



Dedicated to innovation in aerospace

safetyinstitute

NLR-CR-2019-362 | november 2019

# Herziene ongevalkansen van derde generatie vliegtuigen voor NLR IMU-model (RANI-2018)

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

## Herziene ongevalkansen van derde generatie vliegtuigen voor NLR IMU-model (RANI-2018)



### Probleemstelling

De Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV) heeft in 2017 de veiligheidsrisico's van luchthaven Schiphol doorgelicht. Daaruit volgt dat de grenzen van een veilige afhandeling van het vliegverkeer in zicht komen. Voor de verdere groei van de luchthaven moeten de risico's voor het vliegverkeer op en rond de luchthaven worden aangepakt, en daarvoor is een aantal drastische c.q. forse aanpassingen benodigd.

Naar aanleiding van het OVV-onderzoek is naar de effectiviteit van het vigerende externe veiligheidsbeleid van de luchthaven onderzocht en de verbeteringsmogelijkheden daarvan verkend. Eén daarvan is de actualisering van de externe-veiligheidsongevalkansen van Schiphol.

#### RAPPORTNUMMER

NLR-CR-2019-362

#### AUTEUR(S)

Y.S. Cheung  
G.W.H. van Es

#### RUBRICERING RAPPORT

ONGERUBRICEERD

#### DATUM

november 2019

#### KENNISGEBIED(EN)

Luchtvaartveiligheid  
Externe Luchtvaart  
Veiligheid en  
beleidsondersteuning

#### TREFWOORD(EN)

Ongevalkansen  
Externe veiligheid  
Overshoots  
Undershoots  
Overshoots

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft NLR een onderzoek uitgevoerd om de ongevalkansen te actualiseren die worden gebruikt in het berekenen van externe veiligheidsrisico's en daarmee de risicocontouren voor luchthaven Schiphol te bepalen.

## Beschrijving van de werkzaamheden

Dit rapport presenteert het onderzoeksresultaat van de recente actualisatie van de ongevalkansen voor Schiphol van derde generatie vliegtuigen. Deze herziene ongevalkansen hebben de werknaam RANI-2018 gekregen: Revised Accident rates of third-generation aircraft for NLR IMU-model 2018.

De actualisatie is gebaseerd op ongevallen- en vluchtendata uit de periode 2001 tot en met 2018. Deze periode is gekozen omdat het een tijdvak betreft waarin relevante ontwikkelingen op het gebied van de luchtvaartveiligheid hebben plaatsgevonden. De data uit deze periode leveren voldoende representatieve ongevallen om voor elk ongevaltype een ongevalkans te kunnen bepalen.

## Resultaten en conclusies

Voor de vier EV ongevaltypen die onderdeel zijn van de standaard externe-veiligheidsberekening, te weten landing undershoot, take-off overshoot, landing overrun en take-off overrun, zijn nieuwe ongevalkansen afgeleid.

Analyse van de resultaten laat zien dat de ongevalkansen van RANI-2018 voor alle ongevalstypen kleiner zijn dan de ongevalkansen van RANI-2010 die gebaseerd zijn op de periode van 2001 tot en met 2010. De relatieve verschillen geven aan dat de verschillen variëren tussen 15% en 45%. De som van de RANI-2018 ongevalkansen is 0,197 per miljoen vluchten, en deze is een kwart (26%) kleiner dan die van RANI-2010.

Een belangrijke verklaring is de autonome verbetering van luchtvaartveiligheid die doorwerking heeft op de externe-veiligheidsongevallen. De verbetering is het resultaat van een breed scala aan veiligheidsinitiatieven die in het verleden zijn geïntroduceerd en nu nog worden gecontinueerd.

## Toepasbaarheid

Er wordt voorgesteld om de RANI-2018 ongevalkansen die in dit rapport worden afgeleid te introduceren als herziene ongevalkansen voor derde generatie zwaar verkeer op Schiphol en daarmee vergelijkbare grote luchthavens.

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

p ) +31 88 511 3113

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



Dedicated to innovation in aerospace

safetyinstitute

NLR-CR-2019-362 | november 2019

# Herziene ongevalkansen van derde generatie vliegtuigen voor NLR IMU-model (RANI-2018)

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

AUTEUR(S):

s

NLR  
NLR

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

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>OPDRACHTGEVER</b>     | Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat              |
| <b>CONTRACTNUMMER</b>    | Min.IenW zaaknummer 31149989 (NLR projectnummer 1159105) |
| <b>EIGENAAR</b>          | Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat              |
| <b>NLR DIVISIE</b>       | Aerospace Operations                                     |
| <b>VERSPREIDING</b>      | Beperkt  |
| <b>RUBRICERING TITEL</b> | ONGERUBRICEERD   |

| <b>GOEDGEKEURD DOOR:</b> |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |                           |  |  |  |  |  |
|--------------------------|--|--|--|--|--|-----------------|--|--|--|--|--|---------------------------|--|--|--|--|--|
| <b>AUTEUR</b>            |  |  |  |  |  | <b>REVIEWER</b> |  |  |  |  |  | <b>BEHERENDE AFDELING</b> |  |  |  |  |  |
|                          |  |  |  |  |  |                 |  |  |  |  |  |                           |  |  |  |  |  |
| <b>DATUM</b>             |  |  |  |  |  | <b>DATUM</b>    |  |  |  |  |  | <b>DATUM</b>              |  |  |  |  |  |

# Samenvatting

Dit rapport presenteert het onderzoek naar de actualisatie van de ongevalkansen van derde-generatie vliegtuigen op Schiphol. De herziene ongevalkansen hebben de naam **RANI-2018** gekregen: **Revised Accident rates of third-generation aircraft for NLR IMU-model 2018**.

Voor de ongevallen- en vluchtdata is gekozen voor data uit de periode 2001 tot en met 2018. De data uit deze periode levert voldoende representatieve ongevallen om voor elk ongevaltype een ongevalkans te bepalen binnen een tijdvak waarin voor Schiphol relevante ontwikkelingen op het gebied van luchtvaartveiligheid hebben plaatsgevonden.

De luchthavens die representatief zijn voor Schiphol zijn dezelfde gebleven als die van de vorige actualisering van ongevalkansen RANI-2010: er is uitgegaan vijftig grote internationale luchthavens in Noord-Amerika en West-Europa. Voor deze luchthavens is een dataset samengesteld van relevante ongevallen die hebben plaatsgevonden rond deze luchthavens en het bijbehorend aantal vluchten. Voor de vier externe-veiligheidsongevaltypen landing undershoot, take-off overshoot, landing overrun en take-off overrun zijn vervolgens nieuwe ongevalkansen afgeleid.

Analyse van de resultaten laat zien dat de ongevalkansen van RANI-2018 voor alle ongevalstypen kleiner zijn dan van RANI-2010 die gebaseerd zijn op de periode van 2001 tot en met 2010. Een belangrijke verklaring is de autonome verbetering van luchtvaartveiligheid die doorwerking heeft op alle externe-veiligheidsongevallen: runway excursions, undershoots en overshoots. De verbetering is het resultaat van een breed scala aan veiligheidsinitiatieven die in het verleden zijn geïntroduceerd en nu nog worden gecontinueerd. Dit behelst onder meer Safety Management System voor operators, luchthavens, en autoriteiten; internationale samenwerkingen en safety werkgroepen; safety-culture; verbeterde piloot-training en tool-kits; en flight data monitoring programma.

Het NLR stelt voor om op termijn de RANI-2018 ongevalkansen te gebruiken voor berekening van externe veiligheidsrisico's van luchthaven Schiphol, zowel voor de prognostische berekeningen (de milieu-effect-rapportage-studies en Gebruiksprognoses) als voor de (jaarlijkse) controleberekening die achteraf plaatsvindt. Hiervoor moeten de ongevalkansen als modelparameters in de GEVERS applicatie worden geüpdatet. Het bijbehorende rekenvoorschrift en de GEVERS-handleiding dienen tevens aangepast te worden aan de nieuwe parameterwaarden.

Een punt van aandacht is het veer-off ongeval. Hoewel de kans op een veer-off ongeval van de RANI-2018 dataselectie toeneemt ten opzichte van die van RANI-2010, zijn beide kanswaarden statistisch niet verschillend. Wel is het zo, dat het aantal veer-off ongevallen aanzienlijk is; vooral het aantal landing veer-off's vormt het grootste aandeel van de geselecteerde ongevallen. Op termijn zou overwogen kunnen worden een risicomodel te ontwikkelen om het veer-off risico in kaart te brengen ten behoeve van (externe-)veiligheidsbeleid om mensen die zich naast de baan bevinden te beschermen.

# Inhoudsopgave

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Afkortingen</b>                                    | <b>5</b>  |
| <b>1 Inleiding</b>                                    | <b>7</b>  |
| <b>2 Databronnen</b>                                  | <b>9</b>  |
| 2.1 Ongevalgegevens                                   | 9         |
| 2.2 Vluchtaantallen                                   | 9         |
| <b>3 Selectiecriteria van data</b>                    | <b>11</b> |
| 3.1 Selectie luchthavens                              | 11        |
| 3.2 Selectie ongevalgegevens                          | 11        |
| 3.3 Selectie vluchtaantallen                          | 13        |
| <b>4 Datasets</b>                                     | <b>15</b> |
| 4.1 Ongevallendata                                    | 15        |
| 4.2 Exposure data                                     | 16        |
| 4.3 Dataset RANI-2018                                 | 17        |
| <b>5 Resultaten en bespreking</b>                     | <b>19</b> |
| 5.1 EV-ongevalkansen RANI-2018                        | 19        |
| 5.2 Discussie   | 21        |
| <b>6 Conclusies en aanbevelingen</b>                  | <b>24</b> |
| 6.1 Conclusies  | 24        |
| 6.2 Aanbevelingen                                     | 24        |
| <b>7 Referenties</b>                                  | <b>25</b> |
| <b>Appendix A Overzicht geselecteerde luchthavens</b> | <b>26</b> |
| <b>Appendix B Selectie EV-ongevallen</b>              | <b>28</b> |
| Appendix B.1 Dataset EV-ongevallen 2011-2018          | 28        |
| Appendix B.2 Dataset EV-ongevallen RANI-2010          | 29        |

