarbij het vliegtuig nog te besturen valt⁸⁹ tijdens een doorstart. Dit kan ook voor de start gelden. Hoewel de directe gevolgen van een dubbele motoruitval voor een vliegtuig met twee motoren groter zijn dan voor een vliegtuig met drie of vier motoren, kan de invloed op deze laatste categorie vliegtuigen toch ook heel significant zijn. De besturing van een drie- of viermotorig vliegtuig kan in een dergelijke situatie zeer moeilijk of soms onmogelijk zijn. Het verschil in de kans op een ongeval door een dubbele motorstoring als gevolg van een botsing met vogels tussen vliegtuigen met twee, drie of vier motoren is dan naar verwachting ook zeer klein. Daarnaast geldt ook dat de kans op een dubbele motorstoring als gevolg van een vogelaanvaring op zichzelf al zeer klein is.

Invloed beheersmaatregelen

Er zijn geen duidelijke effecten geïdentificeerd die er voor zorgen dat bij een verkeersgroei de BIRD-ongevalskans per beweging toeneemt. Er zijn dan ook geen specifieke nieuwe beheersmaatregelen nodig om effecten te beheersen.

Conclusie (BIRD)

Uit de bovenstaande analyse blijkt dat een beperkte verkeersgroei op Schiphol er niet toe zal leiden dat de kans op een vogelaanvaring en daarmee de kans op een ongeval per beweging gaat toenemen.

4.2.4.5 Navigation Errors (NAV)

Achtergronden

De categorie 'navigation errors' (NAV) betreft voorvallen waarbij het incorrect navigeren van het vliegtuig, in de lucht of op de grond, een rol speelt. Dit betreft de volgende subcategorieën:

- Laterale navigatiefouten veroorzaakt door ongeschikte navigatiemiddelen op de grond of onjuiste programmering van vliegtuigsystemen;
- Luchtruimschendingen als het resultaat van onjuiste navigatie, fouten in de planning en dergelijke;
- Hoogteafwijkingen ("*level busts*");
- Taxibaan excursies (niet als gevolg van gebrek aan controle of opzet);
- Geen nauwkeurig geleiding door navigatiesignalen ("*failure to accurately track navigation signals*"), zowel lateraal als verticaal;
- Afwijking van klaringen en instructies van de luchtverkeersleiding of van gepubliceerde procedures;
- Geen naleving van de klaringen, instructies of beperkingen tijdens operaties op de grond.

Navigatiefouten op zichzelf zijn geen ongevallen. In de periode 2006-2016 is geen enkel ongeval in Noord-Amerika of de Europese Unie ingedeeld in de NAV-categorie (zie ook Figuur 11). Elk mogelijk ongeval in deze categorie kan bovendien worden toegewezen aan een andere categorie, zoals:

- Als een navigatiefout leidt tot een botsing met een ander vliegtuig in de lucht, is er zowel sprake van een NAV als een MAC;
- Als het vertrekken of landen of het kruisen van een baan zonder klaring plaats vindt, is er zowel sprake van een NAV als een RI;
- Als een standard-instrument-vertrek of een instrument-nadering door navigatiefouten leidt tot een botsing met een obstakel, is er zowel sprake van een NAV als een CFIT.
- Als een vliegtuig niet op het glijpad van de ILS blijft, is er zowel sprake van een NAV als een USOS of CFIT.

⁸⁹ Airplane Flight Manual Boeing 747-400.

Vanwege de overlap met andere ongevals categorieën wordt de categorie NAV niet verder beschouwd.

Invloed beheersmaatregelen

Zie *MAC, RI, CFIT, USOS en CFIT*

Conclusie (NAV)

De categorie van navigatiefouten betreft de voorvallen waarin het incorrect navigeren van het vliegtuig, in de lucht of op de grond, een rol speelt. Elk mogelijk ongeval in de NAV-categorie kan ook worden toegewezen aan een andere categorie. Vanwege deze overlap wordt de categorie NAV niet verder beschouwd.

4.2.4.6 System/Component Failure or Malfunction (Powerplant) (SCF-PP)

Achtergronden

De categorie 'system/component failure or malfunction (powerplant)' (SCF-PP) omvat motorfalen van individuele vliegtuigen. Deze gebeurtenissen zijn grotendeels onafhankelijk van een groei van het aantal bewegingen. Motorfalen kan echter geïnitieerd worden door *Foreign Object Damage* (FOD) of door een vogelaanvaring.

Invloed verkeersgroei op de SCF-PP-ongevalskans

Zoals beschreven in respectievelijk sectie 4.2.4.2 en sectie 4.2.4.4 blijkt uit de analyse dat de kans per beweging op FOD of een vogelaanvaring niet toeneemt door groei, mits de huidige beheersmaatregelen effectief blijven.

Invloed beheersmaatregelen

Zie *ADRM en BIRD*

Conclusie (SCF-PP)

De kans per beweging op een SCF-PP-ongeval neemt niet toe door een groei van het aantal bewegingen, mits de huidige maatregelen om de kans op FOD en vogelaanvaringen te beheersen effectief blijven.

5 Geconsolideerde resultaten

Schiphol ondergaat voortdurend veranderingen op verschillende tijdschalen. De processen op de luchthaven zijn zodanig ingericht dat deze veranderingen veilig kunnen worden verwerkt. De groei van het vliegverkeer is ook een verandering. Alle partijen onderkennen dat er risico's kunnen kleven aan verkeersgroei. Een belangrijke overkoepelende strategie om de risico's van verkeersgroei weg te nemen is om de complexiteit van de luchtverkeersleidingsoperatie niet verder te vergroten maar eerder te verkleinen. Een aantal in dit rapport genoemde beheersmaatregelen hebben mede het doel de afhandeling van het verkeer stabiel en eenvoudiger te maken.

Binnen de sector is gestart met de ontwikkeling van een integraal *safety management system* (ISMS), waarbij op strategisch en operationeel niveau met elkaar wordt samengewerkt en gezamenlijke veiligheidsdoelen worden gesteld. Het ISMS dient er toe te leiden dat mogelijke consequenties van verkeersgroei, vooral op de snijvlakken tussen de organisaties, beter en efficiënter gemanaged gaan worden. Dit geeft een extra waarborg dat de effecten van verkeersgroei beheerst kunnen worden.

In het vervolg van deze sectie worden de in hoofdstuk 4 besproken groei-effecten en beheersmaatregelen samengevat.

5.1 Groei-effecten en beheersmaatregelen

In totaal zijn er 18 ongevals categorieën geanalyseerd. Voor deze ongevalscategorieën zijn de factoren geïdentificeerd die de ongevalskans per beweging binnen de categorie verhogen. Daarna is geanalyseerd of een groei in bewegingen een negatieve invloed heeft op deze factoren. Voor factoren waarvoor geldt dat groei een negatieve invloed heeft moeten beheersmaatregelen worden getroffen. Voor andere factoren kan gelden dat een groei in bewegingen geen invloed heeft, of dat de invloed beheerst wordt door al bestaande beheersmaatregelen.

Voor vier categorieën - FUEL, TURB, ADRM en BIRD - heeft een nadere beschouwing uitgewezen dat de kans per beweging op een ongeval op Schiphol niet toeneemt met toenemende verkeersvolumes. Vijf categorieën - AMAN, LOC-G, ATM/CNS, NAV, SCF-PP - zijn beschouwd als onderdeel van andere ongevalscategorieën. Wanneer het aantal bewegingen op Schiphol na 2020 toeneemt, dan zijn voor de overige 9 categorieën maatregelen nodig om de mogelijke effecten van de verkeersgroei weg te nemen of te beheersen. Deze sectie beschouwt de factoren die beïnvloed worden door een groei van het aantal bewegingen en de maatregelen die nodig zijn om deze invloed te beheersen.

5.1.1 Veiligheid in de start- en landingsfase en in de lucht

Voor de ongevalscategorieën die relevant zijn in de start- en landingsfase en in de lucht zijn de volgende factoren relevant: onstabiele naderingen (van invloed op ARC, USOS, CFIT, LOC-I), rubberafzet op banen (RE) en de bezetting van de radiotelefoniefrequentie, complexiteit van de verkeersleidingsoperatie en de verkeersdichtheid (MAC).

Onstabiele naderingen

Onstabiele naderingen kunnen leiden tot verlies van controle over het vliegtuig of botsingen met de grond. De druk op de afhandeling van verkeer bij een groei van het aantal bewegingen zou kunnen leiden tot een toename van het aantal onstabiele naderingen per beweging. De resultaten van de analyse tonen echter aan dat het effect op onstabiele naderingen van een groei van het verkeersvolume beheerst kan worden. Reeds bestaande beheersmaatregelen hebben er voor gezorgd dat het aantal onstabiele naderingen de afgelopen jaren niet is gegroeid, uit historische gegevens komt geen verband naar voren tussen verkeersgroei en het aantal onstabiele naderingen per beweging. Bovendien is de verwachting dat de voorspelbaarheid van de verkeersafhandeling bij verkeersgroei zal toenemen. Een drukkere operatie is gebaat bij een continu proces met stabiele verkeersstromen. De verwachting is dat de naderingsverkeersleider het verkeer verder voor de baan zal ophijnen waardoor de vliegers meer tijd hebben voor de nadering. Er zullen minder verkorte aanvliegeroutes en visuele naderingen aangeboden worden. Deze ontwikkelingen zorgen ervoor dat de kans op onstabiele naderingen eerder af- dan toeneemt.

Rubberafzet op banen

Bij een toename van het aantal landingen zal de rubberafzet op banen toenemen. Het effect is dat de textuur van het baanoppervlak minder goed wordt waardoor onder natte omstandigheden de baan glad kan worden. Dit rubber moet dan ook regelmatig worden verwijderd. Het verwijderen van rubber van de baan vindt plaats met speciale apparatuur. Dit gebeurt op basis van een tijdschema en van de conditie van de baan. Wanneer uit frictietesten blijkt dat de rubberafzet sneller plaatsvindt, moet eerder worden ingegrepen. Naar verwachting is deze beheersmaatregel effectief om de versnelde afzet van rubber bij toenemend verkeer te beheersen. Er wordt daarom geen effect van de verkeersgroei verwacht op de mate waarin de textuur van het baanoppervlak wordt verminderd door rubberafzetting wanneer rubberafzet adequaat wordt verwijderd.

Bezetting radiotelefoniefrequentie, complexiteit en verkeersdichtheid

De kans per beweging op een MAC-ongeval neemt toe bij groei van het verkeersvolume wanneer er geen beheersmaatregelen genomen worden. Voor commercieel verkeer wordt beredeneerd dat de kans per beweging op een MAC-ongeval kan toenemen door een hogere bezetting van de radiotelefoniefrequenties, door grotere complexiteit van de operatie en door een hogere verkeersdichtheid. Hoe groot de toename is kan niet precies worden afgeleid uit beschikbare incidentenstatistiek. Om de toename te compenseren zijn beheersmaatregelen nodig.

Een aantal radiotelefoniefrequenties zijn bij de grond- en naderingsverkeersleiding van Schiphol in de pieken in de huidige situatie al voor een groot deel van de tijd bezet. Als de verkeersdichtheid verder toeneemt dreigt overbelasting, waardoor ook veiligheidskritische communicatie tussen vliegers en verkeersleiders niet tijdig kan plaatsvinden of waardoor verkeersleiders gaan afwijken van de standaard-fraseologie. Maatregelen die het risico van bezette radiotelefoniefrequenties beperken zijn: het opdelen van verantwoordelijkheidsgebieden, vaker gebruik van datalink en vaker gebruik van automatische hand-over.

Omdat de toename van de hoeveelheid verkeer op Schiphol vooral zal leiden tot meer of langere pieken is met name de werkdruk voor verkeersleiders over een langere tijd een potentieel risico: mensen kunnen na verloop van tijd overbelast, gedemotiveerd of gefrustreerd raken, en dit kan leiden tot minder prestaties. Werk- en rusttijdenregelingen, en eventueel ondersteuning uit de organisatie, moeten waarborgen dat de verkeersleiders steeds de inspanningen kunnen leveren die nodig zijn voor het benodigde prestatieniveau. De werkdruk kan verder verlaagd worden door betere ondersteuning van verkeersleiders door universele werkplekken op de toren en de vervanging van het AAA-luchtverkeersleidingsysteem door iCAS. Ook de introductie van Electronic Flight Strips - in het kader van deze studie gezien als een autonome ontwikkeling - kan hieraan bijdragen.

