



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2024-299 | januari 2025

# Actualisatie ongevallocatiemodel zware vastevleugelvliegtuigen

Ten behoeve van berekening externe-veiligheidsrisico's rond  
burgerluchthavens

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

# Actualisatie ongevallocatiemodel zware vastevleugelvliegtuigen

Ten behoeve van berekening externe-veiligheidsrisico's rond burgerluchthavens



## Probleemstelling

Het externe-veiligheidsmodel voor luchthaven Schiphol en voor overige burgerluchthavens dat geïmplementeerd is het GEVERS-pakket was opgezet in respectievelijk in 2000 en 2002. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Min. IenW) heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) onlangs een review uitgevoerd op de Nederlandse rekenmethode externe veiligheid luchtvaart. Daaruit is gebleken dat een update in het rekenmodel noodzakelijk is gezien het feit dat de onderliggende gegevens gedateerd zijn.

### RAPPORTNUMMER

NLR-CR-2024-299

Bescherming persoonlijke levens-

### RUBRICERING RAPPORT

ONGERUBRICEERD

### DATUM

januari 2025

### KENNISGEBIED(EN)

Luchtvaartveiligheid  
Externe Luchtvaart  
Veiligheid en  
beleidsondersteuning

### TREFWOORD(EN)

Ongevallocatiemodel  
Externe Veiligheid  
Zware vaste-  
vleugelvliegtuigen  
Burgerluchthavens  
Overrun  
Undershoot  
Overshoot  
Kansverdelingsfunctie  
Probability Distribution  
Function

## Beschrijving van de werkzaamheden

In navolging van de conclusie en toetsing van het RIVM onderzoek heeft NLR in opdracht van Min. IenW de ongevallocaties voor zware vastevleugelvliegtuigen van het civiele verkeer geactualiseerd met recentere gegevens. De actualisatie vindt plaats middels een verzameling en analyse van geselecteerde luchtvaartongevallen wereldwijd.

## Resultaten en conclusies

De kansverdelingsfuncties van het ongevallocatiemodel zijn geactualiseerd met een dataset die samengesteld is uit de data van het oorspronkelijke model IMU en de nieuwe data. De nieuwe dataset bevat data die ontleend zijn aan de EASA Runway End Safety Areas (RESA) studie en die nieuw verzameld zijn voor het onderhavig onderzoek. Door het combineren van de oorspronkelijke dataset en de nieuwe dataset wordt een zo robuust mogelijk set gegevens verkregen voor het bepalen van de functieparameters van bijbehorende kansverdelingsfuncties.

Uit de studie blijkt dat de nieuwe parameters van kansverdelingsfuncties niet veel afwijken van de oorspronkelijke waarden. Verwacht wordt dat er, ten opzichte van de parameters van het oorspronkelijke model, slechts kleine verschuiving zal optreden in de uitkomst van kansverdelingsfuncties met nieuwe parameters.

## Toepasbaarheid

De geactualiseerde parameters voor ongevallocaties van zware vastevleugelvliegtuigen van het civiele verkeer kunnen worden toegepast in de officiële berekening van externe veiligheidsrisico's van Schiphol en overige burgerluchthavens. Hiervoor dienen de waarden zoals opgenomen in de bijlage 2 van Regeling burgerluchthavens (Rbl) te worden vervangen met de gewijzigde waarden.

De nieuwe waarden mogen alleen worden toegepast met de toestemming van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

p ) +31 88 511 3113

e ) [info@nlr.nl](mailto:info@nlr.nl) | [www.nlr.nl](http://www.nlr.nl)



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2024-299 | januari 2025

# Actualisatie ongevallocatiemodel zware vastevleugelvliegtuigen

Ten behoeve van berekening externe-veiligheidsrisico's rond  
burgerluchthavens

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Bescherming persoonlijke levenssfeer



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

<b>OPDRACHTGEVER</b>	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
<b>CONTRACTNUMMER</b>	Opdrachtbrief 31200078
<b>EIGENAAR</b>	NLR
<b>NLR DIVISIE</b>	Aerospace Operations
<b>VERSPREIDING</b>	Beperkt
<b>RUBRICERING TITEL</b>	ONGERUBRICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:		
AUTEUR	REVIEWER	BEHERENDE AFDELING
<b>Bescherming persoonlijke levenssfeer</b>		

## Samenvatting

Het externe-veiligheidsmodel voor luchthaven Schiphol en voor overige burgerluchthavens dat geïmplementeerd is het GEVERS-pakket was opgezet in respectievelijk 2000 en 2002. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Min. IenW) heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) onlangs een review uitgevoerd op de Nederlandse rekenmethode externe veiligheid luchtvaart. Daaruit is gebleken dat een update in het model noodzakelijk is gezien het feit dat de onderliggende gegevens mogelijk gedateerd zijn. In navolging van de conclusie en toetsing van het RIVM onderzoek heeft NLR in opdracht van Min. IenW de ongevallocaties voor zware vastevleugelvliegtuigen (vliegtuigen met een maximaal startgewicht van minstens 5.670 kg) van het civiele verkeer geactualiseerd met recentere gegevens.

De kansverdelingsfuncties van het ongevallocatiemodel zijn geactualiseerd met een dataset die samengesteld is uit de data van het oorspronkelijk model IMU en de nieuwe data. De nieuwe set bevat data die ontleend zijn aan de EASA RESA studie en die nieuw verzameld zijn voor het onderhavig onderzoek. Door het combineren van de oorspronkelijke dataset en de nieuwe dataset wordt een zo robuust mogelijk set gegevens verkregen voor het bepalen van de functieparameters van bijbehorende kansverdelingsfuncties.

De uitkomsten van de geactualiseerde ongevallocaties voor zware vastevleugelvliegtuigen zijn weergegeven in de onderstaande tabellen.

*Parameters van take-off overshoot distribution ( $n_{total}=145$ ;  $n_{y=0}=69$ ).*

Distribution		Function	Parameters
Longitudinal	y=0	Weibull	$\eta = 1595$ ; $\beta = 0.9656$
	y≠0	Weibull	$\eta = 1323$ ; $\beta = 1.1242$
Lateral	y=0	Gauss	$\sigma_0 = 3.5$ ; $\sigma_1 = 0.0594$
	y≠0	gen. Laplace	$a_0 = 111.5$ ; $a_1 = 0.2205$ ; $b = 1.3158$
Weight factor			$p = 0.4739$

*Parameters van take-off overrun distribution ( $n_{total}=160$ ;  $n_{y=0}=104$ ).*

Distribution		Function	Parameters
Longitudinal		Weibull	$\eta = 250.6$ ; $\beta = 1.0559$
Lateral	y=0	Gauss	$\sigma_0 = 12$
	y≠0	gen. Laplace	$a_0 = 84.18$ ; $a_1 = 0.0001$ ; $b = 1.1209$
Weight factor			$p = 0.6480$

*Parameters van landing undershoot distribution ( $n_{total}=540$ ;  $n_{y=0}=415$ ).*

Distribution		Function	Parameters
Longitudinal	y=0	Weibull	$\eta = 1911$ ; $\beta = 0.5431$
	y≠0	Weibull	$\eta = 1576$ ; $\beta = 0.7541$
Lateral	y=0	Gauss	$\sigma_0 = 3.5$ ; $\sigma_1 = 0.0049$
	y≠0	gen. Laplace	$a_0 = 10.232$ ; $a_1 = 0.0374$ ; $b = 2.0272$
Weight factor			$p = 0.7629$

Parameters van landing overrun distribution ( $n_{total}=413$ ;  $n_{y=0}=287$ ).

Distribution	Function	Parameters
Longitudinal	Weibull	$\eta = 142.7$ ; $\beta = 0.8621$
Lateral	$y=0$ Gauss	$\sigma_0 = 12$
	$y \neq 0$ gen. Laplace	$a_0 = 9.569$ ; $a_1 = 0.0349$ ; $b = 1.842$
Weight factor		$p = 0.6855$

De nieuwe parameters van kansverdelingsfuncties wijken niet veel af van de oorspronkelijke. Verwacht wordt dat er, ten opzichte van de parameters van het oorspronkelijke model, slechts kleine verschuiving zal optreden in de uitkomst van kansverdelingsfuncties met nieuwe parameters.

Er wordt voorgesteld om op termijn de geactualiseerde parameters voor ongevallocaties van zware vaste-vleugelvliegtuigen te introduceren voor gebruik in de berekening van externe veiligheidsrisico's van Schiphol en overige burgerluchthavens. Voor luchthaven Schiphol betekent dat de nieuwe modelparameters moeten worden opgenomen in het nieuw op te stellen rekenvoorschrift. Voor overige burgerluchthavens betekent dat in het voorschrift (bijlage 2, als bedoeld in artikel 5, van de Regeling burgerluchthavens) aangepast moeten worden.

De nieuwe modelparameters mogen alleen met de toestemming van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat toegepast worden in de officiële externe-veiligheidsberekeningen in het kader van m.e.r.-studies, Luchthavenverkeersbesluit (Schiphol), en luchthavenbesluiten burgerluchthavens.