## Afkortingen

| ACRONIEM            | OMSCHRIJVING  |
|---------------------|---|
| ADREP               | (ICAO) Accident and incident Data REPorting system  |
| AIDS                | (FAA) Accident and Incident Data Systems  |
| AMS                 | Luchthaven Amsterdam Schiphol   |
| ANSV                | Agenzia Nazionale per la Sicurezza del Volo (Italië)                                      |
| AR                  | Accident Rate (ongevalkans of ongevalsratio)  |
| ASIAS               | (FAA) Aviation Safety Information Analysis and Sharing                                    |
| ATIS                | Automatic Terminal Information System   |
| ber                 | berekend  |
| BFU                 | Bundestelle für Flugunfalluntersuchung (Duitsland)  |
| CDG                 | Luchthaven Parijs Charles de Gaulle   |
| CFIT                | Controlled Flight Into Terrain  |
| CIAIAC              | Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (Spanje)           |
| EASA                | European Aviation Safety Agency (Europese luchtvaartveiligheid organisatie)               |
| ECCAIRS             | European Co-ordination Centre for Aviation Incident Reporting Systems                     |
| (E)GPWS             | (Enhanced) Ground Proximity Warning System  |
| EFIS                | Electronic Flying Instrument System   |
| EV                  | Externe veiligheid  |
| FAA                 | Federal Aviation Administration   |
| FRA                 | Luchthaven Frankfurt-Main   |
| FSF                 | Flight Safety Foundation  |
| Gen                 | (Vliegtuig)generatie  |
| Generatie 1/2/3     | Eerste / tweede / derde generatie (vliegtuigen)   |
| GEVERS              | Geïntegreerd Externe VEiligheid RekenSysteem  |
| IATA                | International Air Transport Association   |
| ICAO                | International Civil Aviation Organization<br>(Internationale burgerluchtvaartorganisatie) |
| IMU                 | Interim Model Update  |
| IMU-model           | Het Externe Veiligheidsmodel voor Schiphol en vergelijkbare luchthavens                   |
| INTL / Intl / Int'l | International   |
| krit                | kritiek   |
| LHR                 | Luchthaven Londen Heathrow  |
| LIB                 | Luchthavenindelingbesluit (Schiphol)  |
| MTOW                | Maximum Take Off Weight (maximaal startgewicht)   |
| NLR                 | Royal Netherlands Aerospace Centre  |
| NTSB                | National Transport Safety Board (Verenigde Staten)  |



| ACRONIEM | OMSCHRIJVING  |
|----------|---|
| OAG      | Official Airline Guide  |
| OVV      | Onderzoeksraad voor Veiligheid  |
| RANI     | Revised Accident rates of third-generation aircraft for NLR IMU-model                                   |
| RE       | Runway Excursion  |
| RMI      | Regeling Milieu-informatie  |
| RMT      | Rule-making task  |
| SMS      | Safety Management System  |
| STSB     | Swiss Transportation Safety Investigation Board<br>(Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST) |
| TAR      | Terminal Area Surveillance Radar  |
| TAWS     | Terrain Awareness & Warning System  |
| TCAS     | Traffic Alert and Collision Avoidance System  |
| TRIPAC   | Third-party Risk calculation PACKage  |
| TSB      | Transportation Safety Board of Canada   |
| VOLMET   | Meteorological information for aircraft in flight   |

## Lijst van symbolen

| SYMBOOL | OMSCHRIJVING           |
|---------|------------------------|
| #       | Aantal                 |
| $H_0$   | Nulhypothese           |
| $H_1$   | Alternatieve hypothese |
| Z       | Z-statistic            |

# 1 Inleiding

De Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV) heeft in 2017 de veiligheidsrisico's van luchthaven Schiphol doorgelicht (Ref. 1). Daaruit volgt dat de grenzen van een veilige afhandeling van het vliegverkeer in zicht komen. Voor de verdere groei van de luchthaven moeten de risico's voor het vliegverkeer op en rond de luchthaven worden aangepakt, en daarvoor is een aantal drastische c.q. forse aanpassingen benodigd.

Naar aanleiding van het OVV-onderzoek heeft het onderzoeksbureau To70 in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Min. IenW) de effectiviteit van het vigerende externe veiligheidsbeleid van de luchthaven onderzocht en de verbeteringsmogelijkheden daarvan verkend. In referentie 2 wordt de volgende aanbeveling gedaan:

Aanbeveling 1: Ontwikkeling in de luchtvaart en nieuwe inzichten voor de berekening van risico's leiden er toe dat risicocontouren niet vast zijn. De huidige LIB 1 en LIB 3 gebieden zijn vastgesteld in 2004 en sindsdien niet meer geactualiseerd. De Minister heeft in kamerbrieven reeds aangekondigd dat met de introductie van het nieuwe normen- en handhavingstelsel de LIB 1 t/m 4 gebieden zullen worden geactualiseerd. Aanbevolen wordt dat het ministerie periodiek, bijv. eens in vijf jaar, de ontwikkelingen in de risicocontouren monitort en waar nodig de beperkingengebieden daarop aangepast, vooral als op locaties de risico's zijn toegenomen. Neem daarbij de ontwikkeling in ongevalkansen mee.

Mede op grond van deze aanbeveling heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat het NLR gevraagd de ongevalkansen te actualiseren die worden gebruikt in het berekenen van externe veiligheidsrisico's en het bepalen van de risicocontouren voor luchthaven Schiphol. De huidige ongevalkansen zijn voor het laatst geüpdatet in 2013 (zie referentie 5). Daarbij is gebruik van een set ongeval- en vluchtgegevens van de periode 2001-2010. Gezien het feit dat de gegevens gedateerd en minder goed representatief kunnen zijn voor het daadwerkelijk operatie- en veiligheidsniveau van luchthaven Schiphol, bestaat de behoefte om de ongevalkansen te actualiseren met gegevens van recentere jaren.

## **Uitgangspunten**

In de reken-softwareapplicatie GEVERS van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en TRIPAC van NLR onderscheidt het rekenmodel voor externe veiligheid voor grote luchthavens (hierna: het EV-model voor Schiphol) drie vliegtuiggeneraties met elk een eigen ongevalkans per ongevaltype. Veruit het grootste deel van de vliegtuigen op Schiphol betreft vliegtuigen van de (nieuwste) derde generatie. Het onderhavig onderzoek van het actualiseren van ongevalkansen is gericht op de derde-generatie vliegtuigen.

Dit rapport beschrijft het onderzoek en de resultaten van de actualisering van ongevalkansen. Voor het onderhavig onderzoek worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. De wijze van afleiding moet (zo veel mogelijk) aansluiten bij de wijze die gehanteerd is voor de huidige ongevalkansen.
2. De aandacht is gericht op de zogenaamde derde-generatie vliegtuigen (gen-3 vliegtuigen), omdat dit verkeerstype het merendeel van het Schiphol-verkeer uitmaakt. Gen-3 vliegtuigen zijn bijvoorbeeld A320, B737NG, B777 en A350. Opgemerkt moet worden dat Airbus tegenwoordig sommige gen-3 vliegtuigen als vierde-generatie vliegtuigen noemen als deze over "flight envelop protection" beschikken. Dit betreft bijvoorbeeld A350(NEO), B777, B787 en sommige Embraer straalvliegtuigen.

3. De ongevalkansen worden afgeleid voor vier type externe veiligheidsongevallen: take-off overrun, take-off overshoot, landing overrun en landing undershoot.  
Veer-off's zijn niet nodig in de berekening van externe-veiligheidsrisico's voor luchthavens in Nederland. Echter, in voorgaande onderzoeken van afleiding en updates van ongevalkansen voor de grote luchthavens zijn veer-off's wel beschouwd. Omwille van consistentie met eerdere onderzoeken worden derhalve veer-off ongevalsegevens verzameld en geanalyseerd, en de ongevalkans daarvan wordt bepaald.
4. Ongevalkans wordt bepaald als een ratio tussen aantal ongevallen en aantal vluchten.

De verzameling van nieuwe gegevens (ongevallen en vluchten) wordt gedaan voor de periode 2011-2018. In het onderzoek wordt aangetoond of in de beschouwde periode voldoende gegevens kunnen worden vergaard. Voor de bepaling van ongevalkansen wordt initieel gedacht aan een periode van minimaal 10 jaar. Als uit de verzameling en analyse van gegevens blijkt dat de hoeveelheid beschikbare gegevens (te) beperkt zijn voor een afleiding van ongevalkans met voldoende statistische nauwkeurigheid wordt een andere of langere periode beschouwd. Dit betekent dat in dat geval de gegevens van de huidige ongevalkansen die nu in het EV-model voor Schiphol worden toegepast, ook worden gebruikt bij het actualiseren van ongevalkansen.

#### **Leeswijzer**

Dit rapport is als volgt georganiseerd. Na de inleiding (hoofdstuk 1) behandelt hoofdstuk 2 de gebruikte databronnen voor het verzamelen van ongeval- en vluchtgegevens. De gehanteerde selectiecriteria van data zijn beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 presenteert de verkregen datasets van ongevallen en vluchtaantallen. Deze informatie wordt verder toegepast in de afleiding van de ongevalkansen; hoofdstuk 5 is gewijd aan de resultaten van de bepaling van ongevalkansen, inclusief een beknopte bespreking. Als afsluiting van het rapport geeft hoofdstuk 6 de conclusies en enkele aanbevelingen ten aanzien van de resultaten.

## 2 Databronnen

In dit onderzoek worden de ongevalkansen van derde-generatie vliegtuigen geactualiseerd. Voor de actualisering worden twee type databronnen gebruikt: (1) ongevallen en (2) vluchtaantallen. Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van deze twee databronnen.

### 2.1 Ongevalgegevens

Bij de verzameling van ongevalsgegevens zijn meerdere databronnen betrokken. Net als in het kader van RANI-2010 (Ref. 5) worden de ongevalsgegevens geëxtraheerd uit officiële ongevalsdatabases van ASCEND (voorheen: Airclaims database) en ECCAIRS (voorheen: ICAO ADREP). Deze twee databronnen bevatten gegevens van ongevallen en incidenten wereldwijd. De ASCEND gegevens zijn up-to-date, dat wil zeggen deze zijn tot en met mei/juni 2019 beschikbaar. ECCAIRS data zijn alleen beschikbaar tot en met het jaar 2016.

Vanwege de nauwkeurigheid van de informatie en om het aantal bruikbare, relevante ongevallen te krijgen wordt de verzameling van data verder aangevuld met gegevens uit Flight International waarvoor NLR de digitale versie tot haar beschikking heeft en met de websites AvHerald en Aviation Safety Network die publiek toegankelijk zijn. Hoewel deze databronnen geen officiële bronnen zijn blijkt uit NLR-ervaring dat ze wel degelijk toegevoegde waarde hebben om de verzameling van gegevens te verbreden.

Voor de eindcontrole van de informatie en de controle op de juistheid van de toekenning van het EV-ongevalstype wordt ook andere officiële informatie geraadpleegd. De informatie is onttrokken uit de (beknopte) officiële onderzoeksrapporten van onder meer Onderzoeksraad (OVV), FAA (ASIAS AIDS), NTSB, TSB, BFU, STSB, CIAIAC, ANSV en Havarikommissionen (Accident Investigation Board Denmark) die online beschikbaar zijn.