De verkeersgroei, in combinatie met het voldoen aan grotere commerciële en maatschappelijke belangen, maakt dat de verkeersleidingsoperatie zonder tegenmaatregelen in het geheel complexer wordt. Toename van complexiteit kan leiden tot fouten bij de afhandeling van verkeer. Mogelijke beheersmaatregelen om de complexiteit te verkleinen zijn stabielere baangebruik door een verruiming van de vierdebaanregel en minder last-minute-baanwisselingen door betere coördinatie, planning en communicatie. Verder moet getracht worden om aankomsttijden op de *Initial Approach Fixes* en vliegprofielen van naderingen voorspelbaarder te maken.

Naar verwachting bieden de geïdentificeerde beheersmaatregelen voldoende mogelijkheden om de toename van de kans op een MAC-ongeval per beweging bij verkeersgroei te compenseren.

5.1.2 Veiligheid op de grond

Er zijn drie categorieën van ongevallen op de grond geïdentificeerd waarvoor geldt dat verkeersgroei de ongevalskans per beweging kan vergroten (GROUND, GCOL en RI). Dit is het gevolg van toenemende drukte op banen en vliegtuigopstelplaatsen (VOP) en verscheidene factoren die een rol spelen in het afhandelingsproces bij de VOP. Deze factoren moeten worden beheerst om te zorgen dat de ongevalskans per beweging niet toeneemt. De factoren die van invloed zijn op de kans op een MAC-ongeval, zijn ook van invloed op GCOL- en RI-ongevallen. Maatregelen om deze invloeden te beheersen zijn hierboven genoemd en verhogen ook de veiligheid op de grond.

Drukke op banen en vliegtuigopstelplaatsen

Het is druk op de banen en VOPs van Schiphol. Bij een verkeersgroei neemt de drukte vanzelfsprekend toe. Om ook bij een groei van het verkeersvolume botsingen op de grond te voorkomen (zowel voor GCOL en RI) is adequate verkeersleiding nodig. De drukte mag niet leiden tot een te hoge belasting van de verkeersleiders omdat dit de kans op fouten vergroot. Om vliegtuigen veilig te laten taxiëren naar de startbaan en de opstelplaatsen zijn daarom structureel drie grondverkeersleiders tijdens de gehele dagoperatie nodig. Dit levert thans een acceptabele werklast op voor de grondverkeersleiders. Met de continue inzet van drie grondverkeersleiders is verdere groei in het aantal bewegingen mogelijk, mits de groei wordt verwezenlijkt buiten de huidige piekperiodes. Daarnaast zijn er infrastructurele aanpassingen voorzien - waaronder de bouw van een extra pier, structureel gebruik van bufferposities, additionele high speed exits en additionele borden - die kunnen bijdragen aan een verkleining van het botsingsrisico op de grond. Ook zijn er technische maatregelen in overweging die hieraan kunnen bijdragen: runway status lights, follow-the-greens en luchthaven-specifieke navigatiesystemen in de cockpit en in grondvoertuigen.

Daarnaast kunnen effecten van verkeersgroei beheerst worden door het optimaliseren van het gebruik van VOPs en het beperken van het aantal bewegingen van grondvoertuigen zodat er bij de VOPs minder af- en aangereden hoeft te worden. Dit kan gerealiseerd worden door het bewust beperken of niet verder laten groeien van het aantal grondafhandelaren (organisaties) dat actief is op Schiphol. VOPs kunnen worden toegewezen aan één afhandelaar om het aantal grondbewegingen te verminderen en de drukte bij de VOP te verkleinen. Verder kunnen grondbewegingen worden geoptimaliseerd door de uitbreiding van pooling van voertuigen en materieel, en de invoering van track en trace op voertuigen en materieel.

Een groei van het verkeersvolume leidt tot meer sleepbewegingen doordat de druk op VOPs hoog is. Vliegtuigen worden van VOPs weggesleept naar bufferposities als ze er meer dan 3 uur staan. Ook worden er vliegtuigen versleept van en naar vracht- en onderhoudscentra. Door de ligging van deze centra op Schiphol-Oost moeten er start- en landingsbanen gekruist worden. Bij meer verkeer is de kans groter dat een actieve baan gekruist moet worden. In deze

huidige situatie is het aannemelijk dat een groei van het aantal sleepbewegingen een stijging van de botsingskans per beweging met zich meebrengt. Daarom zijn beheersmaatregelen noodzakelijk. De belangrijkste beheersmaatregel is het verbeteren van de coördinatie tussen gesleept verkeer en verkeer op taxibanen en start- en landingsbanen door het samenvoegen van de sleepregie en de grondverkeersleiding op de 12^{de} verdieping van Toren-Centrum.

Een groei van het aantal grondbewegingen kan voor een toename zorgen van conflicten met vliegtuigen in de pushback. Pushback-instructies worden relatief vaak niet goed opgevolgd. Een toename van het aantal pushback-voorvallen per beweging bij een groei van het aantal bewegingen kan worden voorkomen door het huidige actieprogramma van het ground movement safety team voort te zetten. De inzet moet zijn de communicatie bij de pushback te verbeteren. Voorzienne beheersmaatregelen zijn: verbetering van communicatie bij pushback door directe verbinding via tablet tussen de verkeersleiding en de pushbackchauffeurs en het samenvoegen van sleepregie met grondverkeersleiding om de kans op conflicten tussen pushback en gesleept verkeer te verkleinen.

Ook de drukte op de grond en de daardoor veroorzaakte vertragingen leiden tot een verhoogde belasting van de radiotelefoniefrequenties. Hierdoor kunnen meer fouten ontstaan in de communicatie tussen grondverkeersleiders en vliegers en fouten bij de communicatie rond de pushback. De continue inzet van drie grondverkeersleiders heeft de hoge frequentiebelasting al significant teruggebracht. Daarnaast kan een uitbreiding van het aantal VOPs helpen de vertragingen op de grond te verminderen en daarmee de frequentiebelasting te verlagen. Deze uitbreiding van VOPs is voorzien.

Factoren in het afhandelingsproces bij de VOP

Een groei van het verkeersvolume zorgt voor een groter beroep op de beschikbare capaciteit (mensen en middelen). Om er voor te zorgen dat verkeersgroei niet leidt tot een stijging van het aantal GROUND-ongevallen per beweging kan ingezet worden op een verhoging van de werkkwaliteit van grondafhandelaren, onder andere ten aanzien van ervaring van personeel. De kwaliteit van een afhandelaar zou daarom altijd mee moeten wegen in het keuzeprocess van luchtvaartmaatschappijen voor een afhandelaar. De kwaliteit van de grondafhandelaar wordt beoordeeld - en is inzichtelijk voor luchtvaartmaatschappijen - via onafhankelijke audits.

Conclusie

Er zijn verschillende factoren geïdentificeerd die de kans per beweging van een ongeval op de grond (GROUND, GCOL en RI) kunnen vergroten bij toenemend vliegverkeer. De verwachting is dat het mogelijk is de risico's weg te nemen of voldoende te beheersen met de geïdentificeerde maatregelen. Sommige van deze maatregelen zijn al genomen of zijn gepland. Omdat sommige beheersmaatregelen - met name het samenvoegen van sleepregie en grondverkeersleiding - niet voor alle actoren dezelfde uitwerking hebben, moeten voordat de maatregelen worden ingevoerd alle relevante sectorpartijen worden betrokken bij een detailanalyse. Voor GROUND geldt dat de uitvoering van een aantal beheersmaatregelen een impact heeft op verscheidene partijen met mogelijk tegenstrijdige belangen en dat de beslissing tot uitvoering niet door de sectorpartijen zelf genomen kan worden. De daadwerkelijke uitvoering van deze beheersmaatregelen is daarmee uitdagend.

5.2 Effect van verkeersgroei op de kans op een ongeval per jaar op Schiphol

De ongevalskans per beweging zal naar verwachting bij beperkte verkeersgroei niet toenemen. Dit komt enerzijds omdat voor een aantal ongevals categorieën blijkt dat er geen effect is van een beperkte verkeersgroei. Voor de andere categorieën geldt dat er effecten zijn, maar dat genomen, geplande of additioneel mogelijke beheersmaatregelen deze effecten kunnen wegnemen of beheersen. De noodzaak, tijdstip van implementatie en effectiviteit van beheersmaatregelen moeten blijvend door Schiphol-actoren worden onderzocht, hiervoor zijn gedetailleerde veiligheidsstudies nodig.

De veiligheid van het vliegverkeer wordt echter niet alleen bepaald door de maatregelen die door de Schiphol-actoren worden genomen om de effecten van verkeersgroei op Schiphol te beheersen. Wereldwijd wordt door tal van organisaties - inclusief Nederlandse - voortdurend gewerkt aan verdere verbeteringen van de veiligheid. Deze gezamenlijke inspanningen hebben over de afgelopen decennia bewezen effectief te zijn en hebben ervoor gezorgd dat de luchtvaart wereldwijd en ook in Nederland steeds veiliger wordt. Deze verbeteringen in de veiligheid hebben - naast de specifieke maatregelen die door de Schiphol-actoren worden genomen - eveneens invloed op de veiligheid op Schiphol. In dit rapport wordt deze (internationale) verbetering van de veiligheid de autonome verbetering van de veiligheid genoemd en de verwachting is dat deze ontwikkeling zich ook in de toekomst zal voortzetten. Hoe de wereldwijde autonome verbetering zich vertaalt naar de autonome verbetering van de veiligheid van het verkeer op Schiphol is niet gemakkelijk te bepalen. Op basis van de internationale veiligheidsinitiatieven en de voorziene ontwikkeling in de vlootsamenstelling kan evenwel voor Schiphol een reductie van de ongevalskans per beweging worden verwacht van gemiddeld ongeveer 3 procent per jaar.

De combinatie van in deze studie geïdentificeerde Schiphol-specifieke beheersmaatregelen en autonome verbeteringen van de veiligheid maken beperkte verkeersgroei binnen het huidige operationele concept van Schiphol mogelijk zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt. 'Binnen het huidige operationele concept' betekent: zonder verhoging van de piek uurcapaciteit en zonder aanpassing van het huidige systeem waarbij wisselingen van baancombinatie plaatsvinden (mede) aan de hand van baanpreferenties op basis van geluid.