# Inhoudsopgave

<b>Afkortingen</b>	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Achtergrond studie	7
1.2 Uitgangspunten studie	8
<b>2 Selectie en verzameling ongevallocaties</b>	<b>9</b>
2.1 Modelling ongevallocaties	9
2.2 Nieuwe dataset ongevallocaties	10
2.3 Vergelijking IMU data met nieuwe data	11
2.4 Gecombineerde dataset ongevallocaties	13
<b>3 Statistische analyse ongevallocaties</b>	<b>14</b>
3.1 Scatterplot analyse	14
3.2 Bewerking van de gecombineerde dataset voor datafit	16
3.3 Resultaten	17
<b>4 Bespreking van resultaten</b>	<b>19</b>
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>21</b>
5.1 Conclusies	21
5.2 Aanbevelingen	22
<b>6 Referenties</b>	<b>23</b>
<b>Appendix A Type kansverdelingsfunctie</b>	<b>24</b>
Appendix A.1 Weibull-functie	24
Appendix A.2 Generalised-Laplace functie	24
Appendix A.3 Gauss (Normal) functie	25



## Afkortingen

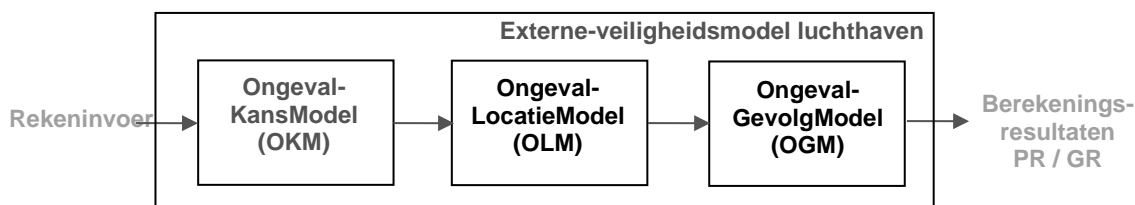
ACRONIEM	OMSCHRIJVING
ADREP	Accident/incident Data Reporting system (ICAO)
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance–Broadcast
ALPA	Air Line Pilot's Association
AWO	All Weather Operations
CAA UK	Civil Aviation Authority – United Kingdom (Verenigd Koninkrijk)
CAT	Category
CFD	Cumulative Frequency Distribution
Corr	Correlatie
CRM	Collision Risk Model
Doc	Document
EASA	European Union Aviation Safety Agency – Europees agentschap voor luchtvaartveiligheid
FANOMOS	Flight track and Aircraft Noise Monitoring system
GEVERS	Geïntegreerd Externe-VEiligheidsRekenSystem
GR	Groepsrisico
ICAO	International Civil Aviation Organization (Internationale burgerluchtvaartorganisatie)
ILS	Instrument Landing System
IMU	Interim Model Update (Externe veiligheidsmodel luchthaven Schiphol)
JAR	Joint Aviation Requirement
KS	Kolmogorov-Smirnov
m.e.r.	Milieueffectrapportage (studie)
MTOW	Maximum Take Off Weight (maximaal startgewicht)
NLR	Koninklijke NLR – Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
NPA	Non Precision Approach
NTSB	National Transportation Safety Board
OGM	Ongevalgevolgmodel
OKM	Ongevalkansmodel
OLM	Ongevallocatiemodel
PR	Plaatsgebonden Risico
Rbl	Regeling burgerluchthavens
RDC	Rijksdriehoekskoördinaten
RESA	Runway End Safety Area
SID	Standard Instrument Departure

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond studie

Voor het berekenen van het externe-veiligheidsrisico voor luchthaven Schiphol en overige burgerluchthavens (zowel van nationale betekenis als van regionale betekenis), dient er gebruik te worden gemaakt van het GEVERS-pakket dat voldoet aan de daarvoor geldende rekschriften. Voor luchthaven Schiphol wordt doorgaans verwezen naar de NLR rekenmethodiek voor grote luchthavens uit het rapport “Voorschrift en procedure voor de berekening van Externe Veiligheid rond luchthavens”, NLR-CR-2004-083 (Ref. 1)<sup>1</sup>, aangezien het wettelijke voorschrift voor het berekenen van externe-veiligheidsrisico's in geval van berekeningen ten behoeve van milieueffectrapportage (m.e.r.) studies en gebruiksprognoses nog opgesteld worden. Voor overige burgerluchthavens is Bijlage 2 van Regeling burgerluchthavens (Rbl) van toepassing.

Een externe-veiligheidsmodel voor luchthaven bestaat uit drie modelonderdelen (Figuur 1-1), te weten: Ongevalkansmodel<sup>2</sup> (OKM), Ongevallocatiemodel (OLM) en Ongevalgevolgmodel (OGM). De rekenmodellen voor luchthaven Schiphol en overige burgerluchthavens zijn recentelijk geactualiseerd voor het onderdeel Ongevalkansen van civiele vastevleugelvliegtuigen. Aangezien er geen actualisatie is geweest voor de onderdelen Ongevallocaties en Ongevalgevolgen van Schiphol (sinds 2000, Ref. 2) en die van overige burgerluchthavens (sinds 2002, Ref. 3) en de onderliggende gegevens behoorlijk verouderd kunnen zijn (meer dan 20 jaar oud), bestaat daarom de beleidsbehoefte om die onderdelen te updaten.



*Figuur 1-1: Schematische voorstelling van externe-veiligheidsmodel voor luchthaven*

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (hierna: Min. IenW) heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) onlangs een review uitgevoerd op de Nederlandse rekenmethode externe veiligheid luchtvaart (Ref. 4). Daarin wordt onder meer geconcludeerd dat de Ongevallocaties van vastevleugelvliegtuigen niet recent herzien zijn en daardoor mogelijk niet meer aansluiten bij de huidige situatie.

In navolging van de conclusie en toetsing van het RIVM onderzoek heeft het NLR in opdracht van Min. IenW de ongevallocaties van het civiele vliegverkeer met zware vastevleugelvliegtuigen geactualiseerd met recentere gegevens. De nieuw te actualiseren ongevallocaties kunnen worden toegepast in de berekening van externe-veiligheidsrisico's voor het zware vliegverkeer van civiele luchthavens (Schiphol en overige burgerluchthavens).

<sup>1</sup> Met uitzondering van de ongevalkansen voor derde-generatie vliegtuigenaangezien. De ongevalkansen voor deze vliegtuigen zijn geactualiseerd.

<sup>2</sup> In dit rapport wordt gekozen om de schrijfwijze zonder 's' te gebruiken voor ongeval(s)kans, ongeval(s)locatie, ongeval(s)gevolgen en ongeval(s)type om aan te sluiten bij de officiële bewoording zoals gehanteerd in Regeling burgerluchthavens (Rbl).

## 1.2 Uitgangspunten studie

Voor het onderhavig onderzoek worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. De wijze van actualisatie dient (zoveel mogelijk) aan te sluiten bij de wijze die gehanteerd was in de oorspronkelijke opzet van het EV-model voor luchthaven (Ref. 2).
2. De focus is gelegd op zware vastevleugelvliegtuigen. Dit betreft vliegtuigen met een maximaal startgewicht (MTOW) van 5.670 kg of hoger, bedoeld voor passagierstransport, vrachtvervoer, ferry-vluchten.
3. Het Ongevallocatiemodel (OLM) bestaat uit vier submodellen voor de externe-veiligheidsongevaltypes: Take-off overrun, Take-off overshoot, Landing overrun en Landing undershoot. Nota bene: Take-off en Landing veer-off risico's vallen buiten de wettelijke berekening van externe veiligheid voor een luchthaven en worden daarom niet beschouwd in de actualisatie.
4. Voor de actualisatie worden enkel de parameterwaarden van de kansverdelingsfuncties zoals toegepast in de oorspronkelijke modelopzet geüpdatet. De gebruikte types van kansverdelingsfuncties zijn weergegeven in Appendix A. Ten behoeve van de actualisatie worden nieuwe datapunten van ongevallocaties verzameld en geanalyseerd, en op basis van de ligging van de datapunten worden parameters van kansverdelingsfuncties bepaald.

### Leeswijzer

Dit rapport is als volgt georganiseerd. Na de inleiding (Hoofdstuk 1) wordt in Hoofdstuk 2 ingegaan op de beschrijving, selectie en verzameling van de gegevens van de ongevallocaties. Hoofdstuk 3 is gewijd aan de statistische analyse van ongevallocaties en presenteert de uitkomsten van de geactualiseerde submodellen van het Ongevallocatiemodel. Hoofdstuk 4 geeft een discussie van de resultaten. Hoofdstuk 5 sluit het rapport af met de conclusies en enkele aanbevelingen.

#### Ongevallocatiemodel (OLM)

Het doel van Ongevallocatiemodel (OLM) is om de ongevalkansen van een vliegtuig bij een aanvlieg- of uitvliegpad te verdelen over de omgeving van een luchthaven. In het OLM wordt de ruimtelijke verdeling van kansen berekend met invoergegevens als de baanligging en de vliegroutes uitgedrukt in  $xy$ -coördinaten van een Cartesisch assenstelsel<sup>3</sup>. De ruimtelijke kansverdelingen zijn beschreven door de kansverdelingsfuncties in langs- en dwarsrichting van de baan en routes.

In het huidige OLM voor luchthaven Schiphol en overige burgerluchthavens (regionale luchthavens en kleine velden met verkeer van zware vastevleugelvliegtuigen) zijn identieke type kansverdelingsfuncties en functieparameters\* toegepast.

\*) Eén uitzondering is de toepassing van de parameter voor de zogenaamde "landingsroutespreiding". Sinds de invoering van RBML in 2009 zijn specifieke "spreiding" geïntroduceerd voor de vier regionale luchthavens: Rotterdam, Maastricht, Groningen-Eelde en Lelystad. De keuze voor deze specifieke spreiding volgt uit een studie die aangetoond heeft dat de vliegpaden van het landend verkeer op de regionale luchthavens meer gespreid is (dan Schiphol) als gevolg van de verkeersmix (propellervliegtuigen, zakenjets en grote straalvliegtuigen voor commercieel verkeer). Deze specifieke landingsroutespreiding geldt dus niet voor luchthaven Schiphol en ook niet voor andere kleine velden.