### 2.2 Vluchtaantallen

Voor de verzameling van de vluchtaantallen (vliegbewegingen op luchthavens) wordt, net als bij de IMU en andere updates van EV-ongevalkansen, gebruik gemaakt van de database van de Official Airline Guide (OAG). De OAG database bevat data van 'scheduled flights' van vliegtuigen met MTOW vanaf 5.700 kg die uitgevoerd zijn op alle commerciële (dus civiele) luchthavens wereldwijd. De database omvat de volgende informatietypen (in het Engels): *departure airport, destination airport, operator, aircraft type, date and service type (for example, regular, charter, combi or cargo)*.

Het NLR heeft de volledige OAG gegevens van 2011 en 2012 reeds in bezit. Voor dit onderzoek zijn gegevens voor de periode 2012-2018 nodig. Uit een inventarisatie van NLR blijkt dat de aanschafkosten van een volledige OAG dataset voor de genoemde periode zeer hoog zijn in verhouding tot de uitvoering van het onderzoeksproject. Een kosten-efficiënte oplossing is gevonden door voor ieder kwartaal in de periode 2012-2018 één set 'scheduled flights'-gegevens van een week aan te schaffen. Er wordt aangenomen dat gegevens van een week representatief zijn voor de rest van het kwartaal (zie kader). Deze aanname wordt realistisch geacht omdat vrijwel op alle grote luchthavens het

vliegverkeer geregeld ('scheduled flight') is en deze vluchten vaak volgens een jaarlijks winter/zomer schema worden uitgevoerd.

Eén kwartaal bestaat uit 13 weken. Om verkeersgegevens van één kwartaal te krijgen worden de OAG-data van één week opgehoogd met een factor 13. Met vier datasets van OAG van één week kunnen daarom gegevens voor vier kwartalen samengesteld. Zo wordt een dataset voor één jaar gegenereerd.

De samengestelde OAG-gegevens worden gevalideerd met behulp van de gegevens die afzonderlijk worden verzameld uit de jaarrapportages of gearchiveerde verkeersgegevens die online beschikbaar zijn voor de verschillende luchthavens.

## 3 Selectiecriteria van data

De externe-veiligheidsongevallen en de vluchtendata worden geselecteerd voor een set luchthavens. De luchthavens die beschouwd zijn in de bepaling van ongevalkansen moeten wel representatief zijn voor Schiphol. Dit hoofdstuk behandelt eerst de criteria van luchthavenselectie.

Verder in dit hoofdstuk wordt ingegaan op de criteria van selectie van ongevallen en vluchtaantallen. Op basis van de geselecteerde luchthavens worden ongevallen en vluchtaantallen verzameld.

### 3.1 Selectie luchthavens

Geselecteerd zijn grote internationale luchthavens die representatief zijn voor Schiphol (inclusief luchthaven Schiphol zelf). In de studie is dezelfde selectie gehanteerd als voor RANI-2010 (Ref. 5). De criteria worden hieronder opgesomd:

1. De luchthaven is voorzien van een Terminal Approach Radar (TAR);
2. Ten minste 70% van de naderingen betreft een zogenaamde precisienadering;
3. De luchthaven is gelegen in Europa (inclusief het voormalig Oost-Europa) of Noord-Amerika;
4. De luchthaven is voorzien van Automatic Terminal Information System (ATIS) en van een systeem dat meteorologische informatie verschaft aan vliegtuigen tijdens de vlucht (VOLMET);
5. De luchthaven accommodeert jaarlijks tenminste 150.000 commerciële bewegingen in ieder afzonderlijk jaar van de beschouwde tijdsperiode.

Met deze criteria wordt een set van vijftig luchthavens verkregen. Appendix A geeft een overzicht van de luchthavens. In het onderhavig onderzoek wordt aangenomen dat die luchthavens ook in de periode 2011-2018 aan die selectiecriteria voldoen.

### 3.2 Selectie ongevalgegevens

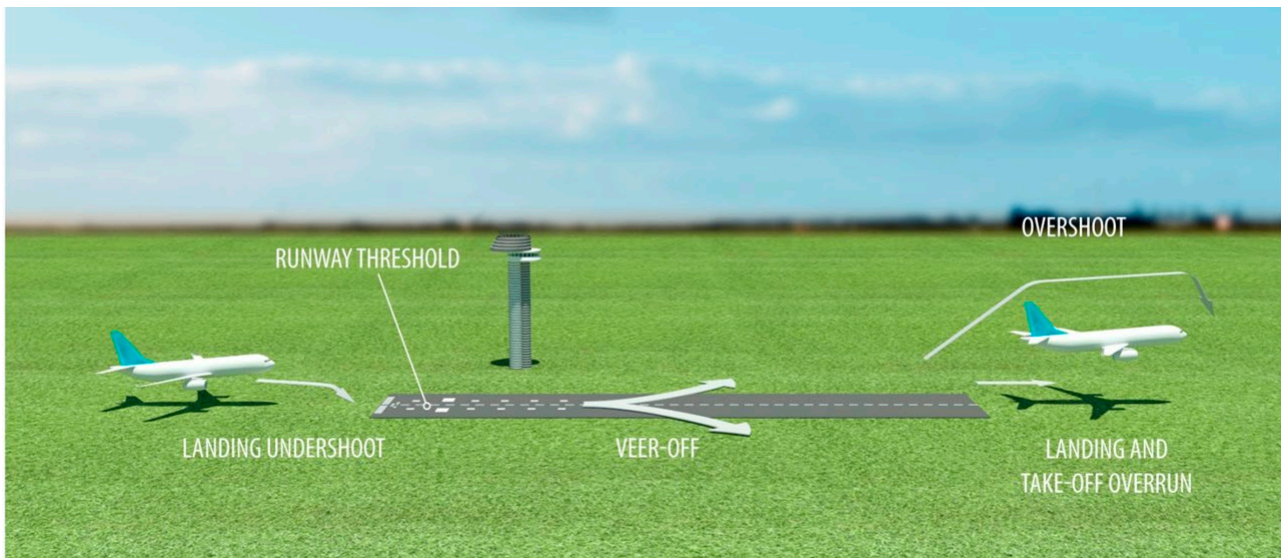
Uit de ongevallen wordt alleen externe-veiligheidsongevallen (EV-ongevallen) geselecteerd. De definitie van een externe-veiligheidsongeval is als volgt:

Elk ongewenst contact (van het vliegtuig) met de grond buiten de start- en landingsbaan.

Zes EV-ongevalstypen worden onderscheiden:

- Take-off overshoot: een ongeval waarbij het vliegtuig nadat het is opgestegen weer op de grond terechtkomt.
- Take-off overrun: een ongeval waarbij het vliegtuig bij de take-off aan het einde van de baan rijdend de baan verlaat.
- Take-off veer-off: een ongeval waarbij het vliegtuig bij de take-off rijdend de baan verlaat langs de zijkant van de baan.
- Landing undershoot: een ongeval tijdens de landingsfase waarbij het vliegtuig op de grond vóór de baan terechtkomt.
- Landing overrun: een ongeval waarbij het vliegtuig bij de landing aan het einde van de baan rijdend de baan verlaat.

- Landing veer-off: ongeval waarbij het vliegtuig bij de landing rijdend de baan verlaat langs de zijkant van de baan.



Figuur 1: De zes externe-veiligheidsongevalstypen: landing undershoot, landing overrun, landing veer-off, take-off overshoot, take-off overrun en take-off veer-off

De selectie van de EV-ongevallen vindt plaats op grond van de volgende criteria (punt 2 tot en met 6 zijn conform referentie 3):

1. De ongevallen hebben plaats gevonden in de periode 2011-2018;
2. Helikopterongevallen zijn uitgesloten;
3. Ongevallen met militaire vliegtuigen zijn niet beschouwd;
4. Ongevallen die tijdens een testvlucht of demonstratievlucht zijn niet meegenomen;
5. Het MTOW van het vliegtuig moet minimaal 5.700 kg zijn;
6. Ongevallen hebben plaatsgevonden in één van de volgende vluchtfases: start, initiële klim, initiële nadering, final approach, landing of go-around;
7. Ongevallen als gevolg van sabotage, hijack, terroristische aanslag of militaire actie zijn buiten beschouwing gelaten.

Vermeldenswaardig is dat het vliegtuig van de derde generatie moet zijn. Aan de set selectiecriteria wordt daarom het volgende criterium toegevoegd:

8. Ongevallen met derde-generatie vliegtuigen worden beschouwd.

De definitie van een derde-generatie vliegtuig is gegeven in referentie 3. Typische derde-generatie vliegtuigen zijn Airbus A320, A330, A340 en A350, en Boeing 737 (700/800/900 series), 747-400, 777 en 787. Voor een actueel overzicht van derde-generatie vliegtuigen kan verwezen worden naar de Regeling milieu-informatie (RMI) luchthaven Schiphol (bijlage 8, annex 8C2, "Indeling van vliegtuigtypen naar vliegtuigcategorieën (externe veiligheid)") (Ref. 6).

Als laatste, aanvullend op de bovengenoemde criteria, wordt het volgende criterium toegevoegd vanwege het feit dat de vluchtgegevens gebaseerd zijn op 'scheduled flights' van OAG database:

9. Ongevallen die tijdens een 'scheduled flight' plaats hebben gevonden.

Opgemerkt moet worden dat criteria 8 en 9 niet nieuw in dit onderzoek zijn geïntroduceerd. In het kader van eerdere updates van ongevalkansen voor het EV-model van grote luchthavens, referenties 4 en 5, zijn die twee criteria reeds toegepast in de dataselectie. Echter, omwille van volledigheid van informatie worden ze hier expliciet genoemd.

### 3.3 Selectie vluchtaantallen

De selectie van de vluchtaantallen vindt plaats op grond van de volgende criteria:

1. De vluchten zijn uitgevoerd op één van de geselecteerde luchthavens (Appendix A) in de periode 2011-2018;
2. Het MTOW van het vliegtuig moet minimaal 5.700 kg zijn;
3. Alleen derde-generatie vliegtuigen worden beschouwd;
4. De vlucht is een 'scheduled flight';
5. Operatietypen passagiersvervoer, vrachtvervoer en combi worden beschouwd.