6 Conclusies

1. In deze studie zijn de mogelijke gevolgen voor de vliegveiligheid van een beperkte groei van het aantal vliegbewegingen op Schiphol, boven 500 duizend vliegbewegingen per jaar na 2020, integraal in kaart gebracht en is onderzocht met welke maatregelen de mogelijke negatieve effecten van verkeersgroei beheerst of weggenomen kunnen worden. De studie beantwoordt de vraag of binnen het huidige operationele concept van Schiphol beperkte groei van het aantal vliegbewegingen mogelijk is zonder dat de kans op een ongeval toeneemt.
2. In de analyse is vastgesteld dat in 9 van de in totaal 36 ongevals categorieën een beperkte groei van het jaarlijkse aantal vliegbewegingen op Schiphol een negatieve invloed kan hebben op de ongevalskans per vliegbeweging.
3. In de analyse is verder vastgesteld dat er voor ieder van deze 9 ongevals categorieën concrete beheersmaatregelen genomen kunnen worden waarvan verwacht kan worden dat deze de negatieve effecten van verkeersgroei op de ongevalskans per vliegbeweging wegnemen. Een aantal van deze maatregelen zijn al door de sector genomen of voorzien. Toekomstige inzichten en ontwikkelingen kunnen leiden tot andere of aanvullende maatregelen of tot de conclusie dat bepaalde beheersmaatregelen niet nodig zijn.
4. De veiligheid van het vliegverkeer op Schiphol wordt niet alleen bepaald door de maatregelen die door de Schiphol-actoren worden genomen om de effecten van verkeersgroei op Schiphol te beheersen. Er is ook sprake van een gestage verbetering van de veiligheid van de luchtvaart in de hele wereld. Deze autonome verbetering van de veiligheid van het vliegverkeer heeft - naast de specifieke beheersmaatregelen van de Schiphol-actoren - eveneens invloed op de veiligheid op Schiphol. Deze autonome ontwikkeling reduceert de ongevalskans per vliegbeweging op Schiphol naar verwachting met gemiddeld ongeveer 3 procent per jaar.
5. De combinatie van in deze studie geïdentificeerde Schiphol-specifieke beheersmaatregelen en autonome verbeteringen van de veiligheid maken beperkte verkeersgroei binnen het huidige operationele concept van Schiphol mogelijk, zonder dat de kans op een ongeval per jaar toeneemt. 'Binnen het huidige operationele concept' betekent: zonder verhoging van de piek uurcapaciteit en zonder aanpassing van het huidige systeem waarbij wisselingen van baancombinatie plaatsvinden (mede) aan de hand van baanpreferenties op basis van geluid.
6. De uitgevoerde analyse is relatief en kwalitatief. Het geeft antwoord op de vraag of er voldoende beheersmaatregelen genomen, voorzien of mogelijk zijn om er voor te zorgen dat bij een beperkte groei van het aantal vliegbewegingen de kans op een ongeval per jaar niet toeneemt, zonder deze kans te kwantificeren. De noodzaak, tijdstip van implementatie en effectiviteit van beheersmaatregelen moeten blijvend door Schiphol-actoren worden onderzocht, hiervoor zijn gedetailleerde veiligheidsstudies nodig.
7. Het verleden wijst uit dat - zeker op wereldschaal - een groei van het aantal vliegbewegingen niet heeft geleid tot een toename van het aantal ongevallen per jaar. Dit aantal is zelfs afgenomen. Deze analyse heeft vastgesteld welke autonome veiligheidsverbetering en welke effectiviteit van beheersmaatregelen in de nabije toekomst voor Schiphol mogen worden verwacht. Een dergelijke blik in de toekomst is van nature onzeker. Daarom wordt aanbevolen om - indien zou worden gekozen voor beperkte verkeersgroei - met de veiligheidsinspanningen die specifiek op Schiphol zijn gericht in te zetten op een vermindering van de ongevalskans per vliegbeweging en niet slechts op het beheersen van de eventuele effecten van verkeersgroei.

Referenties

ACI. 2011. Position on Requirements for a performing Ground Handling Market, ACI Europe.

Ale, B., Bellamy, L., Cooke, R., Duyvis, M., Kurowicka, D., Lin, P.H., Morales, A., Spouge, J., 2009. Causal Model for Air Transport Safety - Final Report. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Luchtvaart en Maritieme zaken.

Allianz, 2015. Global Aviation Safety Study: review of 60 years of improvement in aviation safety, Allianz Global Corporate & Specialty.

AIP, 2017. Aeronautical Information Publication Amsterdam/Schiphol (EHAM) , LVNL.

Airbus, 2016. A Statistical Analysis of Commercial Aviation Accidents 1958-2016, Airbus.

ATCFM Operational Manual, 2017. Network Operations Handbook, Network Manager, Edition 21.0.

Belcastro, 2010. Aircraft Loss-of-Control Accident Analysis, NASA.

Boeing. 2015. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Worldwide Operations, 1959-2015, Boeing.

CANSO, 2011. Unstable Approaches - ATC Considerations, CANSO.

CANSO, 2017. Avoiding Unstable Approaches - Important Tips for ATCOs, CANSO.

Capacity declaration, 2017. Capacity declaration Amsterdam Airport Schiphol: summer 2017, version 1.0.

Carbaugh, D. 2006. Tail Strikes and Strong Gusty Winds—Preventive Measures, Boeing Commercial Airplanes, Flight Operations Symposium.

CAST, 2000. Russell P. en Pardee J., JSAT Loss of Control, CAST Approved Final Report, Results and Analysis.

CAST, 2010. CAST JSIT Spreadsheet.

Cockshutt, E.P. en Gunn, W.W.H., 1966. Bird Strike Probability: Strike predictions using observed bird density data, National Research Council of Canada Associate Committee on Bird Hazards to Aircraft, Field Note 30 (revised).

Craig, R. 2004. Tail Strike Briefing, Boeing Commercial Airplanes, Flight Operations Symposium.

DGAC, 2017. Unstabilised approaches, Directorate General of Civil Aviation DGAC France, Department of Safety Management.

Dolbeer, R.A. en Franklin, A.B.. 2013. Population management to reduce the risk of wildlife-aircraft collisions. In: T.L. DeVault, B.F. Blackwell, and J.L. Belant, editors. *Wildlife in Airport Environments: Preventing Animal-Aircraft Collisions through Science-Based Management*. Johns Hopkins University.

ECAST, 2010. Aircraft ground handling and human factors - A comparative study of the perceptions by ramp staff and management, NLR-CR-2010-125, A.D. Balk, J.W. Bossenbroek, NLR Amsterdam.

EU Nr. 255, 2010. Verordening van de Commissie tot vaststelling van gemeenschappelijke regels inzake de regeling van luchtverkeersstromen.

Europese Commissie, 2011. Flightpath 2050 Europe's Vision for Aviation. Report of the high level group on aviation research.

- FNV, 2015. Duikvlucht – Over de race to the bottom in de afhandeling op Schiphol, FNV.
- FSF. 1994. CFIT Checklist, Flight Safety Foundation FSF.
- FSF. 2009. ALAR Briefing Note 7.1, Stabilized Approach, Flight Safety Foundation FSF.
- FSS. 2016. Total Aviation System Risk Picture 2016, A. Balk (NLR), R. Wever (NLR), G. Greene (CAA UK), Future Sky Safety.
- Heinzerling, D. 2011. Boeing's ETOPS Quarterly Report for second quarter 2011, Boeing Commercial Airplanes Group.
- Hollnagel, E., 2008. Risk + Barrier = Safety? Safety Science (46); 221-229.
- Hove, R. ten en Wijngaard, J.B. 2008. Improved Low visibility and Ceiling Forecasts at Schiphol Airport, KDC - LVP Project team, Final report, part 1, KNMI publication 222.
- IATA, 2010. STEADES, Foreign Object Damage, International Air Transport Association IATA.
- IATA, 2011a. Flight Crew Computer Errors (FMS, EFB) Case Studies, International Air Transport Association IATA.
- IATA, 2011b. STEADES, Unstable Approach, International Air Transport Association IATA.
- IATA, 2014. Controlled Flight Into Terrain Accident Analysis Report, International Air Transport Association IATA.
- IATA, 2015. Loss of Control In-Flight Accident Analysis Report, International Air Transport Association IATA.
- IATA, 2016. Unstable approaches: Risk Mitigation Policies, Procedures and Best Practices 2nd Edition, International Air Transport Association IATA.
- ICAO, 2001. Aircraft Accident and Incident Investigation, Annex 13, International Civil Aviation Organisation.
- ICAO, 2013. Aviation Occurrence Categories, Definitions and Usage Notes, ICAO-CAST Common Taxonomy Team, October 2013 (4.6).
- Ishihara, Y. 2012. Reviewing Worldwide EGPWS Alert Statistics, 65th International Air Safety Seminar.
- Jacobsen, 2010. Aircraft Loss of Control, Causal Factors and Mitigation Challenges, NASA.
- Kelly, T. C., M. J. A. O'Callaghan, en R. Bolger, 2001. The avoidance behaviour shown by the rook (*Corvus frugilegus*) to commercial aircraft. Pages 291-299 in *Advances in vertebrate pest management II*. Filander Verlag.
- Maragakis, I. 2009. Bird population trends and their impact on Aviation safety 1999-2008, EASA Research Report.
- May, G. 1971. A Method for Predicting the Number of Near Mid-Air Collisions in a Defined Airspace, *Operational Research Quarterly*, Vol. 22, No. 3, Sept. 1971, pp. 237–251.
- Meeking, D.N. 1998. Bird-Aircraft Strike Hazards: An Overview of the Risks, Costs and Management, Transport Canada, TP 13272E.
- NLR, 2003. Review of Air Traffic Management-related accidents worldwide: 1980 - 2001, NLR-TP-2003-376, G.W.H van Es, NLR Amsterdam.
- NLR, 2005. Running out of runway: Analysis of 35 years of landing overrun accidents. NLR-TP-2005-498, Van Es, GWH, NLR Amsterdam.

- NLR, 2007. Safety of ground handling, NLR-CR-2007-961, A.D. Balk, NLR Amsterdam.
- NLR, 2008. Risico-inventarisatie Grondafhandeling Schiphol voor de Expertgroep Ground Safety van het VpS, NLR-CR-2008-169, J.W. Smeltink, A.D. Balk, A.L.C. Roelen, NLR Amsterdam.
- NLR, 2009. Risks and Regulations in Aircraft Ground Handling, NLR-CR-2009-334, Balk, A.D., Roelen, A.L.C., NLR Amsterdam.
- NLR, 2010a. A Study of Runway Excursions from a European Perspective, NLR-CR-2010-259, Van Es, G.W.H., NLR Amsterdam.
- NLR, 2010b. Rejecting a takeoff after V1...why does it (still) happen?, NLR-TP-2010-177, Van Es, G.W.H., NLR Amsterdam.
- NLR, 2010c. Risks and regulations in aircraft ground handling, NLR-CR-2009-334, A.D. Balk, A.L.C. Roelen, NLR Amsterdam.
- NLR, 2010d. Aircraft Ground Handling and Human Factors, NLR-CR-2010-125, A.D. Balk, J.W. Bossenbroek, NLR Amsterdam.
- NLR, 2011. Landing Long: Why does it happen?, NLR TP-2011-120, Van Es, G.W.H., NLR Amsterdam.
- NLR, 2015. Ontwikkeling van een Common Ground Safety Model - Inzicht in uncontrolled manoeuvres in de Schiphol manoeuvring area, NLR-CR-2015-406, A.D. Balk, B.A. van Doorn, NLR Amsterdam.
- NLR, 2017. NLR Air Safety Database.
- OVV, 2017. Veiligheid vliegverkeer Schiphol, Onderzoeksraad voor Veiligheid.
- Olson, 2010. Olson, W.A. ; Olszta, J.E. TCAS Operational Performance Assessment in the U.S. National Airspace. Full Text Sign-I Group, MIT Lincoln Lab., Lexington, MA.E.
- PANS-ATM, 2016. ICAO Document 4444, Procedures for navigation services, Air Traffic Management, 16th edition.
- Parisis, M. 2007. Avoiding Hard Landings, Airbus, 15th Performance & Operations conference.
- Rosenthal, L.J. 2005. Bird strikes, BATTELLE.
- SESAR, 2012. European ATM Master Plan, Edition 2, oktober 2012.
- SESAR, 2016. SESAR solutions catalogue, Publication office of the European Union, 1st edition.
- Sladen-Pilon, J. 2008. Bird Strikes. IATA Safety Trend Evaluation, Analysis and Data Exchange System.
- Sodhi, N.S. 2002. Competition in the air: birds versus aircraft, Published By: The American Ornithologists' Union.
- SSP, 2015. State Safety Programme 2015-2019, Editie 2.
- Vandel, R., Weener, E.F. , 2009. Head-Up Guidance System Technology — A Clear Path to Increasing Flight Safety, Flight Safety Foundation.
- Van de Riet, B. Van den Tempel, C en Visbeen, F. 2015. Ganzen in de 20-km zone rondom Schiphol: Aantalsontwikkeling in relatie tot populatiereducerende maatregelen in 2014, Landschap Noord-Holland Rapportnummer: 15-003.

VEMER, 2008. VEM Effect Report Structural 2+2 runway usage longer than 20 minutes, version 1.0.

VEMER, 2011a VEM Effect Report 'Accommodation of regular A380 flights' versie 1.0, LVNL, 2011.