<sup>3</sup> In Nederland worden de Rijksdriehoekscoördinaten (RDC) in meters toegepast.

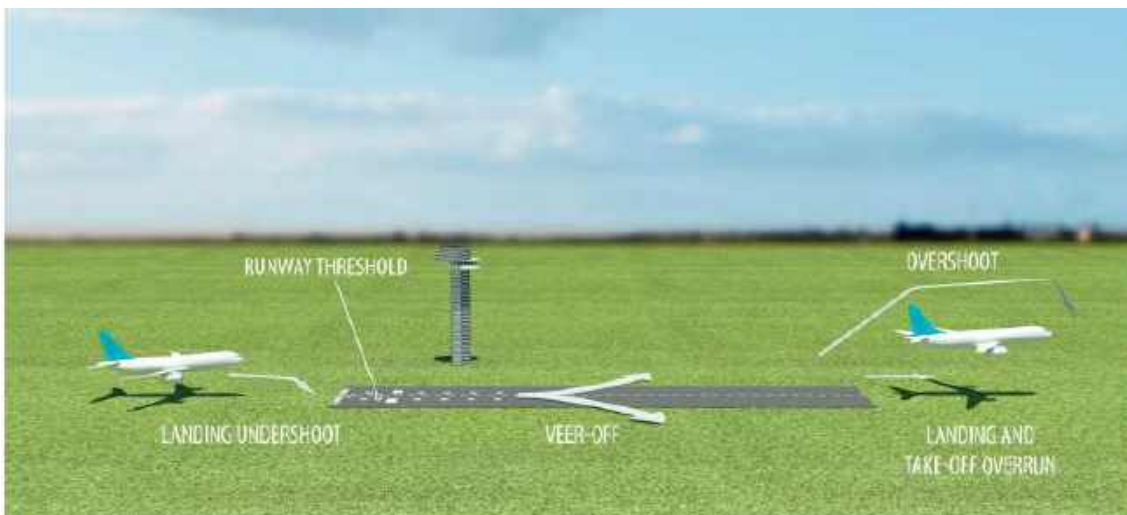
## 2 Selectie en verzameling ongevallocaties

In het kader van dit project worden de verschillende ongevallocatie-modellen geactualiseerd met nieuwe gegevens van relevante ongevallen nabij een luchthaven. Dit hoofdstuk behelst de selectie en verzameling datapunten van ongevallocaties ten behoeve van de actualisatie van het Ongevallocatiemodel. Datapunten van ongevallocaties betreffen vliegtuigongevallen en incidenten die plaats hebben gevonden buiten een start- en landingsbaan tijdens de start en landingsfase.

In paragraaf 2.1 wordt kort ingegaan op het huidige ongevallocatiemodel en de onderliggende gegevens. Paragraaf 2.2 adresseert de selectie en de nieuw verzamelde gegevens. Paragraaf 2.3 geeft een vergelijking tussen de oorspronkelijke dataset en de nieuwe dataset. Paragraaf 2.4 presenteert de uiteindelijke dataset die in hoofdstuk 3 gebruikt zal worden voor de afdeling van verschillende kansverdelingsfuncties.

### 2.1 Modelleren ongevallocaties

Het Ongevallocatiemodel (OLM) bestaat uit vier submodellen voor de EV-ongevaltypes: Take-off overrun, Take-off overshoot, Landing overrun en Landing undershoot (zie Figuur 2-1). De modellering van ongevallocaties is gebaseerd op twee fundamenten: de datapunten van ongevallocaties en de wiskundige beschrijving van deze datapunten in de vorm van (statistische) kansverdelingsfuncties ("probability distribution functions").



Figuur 2-1: Externe-veiligheidsongevaltypes voor vastevleugelvliegtuigen

#### **Veer-off risico's**

Zoals aangegeven in de uitgangspunten (par. 1.2) zijn in het oorspronkelijke model IMU (referentie 2) geen submodellen afgeleid voor Take-off veer-off en Landing veer-off opgenomen. De veer-off risico's vallen buiten de wettelijke verplichting voor berekening van externe veiligheid voor een luchthaven omdat het risico van deze ongevallen over het algemeen binnen het luchthaventerrein zal blijven. Daarmee zijn deze geen risico's voor omwonenden. Risico's ten gevolge van veer-off ongevallen worden daarom niet middels de wettelijke EV beleidsinstrumentarium als GEVERS bepaald

Voor ieder EV-ongevaltype zijn verschillende kansverdelingsfuncties toegepast om de ruimtelijke verdeling van kansen te beschrijven. Op basis van datapunten van ongevallocaties van relevante EV-ongevaltypes worden kansverdelingsfuncties gedefinieerd voor de langsrichting (longitudinale richting) en de dwarsrichting (laterale richting). Door de kansen in de langs en dwarsrichtingen te combineren wordt een ruimtelijke kansverdeling verkregen.

Verder is in de huidige modellering een onderscheid gemaakt tussen de baanafhankelijkheid en de routeafhankelijkheid. Dit gaat als volgt:

- De Take-off overrun en Landing overrun zijn alleen gerelateerd aan de ligging van de baan ('runway'). Hiermee is vanzelfsprekend alleen baanafhankelijkheid van belang. Voor deze ongevaltypes zijn daarom kansverdelingsfuncties afgeleid die de baanafhankelijkheid voorstellen.
- De Take-off overshoot en Landing undershoot zijn afhankelijk van zowel de ligging van de baan als de ligging van de route. Voor deze twee ongevaltypes zijn kansverdelingsfuncties afgeleid die zowel de baanafhankelijkheid als de routeafhankelijkheid presenteren.

Zoals eerder gezegd, datapunten van ongevallocaties zijn nodig voor de opbouw van de kansverdelingsfuncties voor de vier submodellen (Take-off overshoot, Landing undershoot, Take-off overrun en Landing overrun). De oorspronkelijke dataset met locaties van verschillende EV-ongevaltypes bevat voor 1602 voorvallen wereldwijd de eindpositie (of de positie van eerste grondcontact) ten opzichte van de baandrempel. De oudste voorvallen dateren van 1959 en de meest recente komen uit 1996. Er waren verschillende bronnen gebruikt om deze database samen te stellen, te weten: ICAO ADREP, ongevalsrapporten van de NTSB, ALPA, AIRCLAIMS, en de CAA UK.

Die 1602 voorvallen zijn vervolgens bestudeerd en geanalyseerd. Daaruit is gebleken dat er toch dubbele datapunten ('doublures') en datapunten van lichte vliegtuigtypes in zaten. Die zijn vervolgens uit de dataset verwijderd. Verder, de datapunten van veer-off zijn uitgehaald voor verdere beschouwing. Dit resulteert in een totale set van 899 relevante datapunten die bruikbaar zijn gevonden voor de modellering en afleiding van kansverdelingsfuncties ('probability distribution functions') voor de vier submodellen. Een overzicht van het aantal datapunten per ongevaltypes is gegeven in Tabel 2-1.

Tabel 2-1: Aantal datapunten toegepast in de oorspronkelijke modellering ongevallocaties (IMU-model)

Submodel OLM	Aantal datapunten
Take-off overshoot	106
Take-off overrun	103
Landing undershoot	435
Landing overrun	255
<b>Totaal aantal datapunten</b>	<b>899</b>

## 2.2 Nieuwe dataset ongevallocaties

Het OLM zoals gebruikt voor het berekenen van externe-veiligheidsrisico's voor luchthaven Schiphol en overige burgerluchthavens is sinds 2000 respectievelijk 2002 niet meer geüpdatet. Sindsdien zijn er vanuit andere onderzoeken wel nieuwe aanvullende datapunten van ongevallocaties beschikbaar zijn gekomen. Hierdoor is het mogelijk om deze mee te nemen in de beschouwing en de update van het model.

In opdracht van EASA is er in 2012 een model ontwikkeld waarmee de risico's van afwijkende afmetingen voor de Runway End Safety Area (RESA) worden geanalyseerd (Ref. 5). Hiervoor zijn de oorspronkelijke IMU ongevallocatiemodellen voor overruns en undershoots aangepast met nieuwe data. De oorspronkelijke IMU dataset werd uitgebreid met datapunten van ongevallen tot en met 2011. Undershoots waren in deze EASA studie beperkt tot een afstand van 500 m tot aan de baandrempel. Voor de externe-veiligheidsmodellen (Schiphol en overige burgerluchthavens) geldt deze beperking echter niet.

Voor het onderhavig onderzoek zijn nieuwe gegevens verzameld. De twee beschikbare datasets (IMU en EASA RESA studie) met locatiegegevens zijn uitgebreid met relevante datapunten over de periode 2012 tot en met augustus 2024. Hierbij zijn ook undershoots die verder dan 500 m van de baandrempel terecht kwamen en plaatsvonden in de periode 1997 en 2012 toegevoegd. In totaal betreft dit locaties van 286 voorvallen verdeeld over takeoff overshoots, takeoff overruns, landing undershoots en landing overruns.

In Tabel 2-2 is een overzicht gegeven van het aantal datapunten per ongevalstype. De aantallen datapunten betreffen de ongevallocaties zoals in de EASA RESA studie en in de huidige studie zijn geïdentificeerd. Kortom, er zijn 286 aanvullende datapunten bijgekomen boven op het oorspronkelijke aantal van het IMU model.