De gebruikte OAG-databron voor het compileren van vluchtendataset (of 'exposure dataset') bevat alleen 'scheduled flights'. Een 'scheduled flight' behelst de volgende categorieën (in het Engels):

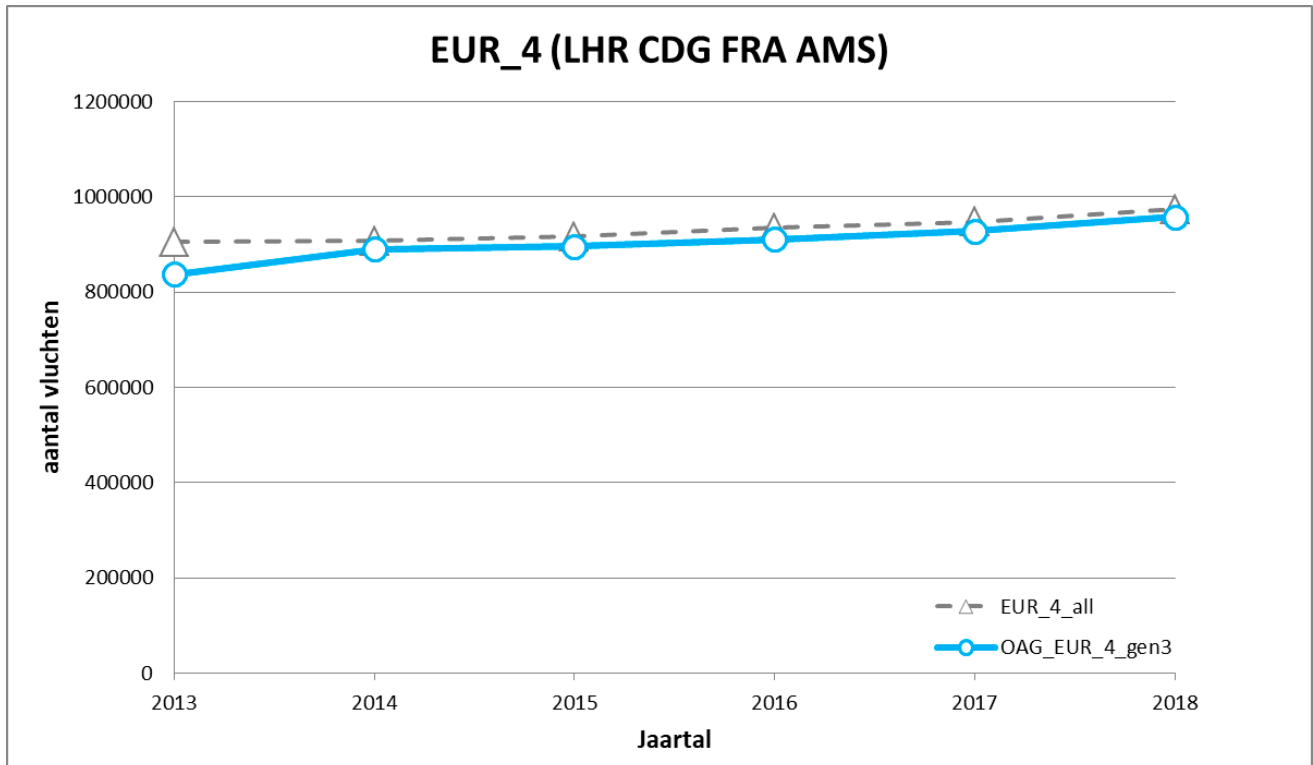
- International scheduled passenger.
- Domestic scheduled passenger.
- International scheduled cargo.
- Domestic scheduled cargo.

In paragraaf 2.2 is al gesproken over de samenstelling van gegevens voor een jaar op basis van OAG-gegevens die alleen voor één week per kwartaal in 2013-2018 zijn aangeschaft. Het resultaat van de verwerking van die gegevens wordt gevalideerd met de in de jaarrapporten vermelde gegevens van luchthavens. Figuur 2 geeft een vergelijking weer van de gegevens van de vier grootste luchthavens in West Europa: Londen Heathrow, Parijs Charles de Gaulle, Frankfurt-Main en Amsterdam Schiphol.

De vaste lijn in blauw geeft de verwerkte OAG-vluchtaantallen van de genoemde luchthavens weer. Deze aantallen betreffen uiteraard de scheduled flights en zijn alleen van generatie-3 vliegtuigen.

De stippellijn in grijs presenteert de vluchtaantallen die ontleend zijn aan de jaarrapporten of verkeersstatistieken van de vier luchthavens welke op internet beschikbaar zijn. Deze aantallen betreffen alleen de scheduled flights, maar bevatten naast het verkeer van generatie-3 vliegtuigen ook dat van oudere generaties (gen-1 en gen-2). Echter, op deze luchthavens is het aandeel vliegverkeer met oudere vliegtuiggeneraties zeer gering (schatting 2-3%).





Figuur 2: Vergelijking van vluchtaantallen voor vier grote Europese luchthavens. Blauwe lijn toon de verwerkte OAG scheduled flights data van generatie-3 vliegtuigen. Grijs stippellijn laat de aan jaarverslagen ontleende scheduled flights aantallen zien; deze vluchtaantallen bevatten naast generatie-3 vliegtuigen, ook andere/oudere vliegtuiggeneraties

Uit de grafiek van Figuur 2 is te zien dat de verwerkte OAG gegevens in lijn zijn met de gerapporteerde vluchtaantallen van scheduled flights. Analyse van gegevens voor enkele andere Europese luchthavens leveren vergelijkbaar beeld op.

Er is echter geen complete vergelijking gemaakt voor alle luchthavens. Dit komt doordat sommige luchthavens niet voor alle jaren de jaarverslagen of verkeersstatistieken op internet beschikbaar stellen, en dat sommige luchthavens, vooral de Amerikaanse, hun vluchtaantallen anders vermelden dan scheduled/non-scheduled flights. Voor die Amerikaanse luchthavens worden vaak verschillende aanduidingen gehanteerd voor hun trafficsegmenten, zoals Air Carrier, International Commercial, Domestic Commercial, Cargo, Air Taxi, Air Commuter, enzovoort. Het is dan niet duidelijk welk aandeel verkeer daadwerkelijk scheduled flights is.

Gezien het vrijwel identieke verloop van de grafieken in Figuur 2 en de succesvolle vergelijking van enkele (Europese) luchthavens mag uitgegaan worden dat de verwerking van de OAG gegevens nauwkeurig is uitgevoerd. De uitkomsten van de verwerking zijn dan geschikt om statistisch betrouwbare ongevalkansen af te leiden.

## 4 Datasets

Voor het vaststellen van ongevalkansen zijn twee datasets benodigd:

1. Ongevallendata, te weten het aantal externe-veiligheidsongevallen dat heeft plaatsgevonden
2. 'Exposure data', te weten het aantal starts van of het aantal landingen op de luchthaven.

Het betreft hierbij data van derde-generatie vliegtuigen met een maximaal startgewicht (MTOW) van 5.700 kg of groter.

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de nieuwe dataselecties, ongevallen en exposure data, en de dataset die uiteindelijk wordt gekozen voor het actualiseren van ongevalkansen.

### 4.1 Ongevallendata

De EV-ongevallen zijn verzameld en geanalyseerd voor de periode 2011-2018. Tabel 1 presenteert de verdeling van het aantal EV-ongevallen per ongevaltype voor het *scheduled* verkeer met derde-generatie-vliegtuigen op de vijftig luchthavens. De dataset laat zien dat runway excursions (overruns en veer-off's) een belangrijk deel uitmaken van het aantal ongevallen. Veer-off's tijdens landing vormen het grootste aantal EV-ongevallen. Opvallend is te zien dat in die periode geen take-off overrun plaats heeft gevonden op die luchthavens.

*Tabel 1: Aantal nieuwe ongevallen per type externe-veiligheidsongeval op Schiphol en de representatieve luchthavens*

| Ongevaltype                        | Dataset<br>2011-2018 |
|------------------------------------|----------------------|
| Landing undershoot                 | 3                    |
| Take-off overshoot                 | 1                    |
| Landing overrun                    | 3                    |
| Take-off overrun                   | 0                    |
| Landing veer-off                   | 16                   |
| Take-off veer-off                  | 2                    |
| <b>Totaal (inclusief veer-off)</b> | <b>25</b>            |
| <b>Totaal (exclusief veer-off)</b> | <b>7</b>             |

Tabel 2 presenteert een vergelijking van verschillende datasets die gebruikt zijn in de bepaling van EV-ongevalkansen voor grote luchthavens. Voor de actualisering van ongevalkansen is toepassing van alleen de gegevens 2011-2018 niet voldoende omdat er geen take-off overrun plaats heeft gevonden. Daarom is het noodzakelijk om (een deel van) de gegevens van eerdere dataset van RANI-2010 opnieuw te betrekken bij bepaling van ongevalkansen.

In de tabel zijn twee kandidaat dataselecties weergegeven welke gebruikt kunnen worden voor de bepaling van ongevalkansen: dataset 2005-2018 (13 jaren) en dataset 2001-2018 (18 jaren). Dataset 2005-2018 is helaas niet toereikend, omdat er (nog) geen take-off overrun is. Dataset 2001-2018 heeft daarom de voorkeur.

Dataset 2001-2018 behelst de gegevens van twee periodes: 2001-2010 (volledige RANI-2010 periode) en 2011-2018 (nieuwe verzameling). Een voorwaarde om de gegevens van deze twee periodes 'bij elkaar te mogen stoppen' is dat ze statistisch gezien niet van elkaar verschillen. Hiervoor kan men bijvoorbeeld de significantietoets met Z-statistic toepassen. Paragraaf 4.3 zal hier op ingaan.

Tabel 2: Aantal ongevallen per type externe-veiligheidsongeval op Schiphol en de representatieve luchthavens

| Ongevaltype                      | IMU<br>1980-1997 | RANI-2004<br>1992-2004 | RANI-2010<br>2001-2010 | Dataset<br>2005-2018 | Dataset<br>2001-2018 |
|----------------------------------|------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| Landing undershoot               | 4                | 7                      | 6                      | 5                    | 9                    |
| Take-off overshoot               | 1                | 1                      | 3                      | 3                    | 4                    |
| Landing overrun                  | 2                | 7                      | 12                     | 11                   | 15                   |
| Take-off overrun                 | 2                | 3                      | 1                      | 0                    | 1                    |
| Landing veer-off                 | 3                | 10                     | 14                     | 25                   | 30                   |
| Take-off veer-off                | 1                | 1                      | 2                      | 4                    | 4                    |
| <b>Totaal</b>                    | <b>13</b>        | <b>29</b>              | <b>38</b>              | <b>48</b>            | <b>63</b>            |
| <b>Totaal exclusief veer-off</b> | <b>9</b>         | <b>18</b>              | <b>22</b>              | <b>19</b>            | <b>29</b>            |

Opmerking: In de tabel zijn tevens het aantal veer-off ongevallen opgenomen. Dit geeft weer hoe het ongevaltype in de beschouwde periode zich ontwikkelt. Veer-off's vormen echter geen onderdeel van de wettelijke berekening van externe veiligheidsrisico's van luchthavens in Nederland, en er is geen officieel model ontwikkeld voor veer-off's in GEVERS.