VEMER, 2011b. VEM Effect Report: Runway protection (Volumes I and II), LVNL, version 2.0, 2011.

Waard, de, D. 1996. The measurement of drivers' mental workload. PhD thesis. University of Groningen.

Appendix A Het huidige operationele concept

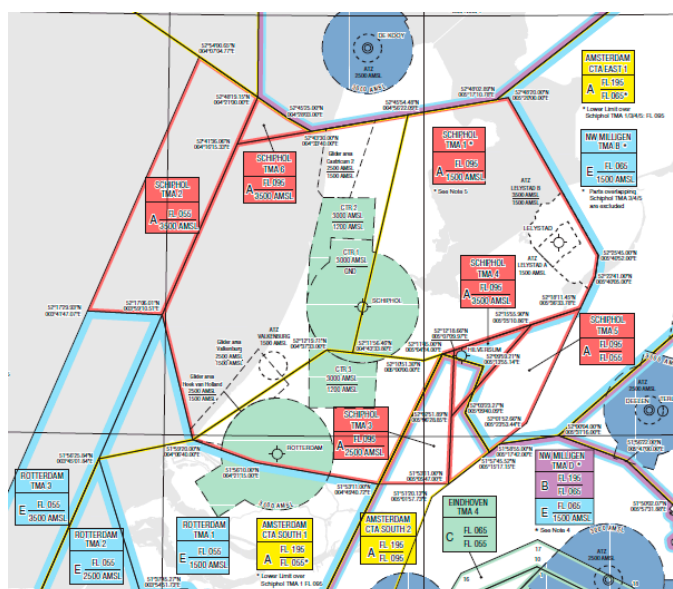
Schiphol is de grootste luchthaven van Nederland en één van de drukste internationale luchthavens in Europa. In 2017 bediende de luchthaven 68,4 miljoen passagiers, 1,75 miljoen ton luchtvracht en 497 duizend vliegbewegingen naar 326 bestemmingen. Het grootste deel van het vliegverkeer is commercieel, uitgevoerd door grote, meermotorige vliegtuigen.

Schiphol is een zogenaamde hub, wat wil zeggen dat het een centraal punt vormt in het *hub en spoke*-netwerk van luchthavens. Een kleine 40% van de passagiers op Schiphol zijn transferpassagiers. Dit hangt samen met de KLM-operatie, die met ongeveer de helft van de passagiers de belangrijkste luchtvaartmaatschappij op Schiphol is. Schiphol kent daarmee een afhandelsysteem met pieken waarbij de aankomst- en vertrektijden op elkaar afgestemd zijn om de overstapmogelijkheden te optimaliseren. Veel processen, waaronder die van de luchtverkeersleiding zijn dan ook ingericht op een hoge en robuuste capaciteit en een hoge punctualiteit.

Schiphol heeft zes banen, waarvan er drie parallel in noord-zuidrichting liggen, zie Figuur 42. Elke baan kan in beide richtingen gebruikt worden, voor zowel landen als starten, met uitzondering van de Polderbaan –niet starten naar het zuiden of landen naar het noorden– en de Aalsmeerbaan –niet starten naar het noorden of landen naar het zuiden. De banen zijn allemaal geasfalteerd, 45 meter breed –met uitzondering van de Polderbaan, die is 60 meter breed– en minimaal 3.300 meter lang –met uitzondering van de Oostbaan, die is ruim 2.000 meter lang. De taxibanen zijn voldoende ruim bemeten opdat ook een Airbus A380 (het grootste commerciële verkeersvliegtuig) kan manoeuvreren en zo aangelegd dat taxiënd verkeer in nominale omstandigheden goed kan worden afgehandeld, met enkele hot spots (zie [AIP, 2017], *aerodrome ground movement chart*).



Figuur 42: Banenstelsel Schiphol.



Figuur 43: Luchtruimdeling rond Schiphol.

De benodigde faciliteiten zijn aanwezig en voldoen aan de internationale normen. Dit geldt zowel voor de brandweer en nooddiensten, de navigatiemiddelen⁹⁰, de meteorologische diensten, de taxibanen, de baanverlichting, de

⁹⁰ Voldoende VOR/DMEs voor conventionele navigatie en zeven landingsbanen met een Instrument Landing System (ILS).

brandstofvoorzieningen, de de-icingfaciliteiten, enzovoort. De meeste passagiersvliegtuigen worden aan een gate geparkeerd en anders op een opstelplaats op een platform.

Het luchtruim in de directe nabijheid van de luchthaven is een Controlled Traffic Region (CTR) tot 3.000 voet hoogte (zie kaart, Figuur 43) van luchtruimklasse C⁹¹. Daarbuiten liggen de Schiphol TMAs (zie kaart, Figuur 43) van luchtruimklasse A⁹² tot FL95⁹³. Het luchtruim aan de oostzijde van Schiphol zal op afzienbare termijn worden aangepast om de groei van de luchthaven Lelystad te accommoderen. Dit zal op een wijze gebeuren die het Schipholverkeer in de TMA nauwelijks zal beïnvloeden.

De luchtverkeersleiding, en in het bijzonder de genoemde separatiediensten, wordt verzorgd door LVNL. Voor de verkeersleiding op de grond en in de buurt van de luchthaven wordt gebruik gemaakt van twee verkeerstorens⁹⁴, waarin verkeersleiders en assistenten het verkeer afhandelen. De verkeersleiders en de assistenten die werkzaam zijn in de verkeersleiderszaal in het LVNL-hoofdkantoor op Schiphol-Oost handelen het verkeer in de TMAs af. Zowel de toren- als de naderingsverkeersleiding wordt daarbij ondersteund door allerlei surveillance-, communicatie- en informatievoorzieningen, die voldoen aan de internationale normen. Het centrale luchtverkeersleidingssysteem, AAA, wordt op afzienbare termijn vervangen door een nieuw systeem genaamd iCAS.

De luchtverkeersleiding beslist over het gebruik van de door Schiphol beschikbaar gestelde banen op grond van een aantal criteria, waaronder de verkeersvraag, de windrichting en de geluidpreferentie. De verkeersvraag wisselt gedurende de dag, met regelmatige vertrek- en aankomstpieken. Buiten de pieken wordt doorgaans maar één start- en één landingsbaan gebruikt ("1+1"). In een aankomstpiek wordt gekozen voor het gebruik van twee landingsbanen en één startbaan ("2+1") en in een vertrekpiek andersom ("1+2"). Welke van de beschikbare banen worden ingezet wordt bepaald aan de hand van de geluidpreferentie, zoals vastgelegd in twee lijsten, één voor overdag en één voor de nacht. In geval van overgangen tussen de pieken of bij extreme drukte wordt er tijdelijk gebruik gemaakt van twee startbanen en twee landingsbanen, aangeduid als gebruik van de vierde baan. Het geheel aan criteria voor baangebruik leidt tot baancombinatiewisselingen, zoals benadrukt in het OVV-rapport⁹⁵.

De verschillende geometrieën van de verschillende baancombinaties maken dat er verschillende soorten operaties worden uitgevoerd, waaronder: parallel naderen, parallel starten, convergerend naderen en starten, convergerend naderen en mixed mode, waarin een baan voor zowel landen als starten wordt gebruikt. Dergelijke operaties hebben specifieke risico's die door procedures en veiligheidssystemen als RIASS (*Runway Incursion Alerting System Schiphol*, alarmeert bij runway incursions) en GARDS (*Go-Around Detection System*, alarmeert bij een doorstart) worden beheerst.

De capaciteit van Schiphol hangt ook samen met de zichtomstandigheden. In goed zicht is de capaciteit van een landingsbaan typisch 38 vliegtuigen per uur en van een startbaan typisch 40 vliegtuigen per uur. Dit is een gevolg van de minimale afstanden tussen naderingen en de minimale tijdsintervallen tussen vertrekken, die nodig zijn om het risico van botsingen en ongevallen door zogturbulentie van andere vliegtuigen zo klein mogelijk te houden. LVNL gaat daarbij uit van de standaard normen die zijn vastgesteld door de Internationale Burgerluchtvaartorganisatie ICAO. In minder zicht gelden er allerlei andere beperkingen en kan de capaciteit teruglopen tot minder dan de helft. Schiphol is een gereguleerde luchthaven: commerciële vluchten kunnen alleen vertrekken en landen nadat er eerder een slot

⁹¹ Luchtruimklasse C wil in essentie zeggen dat IFR- en VFR-verkeer is toegestaan en dat er separatiediensten worden geleverd aan het IFR-verkeer.

⁹² Luchtruimklasse A wil in essentie zeggen dat alleen IFR-verkeer is toegestaan en dat er separatiediensten worden geleverd aan dit verkeer.

⁹³ Een Flight Level (FL) komt overeen met 100 voet, FL95 geeft een vlieghoogte aan van 9.500 voet.

⁹⁴ Toren-Centrum en Toren-West bij de Polderbaan

⁹⁵ Daarnaast schrijft de OVV in haar rapport: *het afgesproken stelsel van geluidpreferentieel baangebruik leidt niet altijd tot gebruik van de veiligste baancombinatie.*

daarvoor is verkregen van de slotcoördinator, die daarbij gehouden is aan een aantal beperkingen. Verder zijn de luchthaven en het omringende luchtruim onderhevig aan Air Traffic Flow Management, waardoor een vlucht naar en van Schiphol alleen kan vertrekken als er een zogeheten ATC-slot is. Daarbij monitort LVNL het tijdsverloop van de actuele verkeersvolumes op basis van vliegplannen, vergelijkt dit met de actuele afhandelcapaciteiten en stuurt eventueel bij door bijvoorbeeld vertrektijden aan te passen. Dit wordt gedaan in samenwerking met de centrale Network Manager in Brussel, die weer in contact staat met andere grote luchthavens.

Op Schiphol wordt Collaborative Decision Making (CDM) ingevoerd voor de gezamenlijke besluitvorming van alle operationele partners, luchthaven, Luchtverkeersleiding, luchtvaartmaatschappijen en grondafhandelaren, op basis van gedeelde informatie over het vlucht- en vliegtuigafhandelingsproces op de luchthaven. Voor de implementatie van Airport CDM op Schiphol is een programma opgezet waarin Amsterdam Airport Schiphol, KLM, LVNL, grondafhandelaren en de Schiphol Airline Operators Committee (SAOC) samenwerken. De invoering van CDM op Schiphol verloopt in twee stappen. De eerste stap is gezet, Schiphol werkt lokaal volgens de CDM-werkwijze en neemt operationele beslissingen op de luchthaven op basis van gedeelde informatie over vlucht- en vliegtuigafhandelingsproces. De tweede stap is dat Schiphol die operationele informatie real-time gaat delen met Eurocontrol. Deze tweede stap zal plaatsvinden in 2018 en zorgt ervoor dat vluchten van en naar Schiphol beter passende time slots krijgen en daarmee ook het luchtruim efficiënter benut wordt⁹⁶.

Naderen op Schiphol kan op verschillende manieren. De meest voorkomende manier verloopt als volgt. Een vlucht komt aan op één van de drie zogeheten IAFs (Initial Approach Fixes), te weten RIVER, SUGOL of ARTIP, typisch op een hoogte in de band tussen FL70 en FL100. De naderingsverkeersleiders vectoren het vliegtuig naar de eindnadering van de eerder gekozen landingsbaan, dat wil zeggen: zij geven koers-, hoogte- en snelheidsinstructies waardoor het verkeer snel, efficiënt en veilig wordt afgehandeld. Zij combineren de verschillende stromen tot één stroom per landingsbaan en zorgen er voor dat de vliegtuigen op adequate afstand en met een geschikt snelheidsprofiel achter elkaar vliegen. De eindnadering is vaak een ILS-nadering, waarbij de bemanning vanaf een hoogte van 2.000 voet tot 4.000 voet in een rechte lijn, onder een constante dalhoek van 3° naar de baan navigeert. De verkeersleider in de toren geeft op tijd de landingsklaring en doet dit alleen wanneer de baan vrij is. Voorbeelden van uitzonderingen van deze wijze van naderen zijn: vliegers die een visuele nadering verkiezen en vluchten in de nacht die een voorgeschreven pad volgen (de zogeheten *night transitions*).