Tabel 2-2: Aantal datapunten van de nieuw verzamelde locatie-gegevens

Ongevalstype	Aantal datapunten
Take-off overshoot	46
Take-off overrun	38
Landing undershoot	144
Landing overrun	58
<b>Totaal aantal nieuwe datapunten</b>	<b>286</b>

Er dient opgemerkt te worden dat dit wereldwijde voorvallen betreft en dat de verdeling niet representatief hoeft te zijn voor de ongevalkansen die gebruikt worden in de externe veiligheidsmodellen. Dit geldt ook voor de eerdere datasets die zijn gebruikt.

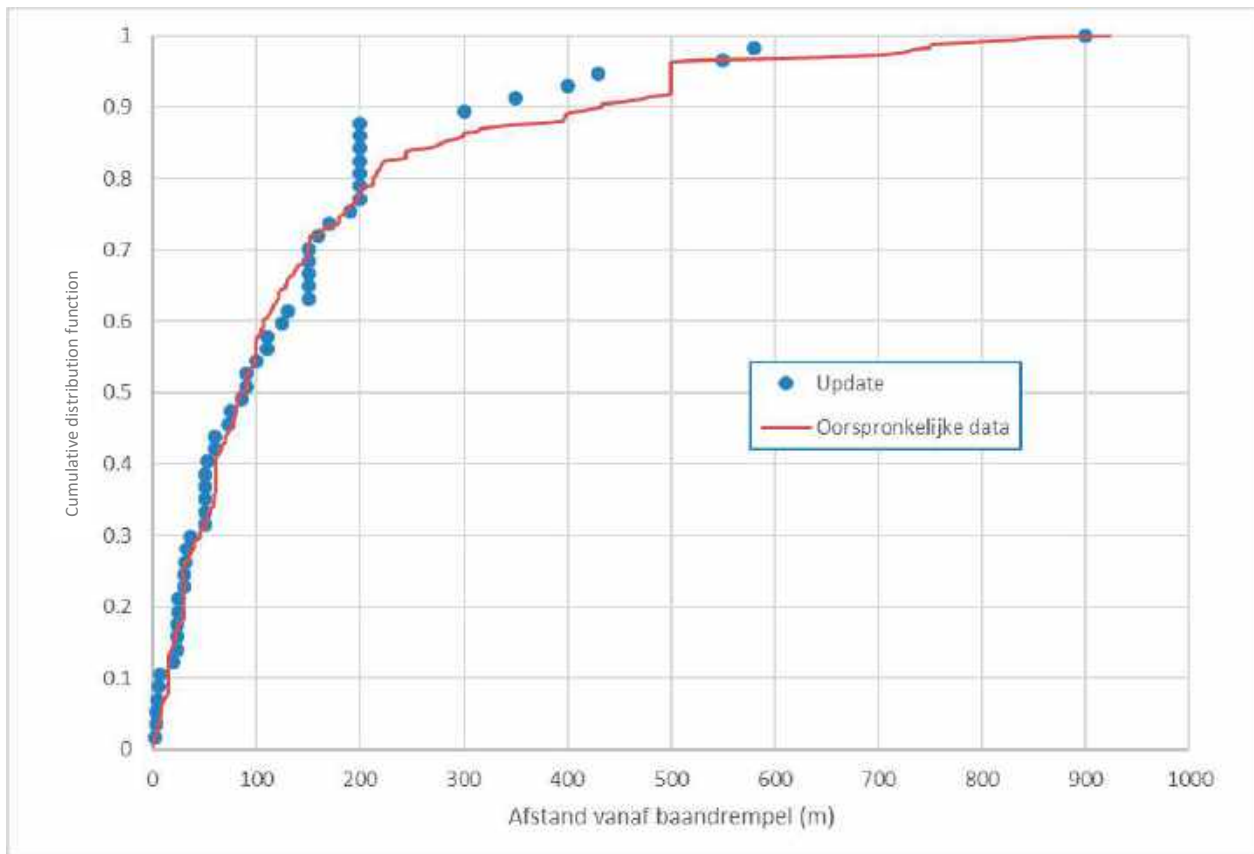
De locatie van het vliegtuigongeval wordt vaak bij benadering beschreven wanneer er uitsluitend een beschrijving van het voorval beschikbaar is gegeven. Een voorbeeld hiervan is de volgende tekst "the aircraft ended about 200 metres from the threshold approximately on the extended centreline". De laterale positie is in dit geval dan als 0 meter gedocumenteerd. Daar waar het niet zeker was wat de laterale of longitudinale positie was van het vliegtuig, is er geen afstand vastgelegd. Het kan dus zijn dat voor een voorval in de database wel een longitudinale positie is gegeven maar geen laterale positie. Sommige take-off overshoots waren geëindigd tussen beide baandrempels. De longitudinale positie is dan niet ingevuld. Veel vaker dan bij de samenstelling van de oorspronkelijke database met ongevallocaties voor het IMU model, is er nu de beschikking over gedetailleerde informatie wat betreft de positie van het vliegtuig (in de vorm van foto's en tekeningen).

## 2.3 Vergelijking IMU data met nieuwe data

De kansverdelingen van de oorspronkelijke IMU data (exclusief enkele "outliers"<sup>4</sup>) zijn vergeleken met de nieuw geïdentificeerde locatiedata. De meeste kansverdelingen zijn onderling goed vergelijkbaar en laten geen statistisch

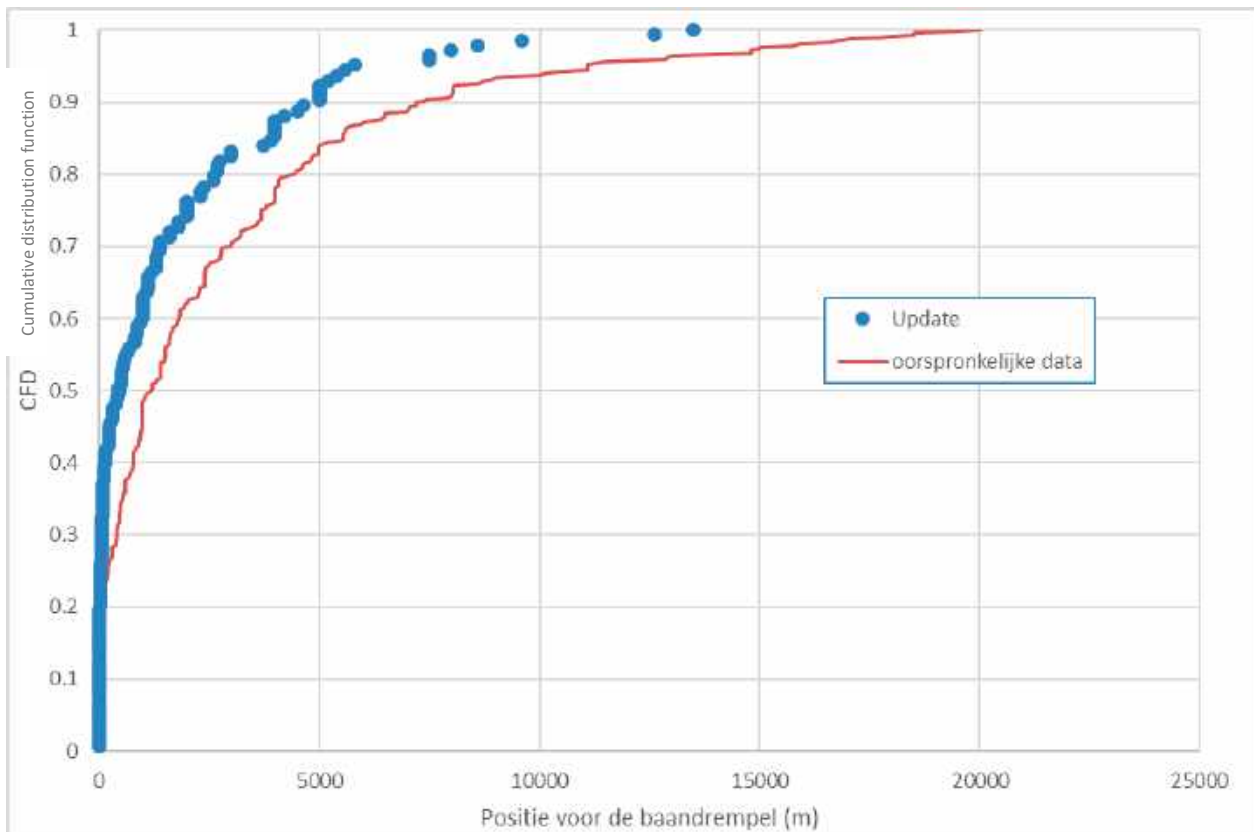
<sup>4</sup> Er zitten enkele datapunten in de dataset die nu als "outliers" (uitschieters) worden gezien maar die wel in de oorspronkelijke modellering zijn meegenomen.

significante verschillen zien. Dit betekent dat de spreiding van de nieuwe datapunten overeen komt met de oorspronkelijke IMU data. Hetgeen betekent dat de recente ongevallen qua spreiding over het algemeen hetzelfde karakter hebben als de ongevallen uit 1959-1996. Als voorbeeld geeft Figuur 2-2 de longitudinale kansverdeling van de landing overrun. Een Kolmogorov-Smirnov (KS-)test laat geen statistisch significant verschil zien (voor 5% significantie).