## 4.2 Exposure data

De ongevalkans per ongevaltype in de start of landing worden bepaald als het aantal ongevallen per aantal starts of landingen. Het aantal starts is gemiddeld gelijk aan het aantal landingen en aan het aantal binnenkomende of uitgaande vluchten. De vluchtendata wordt ook wel als "exposure data" genoemd. Voor de ongevalkansbepaling hier is één vlucht gelijk aan één start of één landing. In Tabel 3 wordt de exposure data (aantal vluchten) weergegeven van het verkeer met derde-generatie vliegtuigen op de vijftig geselecteerde luchthavens, Schiphol en 49 representatieve luchthavens. In 2011-2018 zijn in totaal 65 miljoen vluchten gegenereerd (van scheduled flights en door gen-3 vliegtuigen).

Tabel 3: Aantal vluchten op Schiphol en de representatieve luchthavens

| Dataset   | # luchthavens | tijdperiode | # vluchten |
|-----------|---------------|-------------|------------|
| 2011-2018 | 50            | 2011-2018   | 65.018.341 |

Tabel 4 toont ter vergelijking een aantal selecties van exposure data: de vluchtendata zoals toegepast bij het oorspronkelijke IMU-project, de latere updates RANI-2004 en RANI-2010, en de twee kandidaat selecties voor huidige actualisering: 2005-2018 en 2001-2018. Opgemerkt wordt dat IMU en RANI-2004 beide gebaseerd zijn op data van 40 luchthavens, terwijl RANI-2010 en de kandidaat selecties voor RANI-2018 op 50 luchthavens zijn gebaseerd.

Tabel 4: Aantal vluchten op Schiphol en de representatieve luchthavens

| Datasets          | # luchthavens | tijdperiode | # vluchten  |
|-------------------|---------------|-------------|-------------|
| IMU               | 40            | 1980-1997   | 32.206.672  |
| RANI-2004         | 40            | 1992-2004   | 65.158.105  |
| RANI-2010         | 50            | 2001-2010   | 81.986.114  |
| Dataset 2005-2018 | 50            | 2005-2018   | 115.651.016 |
| Dataset 2001-2018 | 50            | 2001-2018   | 147.004.455 |

### 4.3 Dataset RANI-2018

Uit paragraaf 4.2 is gebleken dat er een redelijk aantal ongevallen per ongevalstype is verzameld voor de nieuwe tijdspanne 2011-2018. Eén uitzondering is echter het ongevalstype “take-off overrun”. Uit de analyse van ongevallen blijkt dat er geen overrun in de startfase plaats heeft gevonden door een derde-generatie vliegtuig tijdens een scheduled flight op één van de vijftig geselecteerde luchthavens.

Om een dataset met voldoende gegevens te verkrijgen en daarmee statistisch betrouwbare ongevalkanssen te kunnen afleiden, wordt voorgesteld de dataset van periode 2001-2018 te hanteren. De hieruit afgeleide ongevalkanssen dragen de naam **RANI-2018**. Dit betekent dat de dataset van 2011-2018 en de dataset van RANI-2010 (periode 2001-2010) bij elkaar worden gevoegd.

De gegevens van **RANI-2018** betreffen de periode **2001-2018**; gegevens van in totaal 18 jaren worden toegepast om de ongevalkanssen voor derde-generatie vliegtuigen te actualiseren voor het externe-veiligheidsmodel voor grote luchthavens (Schiphol-model).

Om te controleren of men beide datasets mag samenvoegen wordt een statistische significantietoets<sup>1</sup> uitgevoerd. In de toets wordt gekeken of er statistisch significant verschil bestaat tussen de dataset RANI-2010 en de (kleinere) dataset 2011-2018. Op basis van aantal ongevallen en vluchtendata wordt een parameter bepaald waarmee een uitspraak gedaan kan worden over een hypothese ten aanzien van de berekende ongevalkanssen.

Tabel 5 geeft de uitkomst weer van de statistische significantietoets of de RANI-2010 dataset statistisch niet verschilt van de dataset 2011-2018 op basis van een standaard significantieniveau van 5%. Er blijkt voor alle ongevaltypen geen significant verschil te bestaan. Uit statistisch oogpunt betekent dat, dat beide datasets samengenomen zouden mogen (*gepooled*) worden ten einde een grotere dataset van waarnemingen (ongevallen) en exposure data te verkrijgen. Daardoor kan een hogere statistische nauwkeurigheid worden verkregen.

<sup>1</sup> De hier toegepaste statistische toets is de toets van significantie in verschil tussen twee binomiale verdelingen (zie Appendix B van NLR CR 95330 L). De nulhypothese  $H_0$  is dat de ongevalkans afgeleid uit dataset 2011-2018 gelijk is aan de ongevalkans bepaald met dataset van RANI-2010. De gekozen alternatieve hypothese  $H_1$  is dat die ongevalkanssen niet gelijk zijn. Het gekozen significantieniveau is 5%. Op basis van de aantallen ongevallen met veer-off's en de vluchtendata van beide data sets wordt de test-statistic  $Z$  berekend en vergeleken met de kritieke waarde  $Z_{krit} = 1.96$  (alfa = 0.05). Als de berekende  $Z$  kleiner is dan  $Z_{krit}$ , mag  $H_0$  niet verworpen worden ten gunste van  $H_1$ . Met andere woorden, er is dan geen verschil tussen beide datasets.

Tabel 5: Resultaten van significantietoetsen voor verschillen tussen datasets ongevalkansen

| Ongevaltype                  | Dataset 1 | Dataset 2 | Ongevalkans* 1 | Ongevalkans* 2 | Z-waarde berekend | Z-waarde kritiek | Significant verschil? ( $Z_{ber} > Z_{krit}$ ) |
|------------------------------|-----------|-----------|----------------|----------------|-------------------|------------------|--|
| Landing undershoot           | RANI-2010 | 2011-2018 | 0.073          | 0.046          | 0.658             | 1.96             | Nee  |
| Take-off overshoot           | RANI-2010 | 2011-2018 | 0.037          | 0.015          | 0.774             | 1.96             | Nee  |
| Landing overrun              | RANI-2010 | 2011-2018 | 0.146          | 0.046          | 1.889             | 1.96             | Nee  |
| Take-off overrun             | RANI-2010 | 2011-2018 | 0.012          | 0              | 0.891             | 1.96             | Nee  |
| Landing veer-off             | RANI-2010 | 2011-2018 | 0.171          | 0.246          | (1.004)           | 1.96             | Nee  |
| Take-off veer-off            | RANI-2010 | 2011-2018 | 0.024          | 0.031          | (0.232)           | 1.96             | Nee  |
| <b>Totaal incl. veer-off</b> | RANI-2010 | 2011-2018 | <b>0.463</b>   | <b>0.385</b>   | <b>0.727</b>      | 1.96             | Nee  |

\*) ongevalkansen uitgedrukt in aantal per miljoen vluchten.

## 5 Resultaten en bespreking

De resultaten van de actualisering RANI-2018 ongevalkansen worden in dit hoofdstuk gepresenteerd. De nieuwe ongevalkansen zijn ook vergeleken met de resultaten van voorgaande studies ter bepaling en actualisering van de ongevalkansen: IMU, RANI-2004 en RANI-2010. Tevens is een korte bespreking van de resultaten gegeven. Deze licht de ontwikkeling van ongevalkansen toe.

### 5.1 EV-ongevalkansen RANI-2018

Omwille van gelijkwaardigheid met de eerder toegepaste methode voor de afleiding van EV-ongevalkansen wordt voor de actualisering van de ongevalkansen diezelfde methode gehanteerd. In deze studie worden de ongevalkansen per EV-ongevaltype bepaald met de volgende eenvoudige relatie:

$$\text{ongevalkans} = \frac{\# \text{Ongevallen}}{\# \text{Vluchten}}$$

De ongevalkans is dus berekend als een ratio tussen het aantal ongevallen en het aantal vluchten voor een periode.

Tabel 6 en Figuur 3 geven per ongevaltype de ongevalkansen van IMU, RANI-2004, RANI-2010 en de nieuwe RANI-2018. Figuur 3 toont tevens de 95% betrouwbaarheidsintervallen<sup>2</sup>. Uit de figuur en tabel is te zien dat RANI-2018 ongevalkansen kleiner zijn dan de nu toegepaste RANI-2010-ongevalkansen. Vergelijking van RANI-2018 met RANI-2004 laat zien dat vrijwel voor alle ongevaltypen de kans kleiner is. Uitzondering is het ongevaltype take-off overshoot. De onderliggende oorzaak is hier niet onderzocht. Wel is het zo dat dit ongevaltype relatief zeldzaam is.