Bij de meest voorkomende manier van vertrekken krijgen de vliegers nog voor het taxiën te horen vanaf welke baan en volgens welke Standard Instrument Departure (SID) er vertrokken wordt. Deze wordt ingevoerd in het Flight Management System van het vliegtuig, zodat de initiële klim vanaf lage hoogte tot ongeveer FL60 later automatisch kan worden uitgevoerd, volgens het voorgeschreven pad, met eventuele hoogte- snelheidsbeperkingen. Het taxiën van de gate of het platform tot aan de baan gebeurt onder verantwoordelijkheid van de grondverkeersleider. Op grote delen van Schiphol, met uitzondering van taxibaan Quebec, zijn er dubbele taxibanen waardoor een taxibaan doorgaans alleen voor één rijrichting wordt gebruikt. Het is mogelijk dat er tijdens het uittaxiën veranderd wordt van baan en SID. Het moment van opstellen op de baan en het moment van take-off worden bepaald door de luchtverkeersleiding in de toren. Vlak na de take-off wordt het vliegtuig overgedragen naar de naderingsverkeersleiders op Schiphol-Oost, die na verloop van tijd instructies geven zodat de vlucht in de hogere luchtlagen kan aansluiten op het *en route*-verkeer. De paden en hoogtes van de SIDs zijn zo ontworpen dat ze vrij zijn van elkaar en van de nominale stromen naderend verkeer, maar ook zodanig dat woonbebouwing zo veel mogelijk wordt vermeden.

⁹⁶ Bron: <https://www.schiphol.nl/nl/operations/pagina/cdm/>

Appendix B CICTT-ongevalscategorieën

Ongevalsecategorïe	Status
ABNORMAL RUNWAY CONTACT (ARC)	Geanalyseerd
ABRUPT MANEUVER (AMAN)	Geanalyseerd
AERODROME (ADRM)	Geanalyseerd
AIRPROX/TCAS ALERT/LOSS OF SEPARATION/NEAR MIDAIR COLLISIONS/MIDAIR COLLISIONS (MAC)	Geanalyseerd
ATM/CNS (ATM)	Geanalyseerd
BIRD (BIRD)	Geanalyseerd
CABIN SAFETY EVENTS (CABIN)	Geen effect
COLLISION WITH OBSTACLE(S) DURING TAKEOFF AND LANDING (CTOL)	Geen effect
CONTROLLED FLIGHT INTO OR TOWARD TERRAIN (CFIT)	Geanalyseerd
EVACUATION (EVAC)	Geen effect*
EXTERNAL LOAD RELATED OCCURRENCES (EXTL)	Niet van toepassing
FIRE/SMOKE (NON-IMPACT) (F-NI)	Geen effect
FIRE/SMOKE (POST-IMPACT) (F-POST)	Geen effect*
FUEL RELATED (FUEL)	Geanalyseerd
GLIDER TOWING RELATED EVENTS (GTOW)	Niet van toepassing
GROUND COLLISION (GCOL)	Geanalyseerd
GROUND HANDLING (GROUND)	Geanalyseerd
ICING (ICE)	Geen effect
LOSS OF CONTROL-GROUND (LOC-G)	Geanalyseerd
LOSS OF CONTROL-INFLIGHT (LOC-I)	Geanalyseerd
LOSS OF LIFTING CONDITIONS EN ROUTE (LOLI)	Niet van toepassing
LOW ALTITUDE OPERATIONS (LALT)	Niet van toepassing
MEDICAL (MED)	Geen effect
NAVIGATION ERRORS (NAV)	Geanalyseerd
OTHER (OTHR)	Niet van toepassing
RUNWAY EXCURSION (RE)	Geanalyseerd
RUNWAY INCURSION (RI)	Geanalyseerd
SECURITY RELATED (SEC)	Niet van toepassing
SYSTEM/COMPONENT FAILURE OR MALFUNCTION (NON-POWERPLANT) (SCF-NP)	Geen effect
SYSTEM/COMPONENT FAILURE OR MALFUNCTION (POWERPLANT) (SCF-PP)	Geanalyseerd
TURBULENCE ENCOUNTER (TURB)	Geanalyseerd
UNDERSHOOT/OVERSHOOT (USOS)	Geanalyseerd
UNINTENDED FLIGHT IN IMC (UIMC)	Niet van toepassing
UNKNOWN OR UNDETERMINED (UNK)	Niet van toepassing
WILDLIFE (WILD)	Geen effect
WIND SHEAR OR THUNDERSTORM (WSTRW)	Geen effect

Voor definitïes, zie 'Definition and Usage Notes, December 2017':

<http://www.intlaviationstandards.org/Documents/OccurrenceCategoryDefinitions.pdf>

Geanalyseerd: deze categorie is uitvoerig geanalyseerd op groei-effecten, zie sectie 4.2.

Geen effect: voor deze categorie is het evident dat er geen groei-effect is, omdat verkeersvolume geen relatie heeft tot de categorie

Niet van toepassing: een ongeval binnen deze categorie is op Schiphol niet mogelijk, of het betreft een restcategorie

*deze categorieën zijn gevolgen van ongevallen en in die hoedanigheid kan er een effect zijn. Dit effect wordt echter impliciet beschouwd in de geanalyseerde categorieën

Appendix C Beheersmaatregelen

Tabel 13 bevat een overzicht van de beheersmaatregelen die genoemd zijn in de subsecties “invloed beheersmaatregelen” in sectie 4.2. Dit samenvattende overzicht bevat mogelijke beheersmaatregelen in die gebieden waar dat op grond van de analyse van dit rapport nodig is. Het betekent niet dat al deze beheersmaatregelen per definitie nodig zijn. Het is goed voorstelbaar dat er in sommige gevallen goede alternatieve maatregelen zijn, dat de effecten van de maatregelen in de praktijk meer of minder blijken te zijn dan oorspronkelijk aangenomen of dat er onvoorziene effecten zijn die om een heroverweging van de maatregelen vragen. Door toekomstige inzichten en ontwikkelingen zal over een aantal jaar de lijst met daadwerkelijk genomen beheersmaatregelen er naar alle waarschijnlijkheid anders uitzien.

Voor beheersmaatregelen die nog ingevoerd gaan worden geldt dat er tijdig een gedetailleerde veiligheidsstudie nodig is om vast te stellen of de maatregel daadwerkelijk voldoende effectief zal zijn, of de maatregel praktisch uitvoerbaar is en of er negatieve neveneffecten voor de vliegveiligheid zijn. Daarnaast moet voor sommige maatregelen in detail vastgesteld worden of er effecten zijn op het gebied van externe veiligheid, geluid en emissies. Het onderstaande overzicht neemt hier al een voorschot op.

Het overzicht geeft per beheersmaatregel de status aan:

- **Bestaand+:** dit is een reeds bestaande beheersmaatregel. De + duidt aan dat de beheersmaatregel mogelijk vaker toegepast moet worden bij een groei van het aantal bewegingen.
- **Gepland:** deze beheersmaatregel is gepland en gaat ingevoerd worden.
- **In overweging:** deze beheersmaatregel is bij de sectorpartijen in overweging om ingevoerd te worden.
- **Ter beschouwing:** deze beheersmaatregel zou door de sectorpartijen in overweging genomen moeten worden om ingevoerd te worden.

Het overzicht geeft per beheersmaatregel een inschatting van de effectiviteit aan de hand van een typering van de maatregel. Deze typering is gebaseerd op [Hollnagel, 2008]. In principe geldt voor onderstaande vijf punten dat het bovenste type beheersmaatregel het meest effectief is en het onderste het minst:

- **Fysiek:** een concrete zichtbare maatregel die geen aanpassing vergt van de operatie om de maatregelen effectief te maken (bijvoorbeeld additionele infrastructuur)
- **Functioneel:** een concrete zichtbare maatregel die aanpassing vergt van mensen of systemen om de maatregel effectief te maken (bijvoorbeeld een aanpassing van een werkpositie)
- **Visueel:** een visuele maatregel (bijvoorbeeld een bord, signaal, waarschuwing, alarm et cetera).
- **Procedureel:** een aanpassing van een procedure die in zichzelf niet zichtbaar is (bijvoorbeeld een wijziging in de manier van communiceren)
- **Monitoren:** monitoren op zich bevordert de veiligheid niet, maar vergroot de kans dat ontwikkelingen die tot ongevallen kunnen leiden tijdig worden gedetecteerd en kunnen worden gemitigeerd.

Het overzicht geeft per beheersmaatregel een inschatting van de uitvoerbaarheid. Dit is gedaan door te kijken of beheersmaatregelen gevoelig zijn voor één van de drie volgende obstakels (financiële overwegingen zijn buiten beschouwing gelaten):

- **Aanpassing normen:** er is een aanpassing nodig van de momenteel geldende of toegepaste normen.
- **Tegenstrijdig belang:** de maatregel heeft belangrijke nadelen voor de belangen van een deel van de sectorpartijen (de belangen van het grote publiek zijn hierin niet meegewogen – die kunnen deels ingeschat worden bij het volgende item).
- **Afhankelijkheid andere partijen:** de invoering van de maatregel is mede afhankelijk van partijen anders dan de Nederlandse sectorpartijen.

Per beheersmaatregel is aangegeven of er mogelijk een effect is op het gebied van externe veiligheid, geluid en emissies (per beweging):

- **Externe veiligheid:** de beheersmaatregel heeft invloed op de gevlogen route en gebruikte banen (de invloed op de kans op een ongeval is hier buiten beschouwing gelaten, omdat alle beheersmaatregelen een effect hebben op deze kans)
- **Geluid:** de beheersmaatregel heeft invloed op de gevlogen route en gebruikte banen
- **Emissies:** de beheersmaatregel heeft invloed op de lengte van de gevlogen routes

Per beheersmaatregel is aangegeven of er effecten zijn die mogelijk een nadelige invloed hebben op de vliegveiligheid.

Tabel 13: Beheersmaatregelen

Beheersmaatregelen per ongevals categorie	Status	Effectiviteit	Obstakels bij implementatie	Effect op externe veiligheid, geluid en emissies	Andere effecten
Abnormal Runway Contact (ARC)					
a) Het monitoren van onstabiele naderingen en het acteren op negatieve trends als onderdeel van het veiligheidsmanagementsysteem van luchtvaartmaatschappijen.	Bestaand+	Monitoren	-	-	Meer go-arounds
b) Het door de verkeersleiding verder voor de baan oplijnen van landend verkeer (“trombone”) wanneer het verkeersaanbod voor een landingsbaan de capaciteit voor langere tijd overschrijdt.	Bestaand+	Functioneel	-	EV, G, E	-
c) Geen gebruik maken van visuele naderingen en korter indraaien tijdens piekperiodes.	Bestaand+	Functioneel	-	EV, G, E	-