*Figuur 2-2: Een vergelijking tussen de oorspronkelijke dataset en van de nieuwe dataset voor de longitudinale kansverdeling van landing overrun*

Een uitzondering lijkt de longitudinale kansverdeling van de landing undershoot te zijn. Hier wijken de oorspronkelijke IMU dataset en de nieuwe dataset van elkaar af. Dit is duidelijk te zien in Figuur 2-3. De KS-test bevestigt dat er een statistisch significant verschil is. Er is geen goede verklaring te vinden voor dit verschil. Beide datasets bevatten verschillende naderingstypen zoals ILS, NPA, visual (die overigens geen merkbare invloed hebben op de locatie). Wel is het zo dat de oorspronkelijke dataset vier keer zoveel datapunten bevat als de nieuwe set.



Figuur 2-3: Een vergelijking tussen de oorspronkelijke dataset en van de geactualiseerde dataset voor de longitudinale kansverdeling van landing undershoot

## 2.4 Gecombineerde dataset ongevallocaties

Omwillen van een zo robuust mogelijk dataset te verkrijgen, worden de datasets van het oorspronkelijke model IMU en van de nieuwe datapunten (ontleend aan EASA RESA studie en nieuw verzameld) samengevoegd. Enkele “outliers” punten die duidelijk ver buiten het gebied liggen waarvoor de ongevalkansen voor start en landing geldig zijn, zijn van de oorspronkelijke IMU dataset verwijderd. In Tabel 2-3 is een overzicht gegeven van de resulterende gecombineerde dataset. Deze dataset wordt verder bewerkt en toegepast voor de afleiding van kansverdelingen en functieparameters. In het volgende hoofdstuk wordt dit nader behandeld.

Tabel 2-3: Aantal datapunten van de gecombineerde dataset

Ongevalstype	Aantal datapunten
Take-off overshoot	161
Take-off overrun	173
Landing undershoot	625
Landing overrun	494
<b>Totaal aantal datapunten</b>	<b>1453</b>

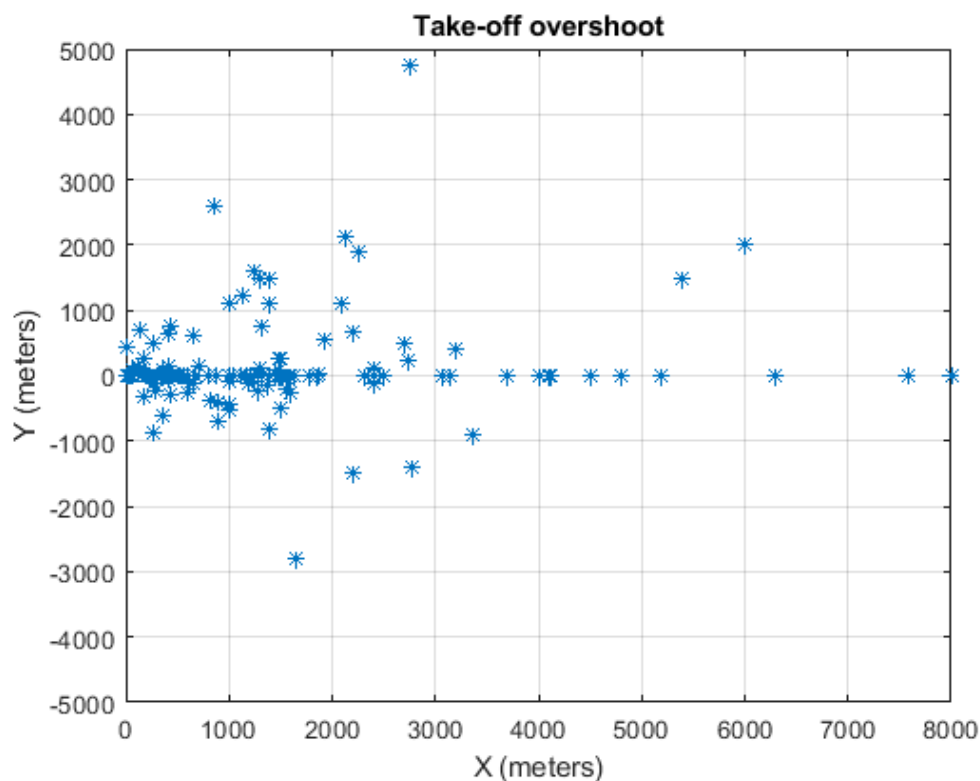


## 3 Statistische analyse ongevallocaties

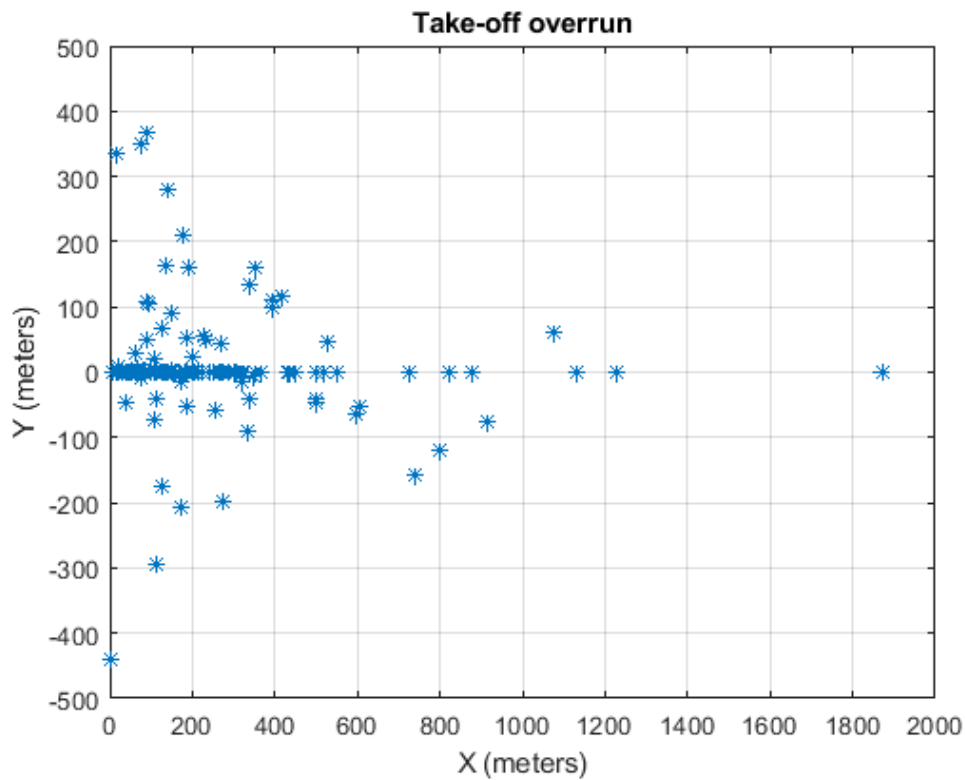
Dit hoofdstuk presenteert de scatterplots en statistische analyse van de datapunten van de ongevallocaties, en de bepaling van geactualiseerde parameters van de kansverdelingsfuncties voor verschillende submodellen.

### 3.1 Scatterplot analyse

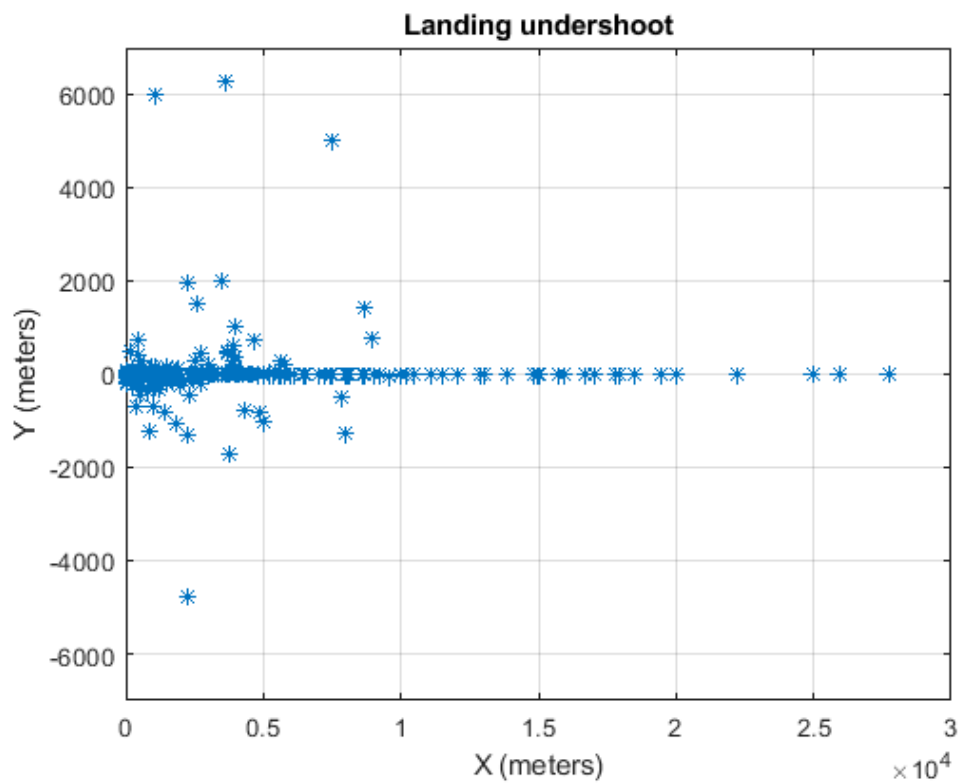
Om inzicht te krijgen over de verdeling van de datapunten voor verschillende de EV-ongevalstypes, worden scatterplots gemaakt met de afstanden in langsrichting op de x-as en de afstanden in dwarsrichting op de y-as. Figuur 3-1 tot en met Figuur 3-4 presenteren achtereenvolgens de plots voor Take-off overshoot, Take-off overrun, Landing undershoot en Landing overrun. Doordat de karakteristieken van de EV-ongevaltypen van elkaar verschillen kunnen de gemeten afstanden in langs- en dwarsrichting zeer uiteen lopen. In het algemeen hebben de overruns (tijdens start of landing) een beperktere verdeling van de ongevallocaties in langs- en dwarsrichtingen dan die van de Take-off overshoot en Landing undershoot.