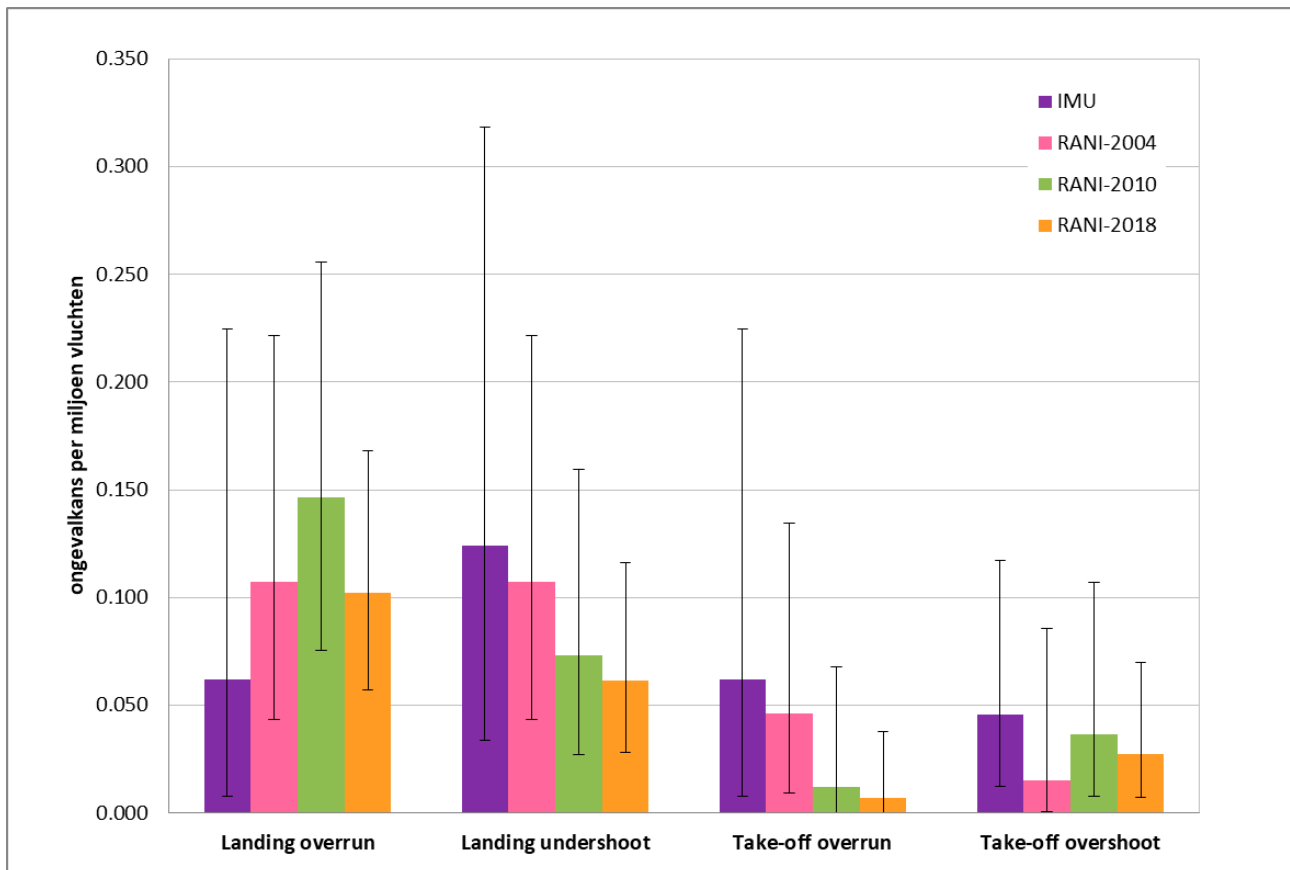
De oorspronkelijke IMU-ongevalkansen zijn over het algemeen groter dan RANI-2018, met uitzondering van landing overruns. Echter, de gegevens die gebruikt zijn in de IMU-ongevalkansen zijn van 1980-1997. Dit is de periode waarin generatie-3 vliegtuigen net werden geïntroduceerd. Het aandeel generatie-3 vliegtuigbewegingen was nog relatief klein. Als gevolg daarvan hebben de afgeleide ongevalkansen van IMU grotere betrouwbaarheidsintervallen<sup>3</sup>, dat wil zeggen een grotere onzekerheidsmarge.

Tabel 6: Ongevalkans (per miljoen vluchten) per EV-ongevaltype voor derde-generatie vliegtuigen

| Ongevaltype        | IMU          | RANI-2004    | RANI-2010    | RANI-2018    |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Landing undershoot | 0,124        | 0,107        | 0,073        | 0,061        |
| Take-off overshoot | 0,046        | 0,015        | 0,037        | 0,027        |
| Landing overrun    | 0,062        | 0,107        | 0,146        | 0,102        |
| Take-off overrun   | 0,062        | 0,046        | 0,012        | 0,007        |
| <b>Totaal</b>      | <b>0,294</b> | <b>0,276</b> | <b>0,268</b> | <b>0,197</b> |

<sup>2</sup> Bepaling van het betrouwbaarheidsinterval is uitgevoerd volgens de Exacte methode van de NEN 1047 blad 4.6 (paragraaf 4.3.1) "Betrouwbaarheidsinterval voor een fractie". Deze methode maakt gebruik van *F*-verdelingsfunctie.

<sup>3</sup> Dit is een paradox in de statistiek: een groter betrouwbaarheidsinterval geeft juist een grotere onzekerheid van de schatting aan. Een klein betrouwbaarheidsinterval betekent dat de schatting zich bevindt in een kleine marge van onzekerheid.



Figuur 3: Ongevalkans (per miljoen vluchten) per EV-ongevaltype met bijbehorend betrouwbaarheidsinterval

Tabel 7 geeft het relatieve verschil weer tussen de ongevalkansen van RANI-2018 en de waarden van RANI-2010 die momenteel worden toegepast in risicoberekeningen van luchthaven Schiphol. De relatieve verschillen geven helder aan dat de nieuwe ongevalkansen voor alle ongevaltypen kleiner zijn. Deze verschillen variëren tussen 15% en 45%. De som van de RANI-2018 ongevalkansen is 0,197 per miljoen vluchten, en deze is een kwart (26%) kleiner dan die van RANI-2010 (de som is 0,268).

Tabel 7: Ongevalkans (per miljoen vluchten) per EV-ongevaltype en relatief verschil

| Ongevaltype        | RANI-2010    | RANI-2018    | Relatief verschil |
|--------------------|--------------|--------------|-------------------|
| Landing undershoot | 0,073        | 0,061        | -16%              |
| Take-off overshoot | 0,037        | 0,027        | -26%              |
| Landing overrun    | 0,146        | 0,102        | -30%              |
| Take-off overrun   | 0,012        | 0,007        | -43%              |
| <b>Totaal</b>      | <b>0,268</b> | <b>0,197</b> | <b>-26%</b>       |

## 5.2 Discussie

De voorgaande paragrafen laten zien dat de ongevalkansen van RANI-2018 voor alle ongevalstypen kleiner zijn dan RANI-2010. De onderliggende oorzaken worden in het kader van deze studie niet onderzocht. Wel kan een aantal mogelijke oorzaken worden gevonden in ontwikkelingen of initiatieven die in andere studies zijn aangewezen als positieve bijdrage aan de verbetering van de luchtvaartveiligheid.

In de voorgaande update van EV-ongevalkansen, RANI-2010, is gekeken naar de ontwikkelingen in de luchtvaart die zich voordeden in de periode 2001-2010 en waardoor de veiligheid van startend en landend verkeer op een luchthaven positief werd beïnvloed. In de periode 2011-2018 hebben die ontwikkelingen zich voortgezet en zijn er een aantal nieuwe initiatieven bijgekomen waardoor de burgerluchtvaart veiliger wordt gemaakt. Het resultaat hiervan kan (indirect) een positief effect hebben op de externe veiligheid van luchthavens. Tabel 8 geeft een overzicht van de ontwikkelingen en veiligheidsinitiatieven in de luchtvaart van de afgelopen jaren. Let wel, het overzicht is geen uitputtende lijst van alle ontwikkelingen die luchtvaart veiliger maken.

*Tabel 8: Overzicht van de ontwikkelingen en/of veiligheidsinitiatieven in de luchtvaart met (indirect) positieve invloed op externe veiligheid*

| Ontwikkelingen / veiligheidsinitiatieven  |
|---|
| CFIT Training aid   |
| FSF approach and landing training aids tool   |
| Airport Safety Management System  |
| EGPWS/TAWS  |
| Airline SMS   |
| Airline Flight Data Monitoring  |
| Runway Safety Team  |
| Runway Excursion Risk Reduction (RERR) Toolkit (FSF)  |
| European Action Plan for the prevention of Runway Excursions (EAPPRE) edition (2013)          |
| Go-around Decision-Making and Execution Project (FSF-study completed in 2017)                 |
| Fatigue Risk Management – Fatigue Countermeasures Working Group (FSF-study published in 2018) |
| Active Pilot Monitoring Working Group (practical guided published in 2014)                    |
| ICAO Runway Excursion Risk Reduction Toolkit  |
| Runway Safety Team  |

### **Autonome verbeteringen luchtvaartveiligheid**

In de afgelopen jaren is een breed scala aan veiligheidsinitiatieven genomen die het luchtvaartstelsel veiliger maken, en die nu nog worden voortgezet. Uit de “Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol” (Ref. 7) is naar voren gekomen dat de verbeteringen van de luchtvaartveiligheid gerealiseerd zijn door de gezamenlijke inspanningen van de luchtvaartsector en door het breder maatschappelijk verlangen naar een grotere veiligheid. Dit heeft geleid tot de autonome verbeteringen van de vliegveiligheid.

Zoals beschreven in referentie 7 zijn die verbeteringen gekomen door talrijke ontwikkelingen, onder andere:

- invoering van Safety Management Systeem voor luchthavens, operators en autoriteit;
- verbeterde regelgeving;
- internationale samenwerking en safety werkgroepen;
- grotere bewustwording van safety culture;



- verbeterde piloot-training en gebruik van training tool-kits;
- flight data monitoring-programma; en
- vlootvernieuwing c.q. vliegtuigmodernisering.

Het gevolg van deze ontwikkelingen en veiligheidsinitiatieven is dat een kleinere kans op een externe-veiligheidsongeval wordt verkregen.

### Veeroff - punt van aandacht

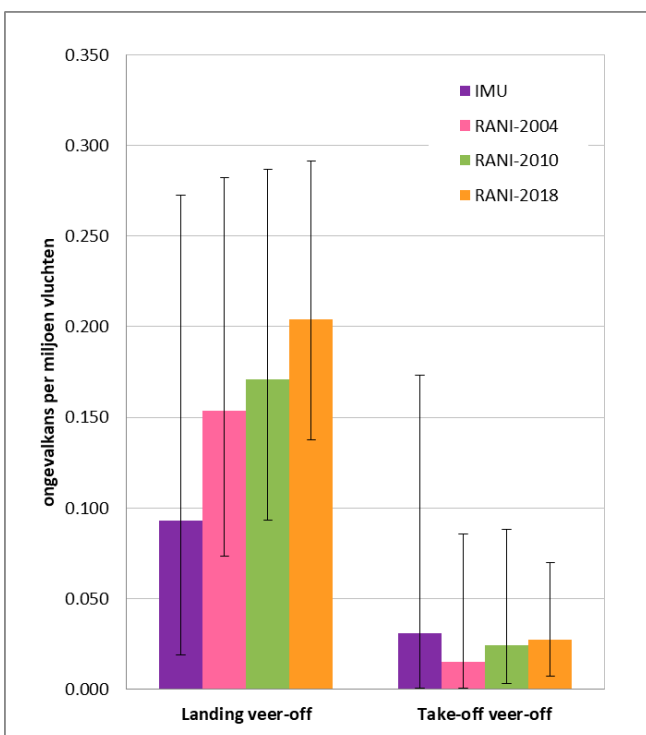
Hoewel het berekenen van veer-off risico geen onderdeel is van de standaardberekening van het externe veiligheidsrisico voor luchthaven Schiphol (en andere regionale luchthavens) is dit ongevalstype, gezien het significant aantal veer-off's in de nieuw verzamelde dataset, een punt van aandacht.

In de periode 2011-2018 zijn 16 veer-off's tijdens de landing en 2 tijdens de start gevonden voor de geselecteerde luchthavens. In de voorgaande update van ongevalkansen (RANI-2010), waren er 14 landing veer-off's en 2 take-off veer-off's voor een periode van tien jaren (2001-2010).

Tabel 9 geeft het relatieve verschil weer tussen de veer-off ongevalkansen van RANI-2018 en de waarden van RANI-2010. De veer-off ongevalkansen zijn toegenomen voor de periode 2001-2018. Wanneer de betrouwbaarheidsintervallen worden gepresenteerd in Figuur 4 dan blijken de veer-off ongevalkansen van RANI-2010 en RANI-2018 statistisch niet significant anders te zijn.