Runway Excursion (RE)					
a) Het periodiek verwijderen van rubberafzet op banen.	Bestaand+	Functioneel	-	-	Meer grondbewegingen
b) Het eerder dan gepland verwijderen van rubberafzet op banen wanneer uit frictietesten blijkt dat de rubberafzet sneller plaatsvindt dan verwacht.	Bestaand+	Functioneel	-	-	Meer grondbewegingen
Undershoot/overshoot (USOS)					
a) Het monitoren van onstabiele naderingen en het acteren op negatieve trends als onderdeel van het veiligheidsmanagementsysteem van luchtvaartmaatschappijen.	Bestaand+	Monitoren	-	-	Meer go-arounds
b) Het door de verkeersleiding verder voor de baan oplijnen van landend verkeer ("trombone") wanneer het verkeersaanbod voor een landingsbaan de capaciteit voor langere tijd overschrijdt.	Bestaand+	Functioneel	-	EV, G, E	-
c) Geen gebruik maken van visuele naderingen en korter indraaien tijdens piekperiodes.	Bestaand+	Functioneel	-	EV, G, E	-
Airprox/TCAS Alert/Loss of Separation/(Near) Midair Collisions (MAC)					
a) Een verruiming van de vierdebaanregel om te zorgen voor stabielere baangebruik.	In overweging	Functioneel	Aanpassing normen	EV, G	Meer grondbewegingen
b) Betere coördinatie, planning en communicatie om het aantal last-minute-baanwisselingen te verminderen.	Bestaand+	Procedureel	-	-	-
c) Verbeterde AMAN (Arrival Management) in combinatie met verhoogde coördinatie met de dienstverleners van de omliggende luchtruimen, om de voorspelbaarheid van het verkeer te verhogen.	Gepland	Procedureel	Afhankelijkheid andere partijen	-	-
d) Meer RNAV-naderingen en Trajectory Prediction-gereedschap om de voorspelbaarheid van naderingsvliegprofielen te verhogen.	Gepland	Functioneel	Afhankelijkheid andere partijen	G	Hogere werklust vlieger
e) Het ophogen van de bovengrens van de Schiphol TMA en het invoeren van een vierde IAF om de voorspelbaarheid van naderingsvliegprofielen te verhogen.	In overweging	Fysiek	-	G, E	Verhoogde complexiteit luchtruim
f) Inrichting van universele werkplekken op de toren.	In overweging	Functioneel	-	-	-
g) Vervanging van het AAA-luchtverkeersleidingssysteem door iCAS.	Gepland	Functioneel	-	-	-
h) Beperking van de bezettingsgraad van radiotelefoniefrequenties door vaker gebruik van datalink en vaker gebruik van automatische hand-over.	Ter beschouwing	Functioneel	-	-	Meer heads-down-tijd in cockpit (door datalink)

Controlled Flight Into/toward Terrain (CFIT)					
a) Het monitoren van onstabiele naderingen en het acteren op negatieve trends als onderdeel van het veiligheidsmanagementsysteem van luchtvaartmaatschappijen.	Bestaand+	Monitoren	-	-	Meer go-arounds
b) Het door de verkeersleiding verder voor de baan oplijnen van landend verkeer ("trombone") wanneer het verkeersaanbod voor een landingsbaan de capaciteit voor langere tijd overschrijdt.	Bestaand+	Functioneel	-	EV, G, E	-
c) Geen gebruik maken van visuele naderingen en korter indraaien tijdens piekperiodes.	Bestaand+	Functioneel	-	EV, G, E	-
Loss of Control – Inflight (LOC-I)					
a) Het monitoren van onstabiele naderingen en het acteren op negatieve trends als onderdeel van het veiligheidsmanagementsysteem van luchtvaartmaatschappijen.	Bestaand+	Monitoren	-	-	Meer go-arounds
b) Het door de verkeersleiding verder voor de baan oplijnen van landend verkeer ("trombone") wanneer het verkeersaanbod voor een landingsbaan de capaciteit voor langere tijd overschrijdt.	Bestaand+	Functioneel	-	EV, G, E	-
c) Geen gebruik maken van visuele naderingen en korter indraaien tijdens piekperiodes.	Bestaand+	Functioneel	-	EV, G, E	-
Fuel related (FUEL)					
Er is geen effect van een groei van het aantal bewegingen op de FUEL-ongevalskans per beweging					
Turbulence Encounter (TURB)					
Er is geen effect van een groei van het aantal bewegingen op de TURB-ongevalskans per beweging					
Ground Handling (GROUND)					
a) Het beperken van het aantal grondafhandelaren (organisaties) dat actief is op Schiphol.	Ter beschouwing	Functioneel	Tegenstrijdig belang. Afhankelijkheid andere partijen.	-	-
b) Geen nieuwe grondafhandelaren (organisaties) toelaten.	Ter beschouwing	Functioneel	Afhankelijkheid andere partijen	-	-

c) VOPs toewijzen aan één afhandelaar.	Ter beschouwing	Functioneel	-	-	-
d) Pooling van voertuigen en materieel.	Bestaand+	Procedureel	-	-	-
e) Invoering van track en trace op voertuigen en materieel.	In overweging	Monitoren	-	-	-
f) Directe verbinding via tablet tussen de verkeersleiding en de pushbackchauffeurs.	In overweging	Functioneel	-	-	-
g) Directe coördinatie tussen grondverkeersleiding en sleepregie door deze samen te voegen op de 12de verdieping van Toren-Centrum.	In overweging	Functioneel	-	-	-
h) Het meewegen van de kwaliteit van een grondafhandelaar (vastgesteld in een onafhankelijke audit) in het keuzeproces van luchtvaartmaatschappijen voor een afhandelaar.	Bestaand+	Procedureel	-	-	-
Ground Collision (GCOL)					
a) Het structureel inzetten gedurende de dagoperatie van drie grondverkeersleiders in Toren-Centrum.	Bestaand+	Functioneel	-	-	-
b) Directe coördinatie tussen grondverkeersleiding en sleepregie door deze samen te voegen op de 12de verdieping van Toren-Centrum.	In overweging	Functioneel	-	-	-
c) Verdubbeling van taxibaan Quebec	Gepland	Fysiek	-	-	-
d) Uitbreiding van het aantal VOPs door een extra pier (Pier A) te bouwen met 10-13 opstelplaatsen.	Gepland	Fysiek	-	-	-
e) Structureel gebruik maken van de bufferposities U1 t/m U5, parallel aan taxibaan C, om vliegtuigen af te handelen.	Bestaand+	Fysiek	-	-	Grondbeweging
f) Het benodigde grondverkeer van en naar de remote afhandelingsplekken beperken, bijvoorbeeld door vaste aansluitingen van op het brandstofsysteem.	Bestaand+	Fysiek	-	-	-
Runway Incursion (RI)					
a) Aanleg van additionele high speed exits (op banen 22, 36C en 36R).	In overweging	Functioneel	-	-	-
b) Invoering van runway status lights.	In overweging	Visueel	-	-	-
c) Bij afritten N3, N4 en W7 plaatsing van additionele borden (" <i>Taxi beyond this point to clear runway protected area</i> ").	In overweging	Visueel	-	-	-
d) Bij intersecties baan 06/24: verplaatsen of additionele referentie Runway Holding Points.	In overweging	Visueel	-	-	-
e) Invoering van het Follow-the-Greens-concept.	In overweging	Visueel	-	-	-

f) Invoering van airport map displays in de cockpit.	Ter beschouwing	Visueel	-	-	Meer heads-down-tijd in cockpit
g) Invoering van navigatie- en surveillancesystemen in grondvoertuigen.	In overweging	Visueel	-	-	-
h) Een verruiming van de vierdebaanregel om te zorgen voor stabielere baangebruik.	In overweging	Functioneel	Aanpassing normen	EV, G	-
i) Betere coördinatie, planning en communicatie om het aantal last-minute-baanwisselingen te verminderen.	Bestaand+	Procedureel	-	-	-
j) Directe coördinatie tussen grondverkeersleiding en sleepregie door deze samen te voegen op de 12de verdieping van Toren-Centrum.	In overweging	Functioneel	-	-	-
k) Meer coördinatie tussen runway controller en assistent (waar die nu nog op aparte frequenties klaringen geven aan vliegtuigen en voertuigen).	In overweging	Procedureel	-	-	R/T op frequentie neemt toe (werklast)
l) Het structureel inzetten gedurende de dagoperatie van drie grondverkeersleiders in Toren-Centrum.	Bestaand+	Functioneel	-	-	-
m) Autocontact ground afschaffen	Ter beschouwing	Functioneel	-	-	R/T op frequentie neemt toe (werklast)
Loss of Control Ground (LOC-G)					
Zie RI					
Abrupt Manoeuvre (AMAN)					
Zie MAC, RI en GCOL					
Aerodrome (ADRM)					
Er is geen effect van een groei van het aantal bewegingen op de ADRM-ongevalskans per beweging					
ATM/CNS (ATM)					
Zie MAC, RI en GCOL					
Birdstrikes (BIRD)					
Er is geen effect van een groei van het aantal bewegingen op de BIRD-ongevalskans per beweging					

Navigation Errors (NAV)					
<i>Zie MAC, RI, CFIT, CTOL, USOS en CFIT</i>					
System/Component Failure or Malfunction (Powerplant) (SCF-PP)					
<i>Zie ADRM en BIRD</i>					

Appendix D Externe review

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is de Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol gereviewd door twee luchtvaartexperts: prof. dr. Patrick Hudson (emeritus hoogleraar *human factors in safety* aan de TU Delft) en prof. dr. ir. Jacco Hoekstra (hoogleraar *Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management* aan de TU Delft). Er hebben twee reviewrondes plaatsgevonden. Naar aanleiding van de eerste reviewronde zijn er aanpassingen gemaakt aan het rapport, zo is er onder andere een duidelijker onderscheid gemaakt tussen Schiphol-specifieke beheersmaatregelen en autonome veiligheidsverbeteringen en is duidelijker aangegeven wat er specifiek voor Schiphol nodig is om van de autonome veiligheidsverbeteringen te kunnen profiteren. Op de volgende pagina's vindt u het reviewcommentaar naar aanleiding van de tweede reviewronde.

De twee experts onderschrijven de conclusie van de analyse: beperkte groei van het vliegverkeer op Schiphol is veilig mogelijk. Prof. Hoekstra merkt hierbij terecht op dat deze conclusie alleen kan worden gebruikt in samenhang met de gemaakte aannames, de in het rapport genoemde maatregelen en het doorzetten van de autonome veiligheidstoename. Prof. Hudson noemt het rapport een 'competente analyse' en de analyses 'grondig' en 'overtuigend'. Prof. Hoekstra noemt de aanpak 'gedegen en zorgvuldig'. Beide experts hebben een aantal resterende punten, die hieronder kort worden besproken.

Prof. Hudson bespreekt de aanname dat de verkeersgroei gelijkmatig is verdeeld over de huidige verkeersmix. In het rapport is nu aangegeven dat deze aanname mede gebaseerd is op prognoses zoals gebruikt door LVNL en opgesteld door Schiphol. Het rapport gaat niet in op mogelijke effecten van een mogelijk snellere groei van het aantal vluchten door low-cost-carriers of Aziatische luchtvaartmaatschappijen. Het is niet zondermeer te stellen dat deze maatschappijen een lager dan gemiddeld veiligheidsniveau hebben.

Het klopt dat de aanname dat de piekruurcapaciteit niet toeneemt alleen correct is tot een bepaald niveau van groei. Omdat het rapport kijkt naar beperkte verkeersgroei binnen het huidige operationele concept zijn de veiligheidseffecten van een verhoging van de piekruurcapaciteit niet bestudeerd. Om dezelfde reden is de spanning tussen veiligheid en geluidsbelasting wel aangestipt, maar niet verder uitgediept.

De ontwikkeling van een ISMS is nieuw en mede in gang gezet naar aanleiding van een aanbeveling van de OVV. Een goed werkbaar *governance* is één van de pijlers van deze ontwikkeling. Positieve verwachtingen van het ISMS en de samenwerking van verschillende partijen om veiligheidsrisico op de raakvlakken tussen verschillende Schiphol-actoren te beheersen zijn niet ongegrond, al is de daadwerkelijke uitwerking en effectiviteit van het ISMS nu nog niet bekend.

Prof. Hudson onderstreept de voordelen van verdere standaardisering van de verkeersafhandeling in het voorkomen van onstabiele naderingen. Naar aanleiding van prof. Hudson's commentaar is een referentie opgenomen naar het rapport van de Flight Safety Foundation over onstabiele naderingen.

Er zijn verschillende aanpakken denkbaar om de vraag te beantwoorden of Schiphol veilig kan groeien. In zijn conclusie stelt prof. Hudson een dergelijke alternatieve aanpak voor. Deze studie staat toekomstige studies met een andere aanpak niet in de weg. Toekomstige veiligheidsstudies zijn nodig om de effectiviteit van de genomen en te nemen beheersmaatregelen te blijven toetsen, zoals ook geadviseerd door beide experts.