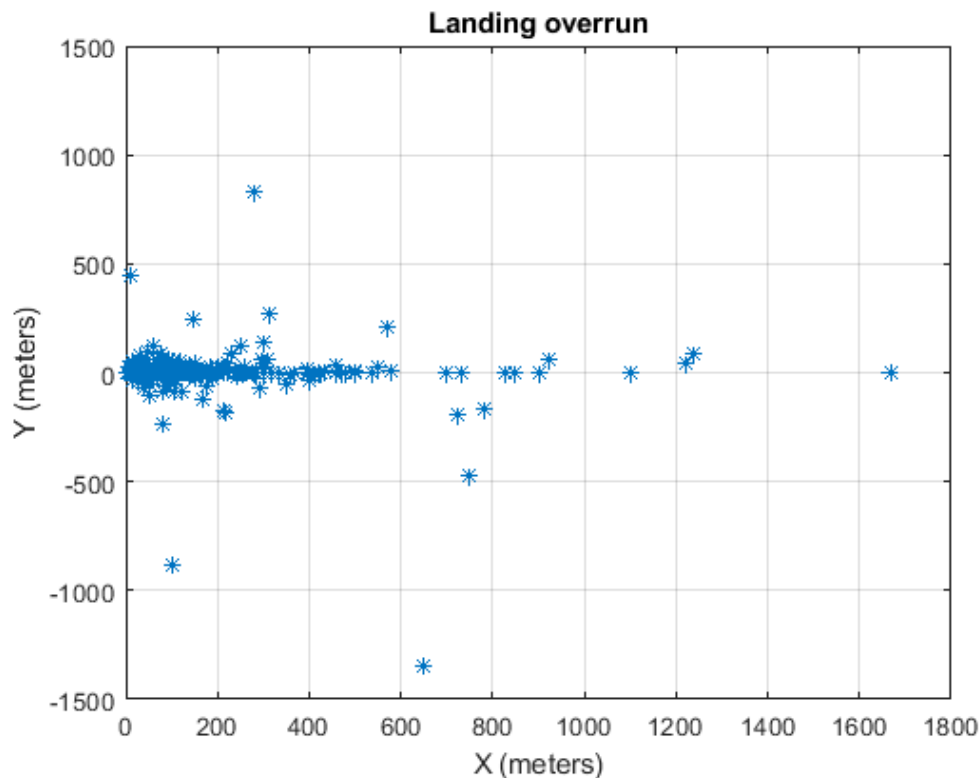
Figuur 3-1: Scatterplot van Take-off overshoot. Opmerking: één datapunt is geclassificeerd als outlier met  $|y| > 4000\text{m}$



Figuur 3-2: Scatterplot van Take-off overrun



Figuur 3-3: Scatterplot van Landing undershoot. Opmerking: vier datapunten zijn geclassificeerd als outliers (met  $|y| > 4000\text{m}$ )



Figuur 3-4: Scatterplot van Landing overrun. Opmerking: drie datapunten zijn geclassificeerd als outliers ( $|y| > 500m$ )

## 3.2 Bewerking van de gecombineerde dataset voor datafit

De gecombineerde dataset zoals beschreven in paragraaf 2.4 wordt verder bewerkt zodanig dat het geschikt is voor datafit aan de kansverdelingsfuncties (zie paragraaf 3.3). De datapunten zonder x-waarde (langsrichting) en/of y-waarde (dwarsrichting) zijn weggelaten aangezien het niet mogelijk is om die waarde(n) achter te halen uit de ongevalsbeschrijving. Gezien het relatief kleine aandeel van de datapunten zonder de x of y waarde, wordt aangenomen dat de impact bij de nauwkeurigheid van de afleiding van functieparameters beperkt zou blijven.

Tabel 3-1: Aantal uiteindelijke datapunten van de gecombineerde dataset

Dataset	aantal datapunten in de geactualiseerde dataset	aantal datapunten met x of y-waarde leeg	aantal datapunten met x en y waarde bekend
Takeoff overshoot	161	16 (*)	145
Takeoff overrun	173	13	160
Landing undershoot	625	85 (*)	540
Landing overrun	494	81	413

(\*) Er waren drie landing undershoots zonder x-waarde en zes takeoff overshoots zonder x-waarde.

### 3.3 Resultaten

In lijn met de oorspronkelijke opzet van het model worden de datapunten opgedeeld in twee delen: het 'y=0'-deel en het 'y ≠ 0'-deel. Het resultaat is weergegeven in Tabel 3-2. Ook de correlaties tussen X en |Y| zijn onderzocht. De getoonde waarden laten zien dat aangenomen kan worden dat de verdelingsfuncties in langs- en dwarsrichting afhankelijk van elkaar zijn.

Tabel 3-2: aantal datapunten 'y=0' en 'y ≠ 0', aandeel 'y=0' van het totaal, en correlaties tussen X en |Y|

Ongevaltype	$n_{\text{total}}$	$n_{y=0}$	$n_{y \neq 0}$	$n_{y=0}/n_{\text{total}}$	Corr(X,Y)	Corr(X, Y )
Take-off overshoot	145	69	76	0.4759	0.1228	0.1466
Take-off overrun	160	104	56	0.6500	-0.0725	-0.0390
Landing undershoot	540	415	125	0.7685	0.0306	0.0199
Landing overrun	413	287	126	0.6949	-0.0892	0.1722

Tabel 3-3 tot en met Tabel 3-6 geven de parameters van de kansverdelingen van Weibull en Generalised-Laplace die bij ieder EV-ongevalstype horen. Opgemerkt wordt dat de parameters van Gaussische (normale) verdelingen dezelfde gebleven zijn zoals die voor het IMU model zijn afgeleid. De reden waarom deze (voorlopig) onveranderd blijven wordt uitgelegd in hoofdstuk 4 "Bespreking van resultaten".

Bij iedere datafit aan de functie wordt de test van Kolmogorov-Smirnov (KS-test) uitgevoerd. Gecontroleerd wordt of de test-statistic  $D_{ks}$  niet de kritieke waarde  $D_c$  overschrijdt. Indien deze kritieke waarde wordt overschreden betekent dit dat de dataset eigenlijk niet goed past bij de gekozen kansverdelingsfunctie. Tot dusverre zitten alle datafits binnen de KS-test; dat wil zeggen dat de datapunten passen bij de gekozen functies voor ieder EV-ongevalstype.

Bij het datafitten aan de toegepaste Weibull en Generalised-Laplace kansverdelingen is verder gekeken naar de invloed van de 'outliers' voor iedere EV-ongevaltype. Via de test met en zonder 'outliers' wordt aangetoond dat de impact op de resulterende functieparameters minimaal is. Bij voorbeeld, het weglaten van drie 'outliers' bij Landing overrun heeft bijna geen effect op de KS-test ( $0.0621 < 0.0672$ ). Om deze reden is bij het datafitten aan de kansverdelingen gekozen om toch alle 'outliers' mee te nemen. Dit voorkomt bovendien de discussie waarom er bij éne datapunt wel aangemerkt wordt als 'outlier' en bij ander datapunt niet.

Tabel 3-3: Parameters van take-off overshoot distribution ( $n_{total}=145$ ;  $n_{y=0}=69$ )

Distribution		Function	Parameters	$D_{KS}$	$D_c$
Longitudinal	$y=0$	Weibull	$\eta = 1595$ ; $\beta = 0.9656$	0.0976	0.1637
	$y \neq 0$	Weibull	$\eta = 1323$ ; $\beta = 1.1242$	0.0800	0.1560
Lateral	$y=0$	Gauss	$\sigma_0 = 3.5$ ; $\sigma_1 = 0.0594$		
	$y \neq 0$	gen. Laplace	$a_0 = 111.5$ ; $a_1 = 0.2205$ ; $b = 1.3158$	0.1068	0.1560
Weight factor			$p = 0.4739$		

Tabel 3-4: Parameters van take-off overrun distribution ( $n_{total}=160$ ;  $n_{y=0}=104$ )

Distribution		Function	Parameters	$D_{KS}$	$D_c$
Longitudinal		Weibull	$\eta = 250.6$ ; $\beta = 1.0559$	0.0685	0.1075
Lateral	$y=0$	Gauss	$\sigma_0 = 12$		
	$y \neq 0$	gen. Laplace	$a_0 = 84.18$ ; $a_1 = 0.0001$ ; $b = 1.1209$	0.0344	0.1075
Weight factor			$p = 0.6480$		

Tabel 3-5: Parameters van landing undershoot distribution ( $n_{total}=540$ ;  $n_{y=0}=415$ )