Tabel 9: Veer-off ongevalkans (per miljoen vluchten) per EV-ongevaltype en relatief verschil

| Ongevaltype       | RANI-2010 | RANI-2018 | Relatief verschil |
|-------------------|-----------|-----------|-------------------|
| Landing veer-off  | 0,171     | 0,204     | +20%              |
| Take-off veer-off | 0,024     | 0,027     | +12%              |



Figuur 4: Veer-off-ongevalkans (per miljoen vluchten) met bijbehorend betrouwbaarheidsinterval

Momenteel worden er vanuit ICAO en EASA initiatieven ontwikkeld om de kans op een runway excursion (een overrun of een veer-off) te doen afnemen (zie kader verder).

Op termijn zou overwogen kunnen worden een risicomodel te ontwikkelen om het risico in kaart te brengen ten behoeve van externe veiligheidsbeleid en/of veiligheid voor de mensen die zich naast de baan bevinden: werkenden en/of passagiers wachtend in de terminal of in de vliegtuigen.

Wereldwijd is er veel aandacht besteed aan de ongevalkans op een Runway Excursion en de reductie daarvan. Een Runway Excursion is een event waarbij veer-off of overrun tijdens een start of landing plaatsvindt. In het ICAO Global Runway Safety Symposium in 2011 is opgemerkt dat de kans op runway excursion gedurende meer dan 20 jaar niet afgenomen is. Dit is uiteraard gemeten op basis van de events die wereldwijd gebeurden. Binnen het Europees verband is in 2013 gewerkt aan een European Action Plan for the Prevention of Runway Excursions. Er zijn aanbevelingen gedaan aan verschillende stakeholders (zoals luchthavenoperator, luchtvaartmaatschappijen, vliegtuigfabrikanten en luchtverkeersleiding) over welke acties of maatregelen te kunnen nemen om de occurrence (gebeurtenis) van Runway Excursion te voorkomen.

In de recentste European Plan for Aviation Safety (EPAS) 2019-2023 is Runway Safety, waaronder Runway Excursion, Runway Incursion en Runway Collision vallen, één van de meest belangrijke risicogebieden ('risk areas') voor commercieel luchttransport. In EPAS is bijvoorbeeld een Rule-Making Task (RMT) met taaknummer 0570 geformuleerd die specifiek aan de reductie van aantal Runway Excursions werkt, door het verplicht op het vliegtuig toepassen van bestaande technologieën die de resterende baanlengte meten en zo de besluitvorming van de bemanning ondersteunen.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Voor de vier EV-ongevaltypen die worden toegepast in de wettelijke berekeningen van externe veiligheidsrisico's voor luchthaven Schiphol zijn de ongevalkansen voor vliegtuigen van de derde generatie geactualiseerd. Voor de ongevallen en vluchtaantallen is gekozen voor gegevens uit de periode 2001-2018 voor een verzameling van vijftig luchthavens, die uit Schiphol en daarmee vergelijkbare luchthavens bestaat.

Er is gekozen voor een langere periode voor de gegevensverzameling dan bij de voorgaande updates van EV-ongevalkansen. Dit komt, omdat een voldoende aantal ongevallen nodig is voor een betrouwbare bepaling van ongevalkansen met een hogere statistische nauwkeurigheid. De resultaten van het onderzoek hebben de werknaam RANI-2018 gekregen. De nieuwe ongevalkansen zijn gegeven in Tabel 10.

*Tabel 10: RANI-2018 - ongevalkansen (per miljoen vluchten) per EV-ongevaltype. De RANI-2018 waarden zijn voor het EV-model van grote luchthavens (Schiphol en vergelijkbare luchthavens)*

| Ongevaltype        | RANI-2018 (dataset 2001-2018) |
|--------------------|-------------------------------|
| Landing undershoot | 0,061                         |
| Take-off overshoot | 0,027                         |
| Landing overrun    | 0,102                         |
| Take-off overrun   | 0,007                         |

### 6.2 Aanbevelingen

Er wordt voorgesteld om op termijn de RANI-2018 ongevalkansen te gebruiken voor berekening van externe veiligheidsrisico's van luchthaven Schiphol, zowel voor de prognostische berekeningen (de milieu-effect-rapportage-studies en Gebruiksprognoses) als voor de (jaarlijkse) controleberekening die achteraf plaatsvindt. Hiervoor moeten de ongevalkansen als model parameters in de GEVERS applicatie worden geüpdatet. Het bijbehorende rekenvoorschrift en de GEVERS-handleiding dienen tevens aangepast te worden aan de nieuwe parameterwaarden.

Gezien het groot aantal veer-off ongevallen die gevonden zijn voor de met Schiphol vergelijkbare luchthavens, wordt er aanbevolen om in de toekomst te onderzoeken wat deze veiligheidsrisico's betekenen voor de situatie op luchthaven Schiphol. Op termijn zou daarom bestudeerd kunnen worden of een veer-off risicomodel ontwikkeld kan worden voor luchthaven Schiphol of voor regionale luchthavens, ten behoeve van (externe-)veiligheidsbeleid om de mensen die zich naast de baan bevinden te beschermen.

## 7 Referenties

1. Veiligheid Vliegverkeer Schiphol, Onderzoeksraad voor Veiligheid, april 2017.
2. Effectiviteit externe veiligheidsbeleid luchthaven Schiphol, To70, 17.171.20, mei 2018.
3. An enhanced method for the calculation of third party risk around large airports, with application to Schiphol, NLR-CR-2000-147, April 2000.
4. Herziene ongevalkansen van derde generatie vliegtuigen voor het NLR IMU-model 2004, NLR-CR-2005-656, januari 2006.
5. Herziene ongevalkansen van derde generatie vliegtuigen voor het NLR IMU-model 2010, NLR-CR-2012-549, februari 2013.
6. Regeling Milieu-informatie, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0014722/2018-12-11#Bijlage8>.
7. Integrale Veiligheidsanalyse Schiphol, NLR-CR-2017-313, februari 2018.
8. European Action Plan for the Prevention of Runway Excursions, Edition 1.0, January 2013.
9. The European Plan for Aviation Safety, EPAS 2019-2023, EASA, November 2018.

## Appendix A Overzicht geselecteerde luchthavens

Tabel A.1: De 50 geselecteerde luchthavens die representatief zijn voor Schiphol (inclusief Schiphol zelf)

| ICAO | IATA | Luchthaven                        | Locatie         | Land    | Regio         |
|------|------|-----------------------------------|-----------------|---------|---------------|
| ESSA | ARN  | Arlanda                           | Stockholm       | Sweden  | West-Europa   |
| KBWI | BWI  | Baltimore-Washington INTL         | Baltimore       | USA, MD | Noord-Amerika |
| LEMD | MAD  | Barajas                           | Madrid          | Spain   | West-Europa   |
| LEBL | BCN  | Barcelona                         | Barcelona       | Spain   | West-Europa   |
| EBBR | BRU  | Brussels National                 | Brussels        | Belgium | West-Europa   |
| LFPG | CDG  | Charles de Gaulle                 | Paris           | France  | West-Europa   |
| KCLT | CLT  | Charlotte Douglas INTL            | Charlotte       | USA, NC | Noord-Amerika |
| KCVG | CVG  | Cincinnati/Northern Kentucky Intl | Cincinnati      | USA, KY | Noord-Amerika |
| KDFW | DFW  | Dallas Fort Worth INTL            | Dallas          | USA, TX | Noord-Amerika |
| KDEN | DEN  | Denver INTL                       | Denver          | USA, CO | Noord-Amerika |
| KIAD | IAD  | Washington Dulles INTL            | Washington DC   | USA, VA | Noord-Amerika |
| EDDL | DUS  | Dusseldorf                        | Dusseldorf      | Germany | West-Europa   |
| LIRF | FCO  | Fiumicino                         | Rome            | Italy   | West-Europa   |
| EDDF | FRA  | Frankfurt-Main                    | Frankfurt       | Germany | West-Europa   |
| EGKK | LGW  | Gatwick                           | London          | UK      | West-Europa   |
| KATL | ATL  | Hartsfield                        | Atlanta         | USA, GA | Noord-Amerika |
| EGLL | LHR  | Heathrow                          | London          | UK      | West-Europa   |
| KFLL | FLL  | Hollywood INTL                    | Fort Lauderdale | USA, FL | Noord-Amerika |
| PHNL | HNL  | Honolulu/ Daniel K. Inouye Intl   | Honolulu        | USA, HA | Noord-Amerika |
| KCLE | CLE  | Hopkins INTL                      | Cleveland       | USA, OH | Noord-Amerika |
| KIAH | IAH  | Houston Intercontinental          | Houston         | USA, TX | Noord-Amerika |
| KJFK | JFK  | J.F. Kennedy INTL                 | New York        | USA, NY | Noord-Amerika |
| EKCH | CPH  | Kastrup                           | Copenhagen      | Denmark | West-Europa   |
| KLGA | LGA  | La Guardia                        | New York        | USA, NY | Noord-Amerika |
| KSTL | STL  | Lambert INTL                      | St Louis        | USA, MO | Noord-Amerika |
| KBOS | BOS  | Logan INTL                        | Boston          | USA, MA | Noord-Amerika |
| KLAX | LAX  | Los Angeles INTL                  | Los Angeles     | USA, CA | Noord-Amerika |
| LIMC | MXP  | Malpensa                          | Milan           | Italy   | West-Europa   |
| KLAS | LAS  | McCarran INTL                     | Las Vegas       | USA, NV | Noord-Amerika |
| KMEM | MEM  | Memphis INTL                      | Memphis         | USA, TN | Noord-Amerika |
| KMIA | MIA  | Miami                             | Miami           | USA, FL | Noord-Amerika |
| KMDW | MDW  | Midway                            | Chicago         | USA, IL | Noord-Amerika |
| KMSP | MSP  | Minneapolis-St Paul INTL          | Minneapolis     | USA, MN | Noord-Amerika |

| ICAO | IATA | Luchthaven          | Locatie        | Land        | Regio         |
|------|------|---------------------|----------------|-------------|---------------|
| EDDM | MUC  | Munich              | Munich         | Germany     | West-Europa   |
| KEWR | EWR  | Newark INTL         | Newark         | USA, NJ     | Noord-Amerika |
| KORD | ORD  | O'Hara INTL         | Chicago        | USA, IL     | Noord-Amerika |
| KMCO | MCO  | Orlando INTL        | Orlando        | USA, FL     | Noord-Amerika |
| LFPO | ORY  | Orly                | Paris          | France      | West-Europa   |
| CYYZ | YYZ  | Pearson             | Toronto        | Canada      | Noord-Amerika |
| KPHL | PHL  | Philadelphia INTL   | Philadelphia   | USA, PA     | Noord-Amerika |
| KPDX | PDX  | Portland INTL       | Portland       | USA, OR     | Noord-Amerika |
| KSLC | SLC  | Salt Lake City INTL | Salt Lake City | USA, UT     | Noord-Amerika |
| KSFO | SFO  | San Francisco INTL  | San Francisco  | USA, CA     | Noord-Amerika |
| EHAM | AMS  | Schiphol            | Amsterdam      | Netherlands | West-Europa   |
| LOWW | VIE  | Schwechat           | Vienna         | Austria     | West-Europa   |
| KPHX | PHX  | Sky Harbor INTL     | Phoenix        | USA, AZ     | Noord-Amerika |
| KSEA | SEA  | Tacoma INTL         | Seattle        | USA, WA     | Noord-Amerika |
| KTPA | TPA  | Tampa INTL          | Tampa          | USA, FL     | Noord-Amerika |
| KDTW | DTW  | Wayne County MET    | Detroit        | USA, MI     | Noord-Amerika |
| LSZH | ZRH  | Zürich              | Zürich         | Switzerland | West-Europa   |