Op basis van figuur 37 uit prof. Hudson de zorg dat er mogelijk meer data gecorrigeerd is. De auteurs van dit rapport zien geen reden voor deze zorg, omdat in figuur 37 juist gekozen is voor een transparante manier om de correctie

zichtbaar te maken. Mochten andere correcties nodig zijn geweest, dan zou dat ook op een transparante manier zijn gedaan.

Prof. Hoekstra gaat in zijn commentaar in op het numerieke effect van de groei op ongevalskansen. De numerieke relatie tussen de ongevalskansen en het veranderde aantal vliegbewegingen had naar zijn mening nadrukkelijker en explicieter genoemd mogen worden. Het onderscheid tussen een ongevalskans per vliegbeweging en de ongevalskans per jaar is inderdaad een belangrijk onderscheid, dat in het rapport in hoofdstuk 3 wordt beschreven - deze beschrijving is aangepast naar aanleiding van het eerste reviewcommentaar van prof. Hoekstra. In de sectie 4.2 wordt per ongevalscategorie gekeken naar het effect van verkeersgroei op de ongevalskans *per vliegbeweging*. Er wordt daarom ook gesproken over een "recht evenredige toenemende kans per beweging". Voor de intrinsieke totale kans geldt dan een kwadratisch verband. Zoals beschreven in het rapport is de werkelijke kans op een ongeval per beweging lager en kan deze verder worden verlaagd door het nemen van beheersmaatregelen. In combinatie met de verwachte autonome veiligheidsverbetering zorgen deze maatregelen er voor dat beperkte verkeersgroei op Schiphol mogelijk is, zonder dat de ongevalskans per jaar - de totale kans - toeneemt.

In de eindversie van het rapport zijn er een aantal wijzigingen doorgevoerd, waardoor een aantal referenties in de reviewcommentaren niet meer kloppen:

- Figuur 31 is nu figuur 37;
- Figuur 26 is nu figuur 27;
- RI-VAP wordt nu aangeduid met RI;
- In totaal wordt nu voor 9 in plaats van 10 categorieën geconcludeerd dat additionele beheersmaatregelen nodig zijn om een toename van de ongevalskans per beweging tegen te gaan. Voor de categorie ADRM is namelijk op basis van figuur 39 geconcludeerd dat de huidige maatregelen afdoende zijn.

Geachte lezer,

In de bijlagen vindt u onze reviews van het derde concept van het rapport. Deze zijn gebaseerd op de review van een eerder concept en de wijze waarop onze wijzigingen wel of niet zijn overgenomen in deze versie. De volledige reviews van de twee reviewers zijn in grote mate complementair en zijn bijgevoegd als bijlage. De reviewers hebben overlegd en zijn het eens met elkaars bevindingen. De voornaamste punten die daarin aan de orde komen zijn:

- Het rapport gaat uit van een technische extrapolatie in de huidige context. Het houdt geen rekening met mogelijke niet-technische wijzigingen van die context.
- In wat ICAO Annex 19 het SSP noemt, het State Safety Programme, dient de overheid een regievoerende rol te vervullen.
- Practical drift zoals ICAO dit noemt in Doc 9859, bijvoorbeeld het geleidelijk verhogen van de capaciteit met kleine percentages
- Aandacht voor complexiteit van de procedures bij naderingen en bij baantoewijzingen, in verband met risico's ten gevolge van onstabiele en complexe naderingen
- Het gebruikte perspectief per beweging maakt het totale effect per jaar van de groei minder duidelijk omdat het aantal bewegingen zelf ook groeit. Dit leidt tot een kwadratisch effect, het rapport gebruikt in dat geval het woord recht evenredig per beweging.
- Door de kwadratische effecten neemt deze component bij 10% groei toe met 21%, want $1,10 \times 1,10 = 1,21$. Op dit moment is absolute grootte van dit kwadratische effect klein in verhouding tot het recht evenredige effect. Bij groei dient gecontroleerd te worden of de deze verhouding zo klein blijft of dat er extra beheersmaatregelen nodig zijn. Er zijn vier categorieën ongevallen die hiervoor gevoelig zijn: mid-air collisions (MAC), ground collisions (GCOL), runway excursions (RI-VAP) en verkeersleiding (ATC).

Wij zijn net als de auteurs van het rapport van mening dat de historische data en de beschouwingen in het rapport op dit moment geen aanleiding geven om te concluderen dat door een beperkte groei van het vliegverkeer de ongevalskans onacceptabel zou worden en stijgen tot boven de Acceptable Level of Safety (ALOS, ICAO definitie). Desalniettemin is ons advies aan de overheid om de regie te houden en de effectiviteit van de genomen en te nemen beheersmaatregelen regelmatig te toetsen.

Hoogachtend,

Prof.dr. Patrick Hudson

Prof.dr.ir. Jacco Hoekstra

Report on NLR Document *Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol*

*Prof. dr. P.T.W. Hudson
Hudson Global Consulting
Delft University of Technology*

The report is a competent analysis of the marginal risks associated with a modest increase in the capacity of Schiphol. The approach taken involved analyzing all the ICAO Annex 13 standard safety categories to see if they were irrelevant for the assessment, relevant but unaffected by small growth, relevant but covered by the addition of extra measures and finally were already covered by other more major categories. The analysis is carried out in terms of whether the expected growth has any effect on the chance of an accident per aircraft movement, which is scientifically sound if you want to be able to state that safety has not been compromised. Where possible, and the authors state as their parting shot, it would best, if at all possible, to equal or lower the absolute rate of incidents with the anticipated growth. The general public will understand absolute rates, for the airport as a whole, rather than exposure relative rates.

One underlying factor identified in the report is the general improvement, year on year, of the safety of the commercial aviation industry. This is rightly adjusted for the performance of Europe and the US when much of the recent improvement, if any, has taken place in Africa and Asia. Another world-wide factor has been the progress made in aviation technology, both in new generations of aircraft and supporting ATM-CNS. These can be expected to have some effect, but statistics going back 10 years may not be so illuminating as much of the change has taken place quite recently.

Where is the growth coming from?

One question that is not discussed in the report is - where is this growth coming from? The impression given is that this is a purely commercial consideration for the airport, but it does have real safety consequences as well. If the growth is evenly distributed across current user airlines then the analysis of the general trend towards 4th generation aircraft applies. However the authors do not consider¹ that the mix of long-haul (wide-bodies) and short-haul (narrow-bodies) may vary depending on whether most of the projected growth is the result of increased demand from Low Cost Carriers (LCCs) or from Asian carriers using Schiphol as an attractive transit hub. The development of Lelystad is part of this equation.

The world-wide growth in commercial aviation is coming primarily from Asia, mainland China in particular, although there has also been the creation of new markets by the LCCs, outside of the market served by older legacy carriers. It can be said that ICAO-based regulatory oversight should guarantee equivalent pilot competence, however the experience at San Francisco (SFO) with the Asiana

¹ The authors imply a growth in narrow-bodies, but do not justify this.

crash on landing, and SFO's experience of handling Chinese flight crew coming in East-bound across the Pacific ocean suggests that some caution may need to be exercised.

Peak capacity

The critical assumption that is used frequently in the report, and is probably correct but only up to a certain level of growth, is that the expected growth will not increase the peak capacity requirement, but will be spread out making the peaks longer. I am not sure this is not too simplistic. The morning inbound peak, with intercontinental arrivals, may need to be stretched to earlier arrivals and possible complaints about noise. Similarly the evening period with late evening departures may have a similar effect. Increased flights within Europe can, however, be accommodated more easily.

Safety Management Systems

The report seems to be optimistic about the benefits to be gained from the application of ISMS under the Veiligheidsplatform Schiphol (VPS). The problem is that I feel that there is no clear governance, outside of a consensus-oriented VPS, of integrated safety management. Typical issues arising are:

- Who owns the ISMS and any safety cases that may be produced?
- Who ensures that all parties perform as required?
- Who assures, and how, that the system is operating effectively?

The problem, bluntly, is who has the power to insist that other parties comply with the SMS? As the history of Schiphol has always been one of distinct parties and opposing interests from time to time, this may need to be resolved, probably by the application of requirements in the State Safety Programme (SSP). One issue the report identifies that will need to be given attention is 'practical drift'. ICAO has identified this drift, as standards are weakened as a result of success, as a major reason for their distinction between the reactive, proactive and predictive approaches to incidents and data (SMM, ICAO Doc 9859). This is a critical role for an ISMS that must not be allowed to be forgotten.

Unstabilised approaches

One major problem the report identifies is that of unstabilised approaches. These may arise from pilots' failures and/or ATM. Unstabilised approaches (UA) are regarded by the industry as a major issue after CFIT was resolved and runway incursion and excursion received sufficient attention. The Flight Safety Foundation released a report on Go-around Decision Making and Execution in March of this year as an addition to their existing ALAR toolkit which might be referred to as it is relevant. Simplification of LVNL's approach procedures should, as the report states, make for reductions in the numbers of UAs. Simplification of both take off and landing procedures would certainly be of wider benefit. The tendency for air traffic controllers to provide or permit

flexibility may be laudable, the introduction of changes, often at short notice, is a major source of human error on the flight deck.

Runway allocation and wind

The report discusses the current and potential future procedures for selection of runways. From a purely safety point of view standardization is to be desired but there are other factors, such as distribution of the noise nuisance over a wide area (Dellaert's original assumption in 1947 had a design that did this) and wind direction, that complicate matters. This is a safety-related tension that the report hints at in search of measures to mitigate marginal risk but leaves the decision open. To ensure equivalent or higher levels of safety these decisions will need to have the assurance that safety is not being compromised. The Collaborative Decision Model (CDM) is crucial and it will be necessary to have a review, probably by a third party such as the regulator, in the context of the SSP, that decisions are being made giving safety the priority required, if necessary over noise and capacity requirements.

Conclusion

The analyses are thorough and convincing, but I worry that they may be what we have called imagination-limited; the call for resilience is good, but not really followed up. As the propagator of the concept of weird accidents (Wildly Erratic Incident Resulting in Disaster) I would have liked to see an alternative analysis that concentrates on identifiable causes of incidents rather than just going backwards from known categories. For instance, runway and taxiway design in the context of the single terminal building (despite labeling them as 1, 2 and 3 they physically remain a single terminal that makes an attractive proposition for transit passengers) leads to a complex spatial environment with a plethora of crossing points. Runway incursions and ground-based interactions with airplanes and vehicles follow from the cause that could be approached more proactively. Analyses in terms of the outcome of unstabilised approaches splits into Schiphol specific and more general problems and associated solutions. The dismissal of a number of incidents as apparently irrelevant is worrying. The example in Figure 31 on page 85 of a correction to the data because of a specific failure on one day makes one ask if other unusual combinations that could lead to an incident have also been 'smoothed' out.

Tweede review concept “Integrale veiligheidsanalyse van Schiphol” door prof.dr.ir. J.M. Hoekstra

Algemeen

Het rapport is getiteld “integrale veiligheidsanalyse van Schiphol” en het bevat een integrale veiligheidsanalyse van de groei van het vliegverkeer Schiphol. Bij de groei gaat het om een ordegrootte van 10%: 550.000 vluchten in plaats van 500.000. De term integraal is correct in de zin dat het een systematische aanpak volgt waarbij alle ongevals categorieën, zoals is gespecificeerd de lijst van ongevalscategorieën van ICAO. Van de 36 categorieën worden er 18 als relevant geïdentificeerd.

Een grondige, gedetailleerde, kwantitatieve analyse zou vele jaren vergen. Ook zouden er door het maken van keuzes in de hiervoor benodigde, verschillende scenario's en roadmaps grote onzekerheden ingebouwd worden, waardoor het niet noodzakelijkerwijs meer informatie voor de beleidskeuzes op dit moment oplevert. In deze context is daarom gekozen voor een op hoofdlijnen kwalitatieve analyse, waar mogelijk onderbouwd door kwantitatieve aspecten middels historische gegevens.

Als geheel komt de analyse binnen de mogelijkheden van een dergelijke kwalitatieve aanpak gedegen en zorgvuldig over. Het begint met een conservatieve aanpak, maar neemt later ook de effecten van beheersmaatregelen en de algemene veiligheidstoename mee. De relatie tussen de groei en de ongevalskansen is niet altijd duidelijk doordat in het hoofdstuk dat de categorieën bespreekt, vaak over kans per beweging wordt gesproken. Als deze constant is, is er dus een toenemende ongevalskans bij groei van de bewegingen.