Distribution		Function	Parameters	$D_{KS}$	$D_c$
Longitudinal	$y=0$	Weibull	$\eta = 1911$ ; $\beta = 0.5431$	0.0620	0.0668
	$y \neq 0$	Weibull	$\eta = 1576$ ; $\beta = 0.7541$	0.0465	0.1216
Lateral	$y=0$	Gauss	$\sigma_0 = 3.5$ ; $\sigma_1 = 0.0049$		
	$y \neq 0$	gen. Laplace	$a_0 = 10.232$ ; $a_1 = 0.0374$ ; $b = 2.0272$	0.0429	0.1216
Weight factor			$p = 0.7629$		

Tabel 3-6: Parameters van landing overrun distribution ( $n_{total}=413$ ;  $n_{y=0}=287$ )

Distribution		Function	Parameters	$D_{KS}$	$D_c$
Longitudinal		Weibull	$\eta = 142.7$ ; $\beta = 0.8621$	0.0517	0.0669
Lateral	$y=0$	Gauss	$\sigma_0 = 12$		
	$y \neq 0$	gen. Laplace	$a_0 = 9.569$ ; $a_1 = 0.0349$ ; $b = 1.842$	0.0620	0.0669
Weight factor			$p = 0.6855$		

## 4 Bespreking van resultaten

De ongevallocaties zijn geactualiseerd op basis van de gecombineerde dataset met een grote basis aan locaties van vliegtuigongevallen wereldwijd. De functieparameters van bijbehorende kansverdelingsfuncties (Weibull en Generalised-Laplace) van Take-off overshoot, Take-off overrun, Landing undershoot en Landing overrun zijn bepaald door middel van het datafitten. De uitkomsten laten zien dat de parameterwaarden iets gewijzigd zijn ten opzichte van het oorspronkelijke model. Met name, Landing undershoot; de hogere risicowaarden liggen in vergelijking dichter bij de baandrempel dan nu het geval is. Om meer inzicht te krijgen van de impact van geactualiseerde parameters van het ongevallocatiemodel is het uitvoeren van een aantal proefberekeningen voor luchthaven Schiphol, enkele regionale luchthavens en een selectie van kleine velden waar zwaar vliegverkeer voorkomt, wenselijk.

Enkele sub-onderdelen van het ongevallocatiemodel zijn buiten de scope van actualisatie en zijn daarom (voorlopig) niet veranderd. Het gaat om de sub-onderdelen die niet door de ongevalsgegevens (locatie-datapunten) worden bepaald, maar door de vliegpaden van het operationele verkeer. In referentie 2, paragraaf 3.3.2, "Distribution of operational traffic" (spreiding van operationeel verkeer), staat gedetailleerd beschreven hoe de verkeersgegevens zijn toegepast in het bepalen van laterale routespreiding. Hieronder wordt een beknopte bespreking gegeven over de sub-onderdelen die niet worden geactualiseerd en een indicatie gegeven wat het effect daarvan zou zijn.

### **Spreiding aan de baankop of -drempel ('deviation at threshold')**

De spreiding beschrijft de mate waarin een gemiddeld referentievliegtuig (Boeing 737) afwijkt van de 'extended centreline' van een runway als dit over de baandrempel passeert. De standaard deviatie is gebaseerd op de destijds JAR regels uit JAR-AWO 131, par. 1.4c, die de maximale kans voorschrijft van het overschrijden van een minimum afstand tot de rand van de baan. Er is geen reden om aan te nemen dat de operatie bij de baankop of baandrempel nu significant afwijkt van de vliegoperatie tijdens de opzet van het oorspronkelijke model. Daarom wordt er geen effect verwacht op de spreiding van ongevallen aan de baankop.

### **Landingroutespreiding ('Deviation for landing')**

Dit sub-onderdeel is gebaseerd op het ICAO Collision Risk Model (CRM) voor ILS operaties (Doc 9274-AN/904) (Ref. 6) uit 1980. Het CRM geeft de standaard deviaties voor laterale verdeling van vliegpaden tijdens ILS CAT II naderingen. Hieruit is de gemiddelde standaard deviatie voor de landing afgeleid. Echter, het CRM model is vrij oud en een opvolger van dit CRM is er niet.

De laterale spreiding in het ICAO CRM model is gebaseerd op metingen aan ILS naderingen uitgevoerd in de Verenigde Staten, Engeland, Duitsland en Nederland eind jaren zestig en begin jaren zeventig. Hierbij is gebruik gemaakt van speciale radars en foto's die gemaakt waren van de radarschermen om de positie van het vliegtuig te bepalen. De data omvatten zowel ILS CAT I als CAT II naderingen gevlogen met een Course Deviation Indicator, Flight Director of Autopilot. Het aantal ILS naderingen in de door ICAO gebruikte dataset is enigszins beperkt in omvang (1954 naderingen). De vliegtuigen die deze naderingen vlogen zijn niet langer in gebruik. De verwachting is dat de huidige generatie vliegtuigen de ILS nauwkeuriger afvliegen en dat de ILS installaties zelf ook zijn verbeterd ten opzichte van die in de jaren zestig en zeventig zijn gebruikt. Er waren bovendien toentertijd geen ILS CAT III naderingen mogelijk (pas in 1972 gecertificeerd). Verder betreft een groot deel van de door ICAO gebruikte data, ILS naderingen uitgevoerd met een Course Deviation Indicator (23%). Dat is niet meer representatief voor de ILS naderingen zoals die nu op Schiphol worden uitgevoerd waarin hoofdzakelijk gebruik wordt gemaakt van de Flight Director of Autopilot. Ook de manier waarop de ILS naderingen zijn gemeten tijdens het ontwikkelen van het ICAO CRM model is niet heel nauwkeurig. Dit alles resulteert in de aanname dat de laterale spreidingen zoals die in het ICAO CRM model zitten als

conservatief verondersteld kunnen worden. Een analyse van recente ILS naderingen op Schiphol zou nodig zijn om het laterale spreidingsmodel van ICAO representatiever te maken voor de huidige operatie. Er is zeer veel data beschikbaar van naderingen uitgevoerd met moderne vliegtuigen op Schiphol. Ook zijn deze gegevens veel nauwkeuriger gemeten door middel van moderne radars rond Schiphol. Om die reden wordt er effect verwacht als landingsroutespreiding niet wordt geüpdatet met actuele verkeersgegevens.

### **Startroutespreiding ('Deviation for take-off')**

Dit sub-onderdeel is afgeleid met behulp met actuele Schiphol tracksgegevens ontleend van het FANOMOS systeem destijds. Dit systeem bepaalt vliegpaden naar de baan op basis van radar en/of transpondersignalen rondom de luchthaven Schiphol. De breedte van het gebied waarbinnen 95% van de tracksgegevens vallen is op twee afstanden ten opzichte van de startbaan bepaald: (1) aan de baankop, en (2) 6 km vanaf het begin van de startbaan. De 6 km is arbitrair gekozen. Bovendien zijn alleen de tracksgegevens voor twee startbanen van Schiphol geselecteerd en voor een korte periode. De parameters die hieruit zijn afgeleid worden toegepast zowel in het model voor luchthaven Schiphol als in het model voor regionale luchthavens. Luchthaven Schiphol heeft zes verschillende banen met theoretisch twaalf start- en landingsrichtingen. Daarbij heeft iedere baan meerdere startroutes. Iedere startroute (Standard Instrument Departure, SID) kan een eigen spreiding veroorzaken door verloop van de route en door variatie in het vliegverkeer: van zakenjets tot grotere passagierstoestellen.

Regionale luchthavens hebben daarentegen een ander verkeersaanbod dan Schiphol en andere routes waardoor er onderling verschillen ontstaan tussen de regionale luchthavens. Als gevolg hiervan zou de startroutespreiding van iedere regionale luchthavens anders kunnen zijn. Daarom wordt er enige effect verwacht als de startroutespreiding niet wordt geüpdatet met meer actuele tracksgegevens.

### **EASA locatiemodel**

In de huidige studie zijn de kansverdelingsfuncties gebruikt zoals voorgeschreven in het IMU-model. Er is niet gekeken of andere kansverdelingsfuncties ook passend zouden kunnen zijn. Dit betekent dat in deze studie enkel de parameters van de kansverdelingsfuncties geüpdatet zijn.

In de EASA RESA studie uit 2014 (Ref. 5) zijn er voor Take-off overrun, Landing overrun en Landing undershoot ongevallen andere ongevallocatiemodellen ontwikkeld. In deze EASA RESA studie zijn de x-waarde en de y-waarde onafhankelijk gemodelleerd en is voor zowel de langsrichting (x) als de dwarsrichting (y) een Weibull-verdeling genomen. Dit geeft een minder complexe modellering voor ongevallocaties.

Ten opzichte van het huidige IMU-model kunnen deze minder complexe modellen een voordeel zijn omdat de kansverdelingsfunctie (Weibull) herkenbaarder is en omdat voor het fitten van de parameters geen speciale software nodig is. Op termijn zou er onderzocht kunnen worden of deze EASA-modellen ook voor de EV-modellering gebruikt kunnen worden.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

De kansverdelingsfuncties van het ongevallocatiemodel zijn geactualiseerd met een dataset die samengesteld is uit de data van het oorspronkelijke model IMU en de nieuwe data. De nieuwe dataset bevat data die ontleend zijn aan de EASA RESA studie en die nieuw verzameld zijn voor het onderhavig onderzoek. Door het combineren van de oorspronkelijke dataset en de nieuwe dataset wordt een zo robuust mogelijk set gegevens verkregen voor het bepalen van de functieparameters van bijbehorende kansverdelingsfuncties.

De uitkomsten van de geactualiseerde ongevallocaties voor zware civiele vastevleugelvliegtuigen zijn weergegeven in de onderstaande tabellen.

*Parameters van take-off overshoot distribution ( $n_{total}=145$ ;  $n_{y=0}=69$ )*

Distribution		Function	Parameters
Longitudinal	y=0	Weibull	$\eta = 1595$ ; $\beta = 0.9656$
	y≠0	Weibull	$\eta = 1323$ ; $\beta = 1.1242$
Lateral	y=0	Gauss	$\sigma_0 = 3.5$ ; $\sigma_1 = 0.0594$
	y≠0	gen. Laplace	$a_0 = 111.5$ ; $a_1 = 0.2205$ ; $b = 1.3158$
Weight factor			$p = 0.4739$

*Parameters van take-off overrun distribution ( $n_{total}=160$ ;  $n_{y=0}=104$ )*

Distribution		Function	Parameters
Longitudinal		Weibull	$\eta = 250.6$ ; $\beta = 1.0559$
Lateral	y=0	Gauss	$\sigma_0 = 12$
	y≠0	gen. Laplace	$a_0 = 84.18$ ; $a_1 = 0.0001$ ; $b = 1.1209$
Weight factor			$p = 0.6480$

*Parameters van landing undershoot distribution ( $n_{total}=540$ ;  $n_{y=0}=415$ )*

Distribution		Function	Parameters
Longitudinal	y=0	Weibull	$\eta = 1911$ ; $\beta = 0.5431$
	y≠0	Weibull	$\eta = 1576$ ; $\beta = 0.7541$
Lateral	y=0	Gauss	$\sigma_0 = 3.5$ ; $\sigma_1 = 0.0049$
	y≠0	gen. Laplace	$a_0 = 10.232$ ; $a_1 = 0.0374$ ; $b = 2.0272$
Weight factor			$p = 0.7629$

*Parameters van landing overrun distribution ( $n_{total}=413$ ;  $n_{y=0}=287$ )*

Distribution		Function	Parameters
Longitudinal		Weibull	$\eta = 142.7$ ; $\beta = 0.8621$
Lateral	y=0	Gauss	$\sigma_0 = 12$
	y≠0	gen. Laplace	$a_0 = 9.569$ ; $a_1 = 0.0349$ ; $b = 1.842$
Weight factor			$p = 0.6855$



Nieuwe waarden van de parameters van kansverdelingsfuncties wijken niet veel af van de oorspronkelijke waarden. Verwacht wordt dat er, ten opzichte van de parameters van het oorspronkelijke model, slechts een kleine verschuiving zal optreden in kansverdelingsfuncties op basis van nieuwe parameters.

## 5.2 Aanbevelingen

Er wordt voorgesteld om op termijn de geactualiseerde parameters voor ongevallocaties van zware vastevleugelvliegtuigen te introduceren voor gebruik in de berekening van externe veiligheidsrisico's van Schiphol en overige burgerluchthavens. Voor luchthaven Schiphol betekent dat de nieuwe modelparameters moeten opgenomen worden in het nieuw op te stellen rekenvoorschrift. Voor overige burgerluchthavens betekent dat in het voorschrift (bijlage 2, als bedoeld in artikel 5, van de Regeling burgerluchthavens), paragraaf 3.4.1, vergelijkingen met nummers 13 tot en met 18, aangepast moeten worden.

De nieuwe modelparameters voor ongevallocaties mogen alleen met de toestemming van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat toegepast worden in de officiële externe-veiligheidsberekeningen in het kader van m.e.r.-studies, Luchthavenverkeersbesluit (Schiphol), en luchthavenbesluiten burgerluchthavens.

Om inzicht te krijgen over het effect van de nieuwe parameters zou het Ministerie kunnen overwegen enkele proefberekeningen uit te laten voeren voor luchthaven Schiphol, enkele regionale luchthavens en een selectie van kleine vliegvelden waar zwaar verkeer voorkomt.

Het is aanbevolen om een aanvullend onderzoek uit te voeren naar de laterale routespreiding van het ongevallocatiemodel. Voorgesteld wordt om de flight tracksgegevens (FANOMOS of ADS-B) van luchthaven Schiphol, enkele regionale luchthavens en een selectie van kleine velden waar zwaar verkeer voorkomt te bestuderen en analyseren. Doordat het verkeersaanbod van deze luchthavens verschillend is kan de spreiding heel anders zijn dan wat er nu generiek in het huidige model is bepaald.

Verder wordt aanbevolen om het gebruik van de kansverdelingsfuncties van EASA RESA studie te onderzoeken of deze de bestaande gebruikte functies kunnen vervangen.

Het Ministerie zou naar beleidsbehoefte ook kunnen overwegen de Ongevallocaties van lichte vliegtuigen (vliegtuigen met MTOW onder 5,7 ton) op termijn te laten actualiseren aangezien de onderliggende gegevens gedateerd zijn.

## 6 Referenties

1. Voorschrift en procedure voor de berekening van Externe Veiligheid rond luchthavens, NLR-CR-2004-083, Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium NLR, februari 2004.
2. An enhanced method for the calculation of third party risk around large airports, NLR-CR-2000-147, National Aerospace Laboratory, April 2000.
3. Re-assessment of the regional airport model NLR-CR-2002-178, National Aerospace Laboratory, 2002.
4. Review Nederlandse rekenmethode externe veiligheid luchtvaart, de overdraagbaarheid en wetenschappelijke waarde”, RIVM-rapport 2023-0331, RIVM, juli 2023.
5. Study on models and methodology for safety assessment of Runway End Safety Areas (RESA), Final Report EASA\_REP\_RESEA\_2011\_12, EASA, 30 July 2014.
6. Manual on the use of the collision risk model (CRM) for ILS operations, Doc 9274-AN/904, ICAO, 1980.

## Appendix A Type kansverdelingsfunctie

Dit appendix geeft de originele Engelse beschrijving van drie kansverdelingsfuncties (probability density functions) ontleend aan referentie 2.

### Appendix A.1 Weibull-function

The Weibull function is used to model the longitudinal distribution of locations. This function is defined for  $x \geq 0$  and  $\eta, \beta > 0$  as:

$$f_{Weibull}(\eta, \beta; x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(x/\eta\right)^\beta}$$

The parameter  $\eta$  is called the scale parameter. The parameter  $\beta$  is the shape parameter; for  $\beta > 1$  the Weibull function is of an asymmetric clock shape and for  $\beta \leq 1$  the function is exponential. The Weibull function is used in a wide range of applications to model the longitudinal distribution.

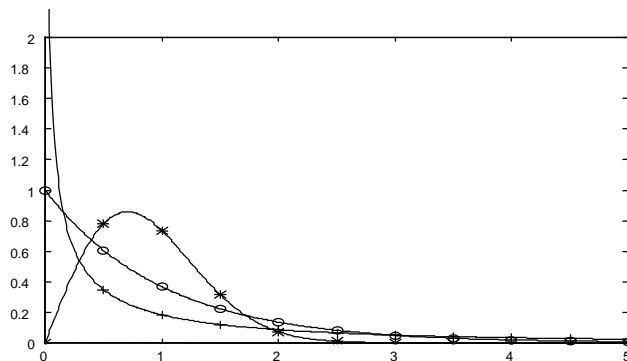


Figure A-1: Weibull function for  $\eta=1$  and (+)  $\beta=1/2$ ; (o)  $\beta=1$ ; (\*)  $\beta=2$

### Appendix A.2 Generalised-Laplace function

The lateral distribution of points is modelled using the generalised Laplace function. This function is defined for all  $y$  and for  $a, b > 0$  as:

$$f_{gen\ Laplace}(b, a; y) = \frac{1}{2ab\Gamma(b)} e^{-|y/a|^{1/b}}$$

with  $a$  the scale parameter and  $b$  the shape parameter. When  $a=\sqrt{2}\cdot\sigma$  and  $b=1/2$ , the generalised Laplace is equal to the Gauss function below. For larger values of  $b$  the tails of the generalised Laplace function are heavier than those of the Gauss function.

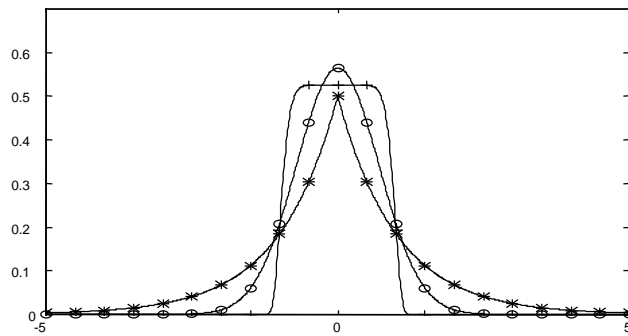


Figure A-2: Generalised-Laplace function for  $a=1$  and (+)  $b=0,1$ ; (o)  $b=1/2$ ; (\*)  $b=1$

## Appendix A.3 Gauss (Normal) function

The formal representation of the Gauss function is given here as:

$$f_{Gauss}(\sigma; y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma}\right)^2}.$$

This function is used for the lateral distribution of locations on the extended centreline.



Dedicated to innovation in aerospace

## Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Het onderzoekscentrum Koninklijke NLR werkt op objectieve en onafhankelijke wijze met zijn partners aan een betere wereld van morgen. NLR biedt daarbij innovatieve oplossingen en technische expertise en zorgt voor een sterke concurrentiepositie van het bedrijfsleven.

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

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

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

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

### Postal address

PO Box 90502  
1006 BM Amsterdam, The Netherlands  
e) [info@nlr.nl](mailto:info@nlr.nl) i) [www.nlr.org](http://www.nlr.org)

### Royal NLR

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

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