## Appendix B Selectie EV-ongevallen

### Appendix B.1 Dataset EV-ongevallen 2011-2018

Tabel B.1: EV-ongevallen van derde-generatie vliegtuigen verzameld voor de 50 geselecteerde luchthavens 2011-2018

| Datum (dd-mm-yyyy) | Land          | Luchthaven / locatie             | Vliegtuigtype   | Registratie | Ongevaltype        |
|--------------------|---------------|----------------------------------|-----------------|-------------|--------------------|
| 26-03-2011         | US            | St Louis Lambert Intl            | MD88            | N941DL      | Landing veer-off   |
| 26-04-2011         | United States | Chicago                          | BOEING 737-700  | N799SW      | Landing overrun    |
| 03-11-2011         | Germany       | München                          | BOEING 777-300  | 9V-SWQ      | Landing veer-off   |
| 17-05-2012         | Germany       | München - Franz Josef Strauss    | ATR 72          | I-ADCD      | Landing veer-off   |
| 31-05-2012         | US            | Chicago O'Hare, IL               | ERJ-145         | N657AE      | Landing veer-off   |
| 14-01-2013         | Denmark       | Copenhagen                       | ATR72           | E7-AAD      | Landing veer-off   |
| 20-01-2013         | US            | Newark                           | ERJ-145         | N12142      | Landing veer-off   |
| 02-02-2013         | Italy         | Rome-Fiumicino Intl              | ATR 72          | YR-ATS      | Landing veer-off   |
| 06-07-2013         | United States | San Francisco Intl               | 777             | HL7742      | Landing undershoot |
| 05-12-2013         | Spain         | Barajas Intl                     | 767             | N182DN      | Landing veer-off   |
| 27-12-2013         | France        | Paris CDG                        | AIRBUS A321-200 | JY-AYJ      | Landing veer-off   |
| 13-03-2014         | United States | Philadelphia Intl Airport        | A320            | N113UW      | Take-off veer-off  |
| 01-10-2014         | Netherlands   | Amsterdam                        | BOEING 747-400  | PH-BFN      | Landing veer-off   |
| 05-03-2015         | United States | La Guardia Airport               | MD-80           | N909DL      | Landing veer-off   |
| 15-08-2015         | United States | Douglas Internationa             | A321            | N564UW      | Landing undershoot |
| 15-09-2015         | US            | Miami                            | B773            | A7-BAC      | Take-off overshoot |
| 30-12-2015         | US            | Chicago O'Hare                   | B737-900        | N67845      | Landing overrun    |
| 22-01-2016         | US            | Chicago O'Hare                   | B737-900        | N36444      | Landing overrun    |
| 13-01-2017         | Netherlands   | Amsterdam Schiphol               | Boeing 747-8F   | VQ-BLR      | Landing undershoot |
| 25-02-2017         | Canada        | Toronto - Lester B Pearson Int'l | A320            | C-FDRP      | Landing veer-off   |
| 29-06-2017         | US            | Atlanta-Hartsfield               | B717-200        | N910AT      | Landing veer-off   |
| 26-01-2018         | US            | Chicago O'Hare,IL                | A320            | N414UA      | Take-off veer-off  |
| 21-06-2018         | US            | Chicago O'Hare,IL                | B744            | B-18711     | Landing veer-off   |
| 20-10-2018         | US            | Cincinnati Northern Kentucky     | B747-400F       | N451PA      | Landing veer-off   |
| 07-12-2018         | US            | Houston Intercontinental         | ERJ-145         | N16976      | Landing veer-off   |

## Appendix B.2 Dataset EV-ongevallen RANI-2010

In dit appendix wordt een overzicht gegeven van de ongevallen van derde generatie vliegtuigen van scheduled verkeer die zijn geselecteerd in het kader van de RANI-2010, voor de periode 2001-2010 (Ref. 5).

Tabel B.2: EV-ongevallen van derde-generatie vliegtuigen verzameld van de 50 geselecteerde luchthavens 2001-2010

| Datum (dd-mm-yyyy) | Land        | Luchthaven / locatie              | Vliegtuigtype  | Registratie | Ongevaltype        |
|--------------------|-------------|-----------------------------------|----------------|-------------|--------------------|
| 18-01-2001         | Germany     | Frankfurt                         | Boeing 777     |             | Landing veer-off   |
| 04-03-2001         | USA         | Phoenix                           | Boeing 737-300 |             | Landing overrun    |
| 17-03-2001         | USA         | Detroit Metropolitan Wayne County | A320-200       |             | Take-off overrun   |
| 03-08-2001         | Switzerland | Zürich                            | E145 (145ER)   | I-EXME      | Landing overrun    |
| 12-11-2001         | USA         | New York JFK                      | A300-600       |             | Take-off overshoot |
| 24-11-2001         | Switzerland | Zürich                            | AVRO RJ100     | HB-IXM      | Landing undershoot |
| 28-08-2002         | USA         | Phoenix Sky Harbor Int'l          | A320           |             | Landing veer-off   |
| 30-12-2002         | Austria     | Vienna, Austria                   | A330-200       |             | Landing undershoot |
| 06-01-2003         | USA         | Cleveland Hopkins Int'l           | ERJ-145        |             | Landing overrun    |
| 10-04-2003         | Germany     | Frankfurt-Main                    | BAE 146-200    |             | Landing veer-off   |
| 30-05-2003         | USA         | New York JFK                      | MD11           |             | Landing overrun    |
| 05-01-2004         | Germany     | München                           | Fokker 70      |             | Landing undershoot |
| 21-11-2004         | USA         | Denver , Colorado                 | MD80           | N234AA      | Landing undershoot |
| 28-11-2004         | Spain       | Barcelona                         | 737-400        | PH-BTC      | Landing veer-off   |
| 22-12-2004         | Germany     | Frankfurt-Main                    | ATR72-200      |             | Landing veer-off   |
| 28-05-2005         | USA         | Denver , Colorado                 | MD80 SERIES    | N911TW      | Landing veer-off   |
| 08-06-2005         | USA         | Dulles , Virginia                 | A340           | N40SZ       | Landing veer-off   |
| 02-08-2005         | Canada      | AD Toronto Intl                   | A340-300       | F-GLZQ      | Landing overrun    |
| 08-12-2005         | USA         | Chicago, IL                       | 737-700        | N471WN      | Landing overrun    |
| 16-12-2005         | Germany     | Düsseldorf                        | B737-800       | TC-JFM      | Landing overrun*   |
| 16-12-2005         | Germany     | Düsseldorf                        | B737-800       | TC-JFM      | Landing veer-off*  |
| 04-03-2006         | Germany     | München                           | A310           | F-OHCZ      | Take-off veer-off  |
| 18-02-2007         | USA         | Cleveland , Ohio                  | E170           | N862RW      | Landing overrun    |
| 24-02-2007         | USA         | Dallas , Texas                    | E145 (145ER)   | N648AE      | Landing veer-off   |
| 09-10-2007         | USA         | Chicago , Illinois                | A320           | N431UA      | Landing overrun    |
| 27-10-2007         | Denmark     | Copenhagen                        | DHC8-400       | LN-RDI      | Landing veer-off   |
| 15-01-2008         | France      | Paris CDG                         | A300-600       | TF-ELW      | Landing veer-off   |
| 17-01-2008         | USA         | London Heathrow                   | 777-200        | G-YMMM      | Landing undershoot |
| 18-07-2008         | USA         | O'Hare Int'l                      | A320           | F-OHME      | Landing overrun    |
| 20-08-2008         | Spain       | Madrid                            | MD80 SERIES    | EC-HFP      | Take-off overshoot |
| 22-09-2008         | USA         | Chicago                           | 757-200        | N197AN      | Landing veer-off   |



| Datum<br>(dd-mm-yyyy) | Land        | Luchthaven / locatie | Vliegtuigtype    | Registratie | Ongevaltype        |
|-----------------------|-------------|----------------------|------------------|-------------|--------------------|
| 20-12-2008            | USA         | Denver, Colorado     | 737-500          | N18611      | Landing veer-off   |
| 15-01-2009            | USA         | LaGuardia, NY        | A320             | N106US      | Take-off overshoot |
| 09-02-2009            | France      | Paris CDG            | A321             | F-GYAJ      | Landing overrun    |
| 25-02-2009            | Netherlands | Amsterdam Schiphol   | 737-800          | TC-JGE      | Landing undershoot |
| 11-06-2009            | USA         | Hartsfield Int'l     | CRJ Regional Jet | N857AS      | Landing veer-off   |
| 16-01-2010            | Sweden      | Stockholm/Arlanda    | A300-600         | EP-IBB      | Take-off veer-off  |
| 02-10-2010            | Netherlands | Amsterdam Schiphol   | 737-400          | TC-TJF      | Landing overrun    |

\*) Het ongeval op 16 december 2005 van een B737-800 op Düsseldorf wordt zowel als een landing overrun als een landing veer-off beschouwd en is daarom twee keer vermeld.



Dedicated to innovation in aerospace

## 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.

Opricht in 1919 en met 600 betrokken medewerkers, realiseerde NLR in 2017 een omzet van 76 miljoen euro. 81% hiervan is afkomstig uit contractonderzoek, het overige betreft een overheidsbijdrage.

Voor meer informatie bezoek: [www.nlr.nl](http://www.nlr.nl)

### Postal address

PO Box 90592  
1006 BM Amsterdam, The Netherlands  
e) [info@nlr.nl](mailto:info@nlr.nl) i) [www.nlr.org](http://www.nlr.org)

### NLR Amsterdam

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

### NLR Marknesse

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