Numeriek effect van de groei op ongevalskansen

Een belangrijk onderscheid dat in het rapport mijns inziens nadrukkelijker en explicieter genoemd had mogen worden, is de numerieke relatie tussen de ongevalskansen en het veranderde aantal vliegbewegingen. Vaak, maar niet overal, wordt over een ongevalskans **per vliegbeweging** gesproken, in andere gevallen gaat het over de **absolute, totale aantallen per jaar**. De ongevalskans per beweging is vooral relevant voor een passagier, piloot of luchtvaartmaatschappij. De totale kans, per jaar, is vooral van belang vanuit het perspectief van het vliegveld, de overheid en de omgeving. Hiertussen zit een vermenigvuldigingsfactor. Deze factor is het aantal bewegingen en wordt dus beïnvloed door de groei.

Een heldere, systematische beschrijving van wat dit verschil van het effect van de groei betekent voor de totale ongevalskans ontbreekt nog. Omdat dit belangrijk is bij het lezen en interpreteren van het rapport, daarom hieronder in een korte aanvulling de drie soorten intrinsieke relaties van de ongevalskansen met de omvang van het vliegverkeer:

- 1) **Ongevalskans is onafhankelijk van het aantal bewegingen**
Dit zijn algemene risico's voor een vliegveld zoals overstromingen, terroristische aanslag, etc. Deze hangen niet samen met het aantal vliegbewegingen en zijn daarom terecht niet meegenomen in dit rapport, dat immers het effect van de groei behandelt
- 2) **Intrinsieke ongevalskans is recht evenredig met het aantal vliegbewegingen**
Dit betreft alle risico's waarbij één vliegtuig betrokken is. Dit is verreweg de grootste categorie en bevat de meeste risico's voor ongevallen ten gevolge van het falen van systemen, mensen of de invloed van de omgeving op het vliegverkeer zoals extreem weer, vogels, etc.. Als de kans per

vliegbeweging constant is, neemt de totale ongevalskans per jaar recht evenredig toe met het aantal vliegbewegingen: 10% groei betekent dan 10% meer intrinsieke ongevalskans

3) **Intrinsieke ongevalskans is kwadratisch met het aantal vliegbewegingen**

Dit betreft alle ongevallen waarbij twee vliegtuigen betrokken zijn. De intrinsieke kans varieert dan kwadratisch met het aantal vliegtuigen. Per beweging varieert de kans dan wel recht evenredig, echter per jaar voor het totaal is het verband kwadratisch met het aantal bewegingen. Het *kwadratische* effect betekent dat een *procentuele toename* van de bewegingen ongeveer *dubbel* terugkomt in de ongevalstoename. Bij 10% groei van het aantal vliegbewegingen neemt de intrinsieke kans op ongevallen waarbij twee vliegtuigen betrokken zijn met 21% toe, want $1,10 \times 1,10$ is gelijk aan 1,21.

Voorbeelden van deze derde categorie zijn vooral botsingen, met name van: vliegende vliegtuigen (Mid-Air Collisions, MAC), taxiënde vliegtuigen (Ground COLLisions, GCOL) of een vliegend vliegtuig en een taxiënd vliegtuig (bijvoorbeeld t.g.v. een runway incursion, een deel van het risico runway incursion-vehicle aircraft of person, RI-VAP). Ook de intrinsieke kans op een botsing met een grondvoertuig voor de vluchtafhandeling zal kwadratisch variëren omdat het aantal afhandelingsgrondvoertuigen recht evenredig is met het aantal vliegbewegingen.

Hierboven wordt het woord *intrinsieke kans* gebruikt om aan te geven dat dit de kans ‘van binnenuit’ is, ofwel van de toename van het vliegverkeer zelf. Dit hoeft niet de *werkelijke kans* op een ongeval te zijn omdat er ook externe invloeden zijn. Er zijn een aantal effecten, die dit verschil met de werkelijke kans veroorzaken:

- 1) **Autonome veiligheidstoename:** de werkelijke kans zal kleiner zijn omdat de autonome veiligheidstoename, voornamelijk door technologische vooruitgang, in dezelfde periode als de groei een grotere afname van de ongevalskans veroorzaakt dan de intrinsieke toename door de intrinsiek ten gevolge van de groei
- 2) **Extra beheersmaatregelen:** de werkelijke kans kan verder worden verlaagd door extra maatregelen bovenop de autonome veiligheidstoename, vaak preventief als gevolg van specifieke risicoanalyses, soms reactief naar aanleiding van incidenten
- 3) **Risicomix:** Het totale risico als gevolg van de verschillende categorieën is opgebouwd uit kansen van een verschillende orde grootte. Ook al is het kwadratische effect procentueel gezien hoger, als de recht evenredige ongevalskansen in absolute zin vele malen groter zijn dan die ten gevolge van de kwadratische toenemende, dan zal het totale absolute intrinsieke ongevalskans per jaar toch recht evenredig toenemen met de groei van het vliegverkeer.

In het rapport wordt de kwadratisch toenemende kans op een mid-air collision (MAC) terecht gezien als een kleine kans in de totale risicomix. De absolute aantallen incidenten zijn momenteel zelfs dermate laag dat historische gegevens rond Schiphol geen enkel duidelijk verband kunnen laten zien. In sectie 4.2.2.1 over mid-air collisions (MAC) wordt gesteld dat de intrinsieke, kwadratische kans geldt voor “ongeordend verkeer als er niet wordt ingegrepen door verkeersleiders, piloten of TCAS”. Uit meerdere wetenschappelijke studies^{1,2,3,4} blijkt echter dat het kwadratische verband met het aantal vliegbewegingen blijft bestaan, ook bij georganiseerd verkeer en ook bij ingrijpen door de verkeersleider, de piloot of TCAS. Dit staat ook los van beschouwingen over werklastpieken of -dalen (i.t.t. sectie 4.2.4.3 ATM categorie) De intrinsieke kans is namelijk in feite de belasting van het veiligheidssysteem dat uit al deze

elementen is samengesteld. De absolute grootte van de kans wordt wel in grote mate beïnvloed door deze maatregelen, het kwadratische verband met de groei niet.

Verderop in het deel over mid-air collisions (MAC) wordt dit wel in bedekte termen genoemd: er wordt besproken over of de kans per beweging toeneemt met 10% bij 10% groei, dat is dus een kwadratische kanstoename. Er wordt geconcludeerd dat dit niet aannemelijk is. In sectie 4.2.3.2 (ground collisions, GCOL) wordt echter weer wel gesteld dat de kans per beweging op een botsing in de lucht en op de grond recht evenredig is met de verkeersdichtheid. Dit is dus voor de totale kans een kwadratisch verband. Het woord kwadratisch wordt vermeden door dan te spreken over een “recht evenredige toenemende kans per beweging” en de 21% wordt vermeden door te spreken over een toename van “10% per beweging bij een groei van 10%.” Dit is verwarrend.

Figuur 26 op in sectie 4.2.2.1 geeft de incidenten per vliegbeweging van een separatieonderschrijding voor toenemend vliegverkeer. Hieruit blijkt een grote effectiviteit van de combinatie van verkeersleiding, luchtruimindeling, piloot en TCAS op Schiphol. Dit totale veiligheidssysteem zorgt voor een dermate lage hoeveelheid incidenten dat de kwadratische effecten zich door blijkaar niet hebben kunnen manifesteren op het aantal incidenten tot nu toe. Het is niet aannemelijk dat een beperkte verkeersgroei van 10% de ordegrrootte van de kans op ongevallen in zo'n grote mate zal veranderen dat dit doorwerkt in de totale toename van de kans. Ook zijn er voor bepaalde categorieën nu al waarschuwingssystemen zoals het Runway Incursion Alerting System Schiphol (RIASS). Aandacht voor de beheersmaatregelen blijft hier echter wel van belangrijk om dit effect zo laag te houden vanwege het dubbele intrinsieke effect van de groei op de belasting van het veiligheidssysteem.

Samenhang beheersmaatregelen, verwachte autonome veiligheidstoename en conclusies

In het eerste deel van hoofdstuk 5 over de geconsolideerde resultaten wordt een toename van het de ongevalskans per beweging in 10 categorieën geïdentificeerd en wordt de noodzaak van beheersmaatregelen onderschreven. De totale conclusie is na een kwalitatieve beschouwing dat ten gevolge van beheersmaatregelen de ongevalskans per vliegbeweging niet toeneemt. De beheersmaatregelen zijn overzichtelijk te vinden in appendix C.

De resulterende, recht evenredige toename van de ongevalskans met de groei van het vliegverkeer moet worden gecompenseerd door de autonome veiligheidstoename, die op basis van historische gegevens (2% - 4%) wordt geschat op 3% per jaar. De in het tweede deel van dit resultatenhoofdstuk gepresenteerde conclusie dat de totale ongevalskans bij een beperkte groei van 3 % per jaar niet zal toenemen, moet daarom worden gelezen in de context van een groot aantal voorwaarden en maatregelen alsmede de aanname dat de historisch waargenomen, autonome veiligheidstoename doorzet.

De positieve eindconclusie kan daarom uitsluitend in samenhang met deze aannames en maatregelen worden gebruikt.

Prof.dr.ir. Jacco M. Hoekstra
 Hoogleraar CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management)
 TU Delft, faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek

Wiskundige formulering verband groei en ongevals kans

De totale ongevalskans per jaar als functie van het aantal vliegbewegingen is gegeven door het sommeren van de kansen (risico-mix):

$$\text{Totale kans: } P_{tot}(n) = p_0 + p_1 \cdot n + p_2 \cdot n^2$$

$$\text{Per beweging: } P_{beweging} = \frac{P_{tot}(n)}{n} = \frac{p_0}{n} + p_1 + p_2 \cdot n$$

p_0 = kans op een ongeval waarbij geen vliegtuig als oorzaak betrokken is

p_1 = kans op een ongeval waarbij één vliegtuig betrokken is per bewegingen

p_2 = kans op een ongeval waarbij twee vliegtuigen betrokken zijn bij de oorzaak (botsingen) per paar vliegtuigbewegingen

In het rapport wordt kwalitatief beredeneerd dat tweede term in absolute zin groter is dan de derde en daarom bepalend. Dat lijkt mij juist. Het bestaan van de derde, kwadratische term wordt echter ontkend bij geordend verkeer (sectie 4.2.2.1). Echter, deze term bevat deze term een soort fundamentele natuurwet die zegt dat voor deze term in al het vliegverkeer, geordend en ongeordend, dat dit verband kwadratisch is. Omdat de derde term veel gevoeliger is voor groei moet die wel scherp in de gaten worden gehouden om te zorgen dat die verhouding niet verandert en de conclusie zijn geldigheid niet verliest. De derde term betreft kansen op mid-air collisions, ground collisions (tussen vliegtuigen en met afhandelingsvoertuigen van andere vliegtuigen) en botsingen ten gevolge van runway incursions.

Noten:

1. Hoekstra, J. M., Ruijgrok, R. C. J., and van Gent, R. N. H. W., "Free Flight in a Crowded Airspace?" *Proceedings of the 3rd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Naples, Italy, 2000*
2. M. R. Jardin, "Analytical Relationships Between Conflict Counts and Air-Traffic Density," *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 28, no. 6, pp. 1150–1156, 2005
3. Hoekstra, J., Maas, J., Tra, M., and Sunil, E., "How Do Layered Airspace Design Parameters Affect Airspace Capacity and Safety?" *7th International Conference on Research in Air Transportation, Philadelphia, USA, 2016*
4. Sunil, E., Ellerbroek, J., Hoekstra, J., Maas, J., "Modelling Airspace Satbility and Capacity for Decentralized Separation", *Twelfth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2017), Seattle, USA, 2017*

Deze pagina is opzettelijk blanco.

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam, The Netherlands

p) +31 88 511 3113 f) +31 88 511 3210

e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl