



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Review Nederlandse **rekenmethode** externe veiligheid luchtvaart

De overdraagbaarheid en wetenschappelijke waarde

Review Nederlandse rekenmethode externe veiligheid luchtvaart

De overdraagbaarheid en wetenschappelijke waarde

RIVM-rapport 2023-0331

Colofon

© RIVM 2023

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van zijn producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2023-0331

S. Versluis (auteur), RIVM
A.G. Wolting (auteur), RIVM

Contact:
Sylvia Versluis
Milieu en Veiligheid, Centrum Veiligheid, Omgevingsveiligheid
Sylvia.versluis@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) in het kader van M/330112/01/EV Beleidsadvisering IenW, directie Luchtvaart over Externe Veiligheid.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Review Nederlandse rekenmethode externe veiligheid luchtvaart

De overdraagbaarheid en wetenschappelijke waarde

Vliegen is een relatief veilige vorm van vervoer. De kans dat een vliegtuig of helikopter toch neerstort, is het grootst tijdens de start en landing, dus dicht bij de luchthaven.

Om slachtoffers in de omgeving van de luchthaven te voorkomen, wordt een veiligheidszone berekend tussen luchthavens en de omgeving. Binnen deze zone mogen bijvoorbeeld geen woningen staan. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) beheert sinds 2016 de methode om deze zone te berekenen. Het ministerie heeft het RIVM gevraagd dit beheer over te nemen.

Voordat het RIVM daarover beslist, heeft het de kwaliteit van de rekenmethode onderzocht. Het RIVM heeft gekeken naar de kwaliteit van de software van het rekenprogramma en naar de wetenschappelijke kwaliteit (waarde) van de rekenregels. Uit dit onderzoek blijkt dat de rekenmethode niet meer actueel is.

De technologie van de software is verouderd. Hierdoor kan het rekenprogramma niet goed meer worden veranderd. Wat de wetenschappelijke waarde betreft zijn de locaties en gevolgen van vliegtuigenongevallen uit de rekenregels de afgelopen jaren niet geactualiseerd. Ook zijn door een gebrek aan informatie voor helikopters alleen algemene kansen op een ongeval bepaald. De verschillende typen vluchten van helikopters (commerciële vluchten, medische vluchten, instructievluchten en dergelijke) zijn hierin niet verwerkt.

Om de kwaliteit van de software en de wetenschappelijke waarde te verbeteren, zijn investeringen nodig. Het RIVM raadt het ministerie aan om af te wegen of het nodig is de veiligheidszones rond luchthavens te blijven berekenen. In de praktijk blijkt dat ook met vaste afstanden tussen luchthavens en bebouwing kan worden gewerkt. Dat gebeurt al in verschillende Europese landen, waaronder het Verenigd Koninkrijk.

Als het ministerie de zones wil blijven berekenen, beveelt het RIVM aan de gehele rekenmethode bij te werken naar actuele inzichten. Ook wordt aanbevolen de rekenmethode structureel te beheren, zodat de kwaliteit op peil blijft.

Kernwoorden: vliegen, luchtvaart, luchthaven, ongevallen, slachtoffers

Synopsis

Review of the third party risk model for airports in the Netherlands

Transferability and scientific value

In general, flying is a relatively safe mode of transportation. However, accidents may occur. These mostly happen during take-off and landing, so near the airport.

To prevent casualties in the vicinity of the airport, there is a safety zone between the airport and the surrounding area. Among other things, no houses may be located within this zone. The Ministry of Infrastructure and Water Management has been managing the method for calculating the size of this zone, the third party risk model, since 2016. The Ministry has asked RIVM to take over the management.

Prior to making a decision about this, RIVM examined the quality of the calculation method by looking at the quality of the software of the calculation programme and the scientific value of the calculation rules. The review showed that the calculation method is no longer up to date.

The technology of the software is outdated. This makes it difficult to make changes to the calculation programme. As far as scientific value is concerned, the aircraft accident location and accident consequences in the calculation rules have not been updated in recent years. In addition, only general accident probabilities have been determined for helicopters due to a lack of information. The method does not distinguish between the different helicopter operations (commercial flights, ambulance flights, instructional flights).

Investments are needed to improve the quality of the software and the scientific value. RIVM advises the Ministry to reconsider the necessity of being able to calculate the size of safety zones around airports. In practice, it appears that it is also possible to work with safety zones with a fixed size. This is already done in several European countries, including the United Kingdom.

If the Ministry wants to continue calculating the size of the zones, RIVM recommends updating the entire calculation method to reflect current insights. It also recommends subsequent long-term management of the calculation method to maintain quality.

Keywords: flying, aviation, airport, accidents, casualties

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

1.1 Leeswijzer — 11

2 Aanpak — 13

2.1 Overdraagbaarheidstoets — 13

2.2 Wetenschappelijke toets — 14

3 Resultaten overdraagbaarheidstoets — 17

3.1 Onderhoudbaarheid — 17

3.2 Overdraagbaarheid — 18

3.3 Beheerlast — 19

4 Resultaten wetenschappelijk toets — 21

4.1 Ontvankelijkheid — 21

4.2 Toepasbaarheid — 22

4.3 Toetsing ongevalskansen — 23

4.3.1 Validiteit — 23

4.3.2 Betrouwbaarheid — 26

4.3.3 Conclusie toetsing ongevalskansen — 29

4.4 Toetsing ongevalslocatie — 30

4.4.1 Validiteit — 30

4.4.2 Betrouwbaarheid — 32

4.4.3 Conclusie toetsing ongevalslocaties — 33

4.5 Toetsing ongevalsgevolgen — 34

4.5.1 Validiteit — 34

4.5.2 Betrouwbaarheid — 36

4.5.3 Conclusie toetsing ongevalsgevolgen — 38

5 Conclusies en aanbevelingen — 39

5.1 Conclusies overdraagbaarheidstoets — 39

5.2 Conclusies wetenschappelijke toets — 39

5.2.1 Ontvankelijkheid — 40

5.2.2 Toepasbaarheid — 40

5.2.3 Toetsing ongevalskansen — 40

5.2.4 Toetsing ongevalslocaties — 41

5.2.5 Toetsing ongevalsgevolgen — 41

5.2.6 Conclusies algemeen — 42

5.3 Aanbevelingen — 42

Bijlage 1 Algemene verklarende woordenlijst luchtvaart — 45

Bijlage 2 Geïntegreerd Externe Veiligheid Reken Systeem — 47

Bijlage 3 Tijdlijn ontwikkelingen rekenmethode — 49

Bijlage 4 Public Safety Zones — 58

Referentielijst — 60

Samenvatting

De rekenmethode om externe veiligheidsrisico's voor luchtvaart te berekenen, is in beheer bij het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Het ministerie heeft het RIVM gevraagd het beheer over te nemen. Voordat het RIVM dit doet, heeft het door SIG een *gateway review* laten uitvoeren naar de overdraagbaarheid van de software van het rekenprogramma en heeft het RIVM een gateway review uitgevoerd naar de wetenschappelijke waarde van de rekenmethode.

Uit de *gateway review* is gebleken dat de kwaliteit van de software beperkt is. De overdraagbaarheid van de software is laag. Dit komt doordat de broncode complex is, er voor de gebruikersschil een verouderde technologie wordt gebruikt, voor de doorontwikkeling van de systemen geen moderne ontwikkeltools en geautomatiseerde testsystemen gebruikt worden en er geen documentatie voor ontwikkelaars is. Een lage overdraagbaarheid brengt risico's met zich mee.

Voor de wetenschappelijke waarde is gebleken dat door het beperkt aantal ongevallen en het gebrek aan gedetailleerde gegevens over de ongevallen er onzekerheden in de rekenmethode zijn. De rekenmethode is in het verleden opgesteld met de toen best beschikbare informatie, maar aannames waren nodig. Daarmee is de globale kwaliteit van de rekenmethode vergelijkbaar met de rekenmethoden voor de externe veiligheid van transport en inrichtingen. Voor de rekenmethode voor luchtvaart zijn er echter wel aandachtspunten. Het rekenvoorschrift voor Schiphol is niet wettelijk vastgelegd. Ook zijn de geactualiseerde ongevalsrisico's voor Schiphol niet verwerkt in de rekenvoorschriften en het rekenprogramma. Hierdoor kan niet gerekend worden met de meest actuele wetenschappelijke kennis. Tevens zijn de ongevalslocaties en ongevalsgevolgen van vliegtuigen niet recent herzien. Daarnaast zijn er voor helikopters alleen generieke ongevalsrisico's afgeleid.

Op korte termijn beveelt het RIVM aan om de rekenmethode voor Schiphol vast te leggen in de Regeling milieu-informatie. Daarnaast beveelt het RIVM aan de actuele ongevalsrisico's voor Schiphol in de rekenvoorschriften en het rekenprogramma te verwerken. Daarmee wordt de meest actuele wetenschappelijke kennis toepasbaar.

Om de kwaliteit van de software en de wetenschappelijke waarde van de rekenmethode voor luchtvaart te verbeteren, zijn voor de lange termijn investeringen nodig. Voordat hierop wordt ingezet, beveelt het RIVM het ministerie aan om af te wegen of het nodig is de contouren rond luchthavens te blijven berekenen. Wellicht zijn er andere manieren om hetzelfde doel te bereiken, bijvoorbeeld met vaste afstanden.

Wanneer het wenselijk blijkt om de contouren rondom luchthavens te blijven berekenen, beveelt het RIVM aan de gehele rekenmethode bij te werken naar actuele inzichten en deze structureel te beheren, zodat de kwaliteit op peil gehouden wordt. Voor de software gaat het hierbij in ieder geval om herbouw van de gebruikersschil met de noodzakelijke

(*fit-for-purpose*-)functionaliteiten. Daarnaast beveelt het RIVM ten minste renovatie van het rekenhart aan. Gezien de complexiteit van de broncode en het ontbreken van documentatie is het volgens het RIVM verstandiger om ook dit onderdeel te herbouwen.

Voor de wetenschappelijke waarde wordt aanbevolen de modellen voor de ongevalslocatie en de ongevalsgevolgen voor vliegtuigen te actualiseren, zodat deze weer representatief en passend zijn bij de actuele ongevalskansen. Ook wordt aanbevolen om de ongevalskansen voor helikopters te herzien.

1 Inleiding

Vliegen is een relatief veilige vervoersvorm. Toch kunnen ook bij deze vorm van vervoer ongevallen plaatsvinden waarbij (dodelijke) slachtoffers vallen. Het gaat hierbij enerzijds om slachtoffers onder de passagiers in het vliegtuig of de helikopter, anderzijds om slachtoffers op de grond. De kans dat een vliegtuig of helikopter neerstort, is het grootst tijdens de start en landing, dus nabij de luchthaven of helihaven. Het risico van een ongeval tijdens de start of landing van een vliegtuig of helikopter, waarbij slachtoffers onder de aanwezigen op de grond vallen, wordt inzichtelijk gemaakt in een risicoanalyse van de externe veiligheid.

Voor een dergelijke analyse wordt voor Schiphol het 'Voorschrift en procedure voor de berekening van externe veiligheid rond luchthavens'¹ gehanteerd, dat NLR in 2004 heeft opgesteld. Voor regionale luchthavens en helihavens wordt het kader voor de risicoanalyses gevormd door de Regeling burgerluchthavens, zie Bijlage 2².

Om de externe veiligheidsrisico's voor luchtvaart te berekenen, is er, zowel voor Schiphol als voor de regionale luchthavens en helihavens, geen rekenprogramma aangewezen. Wel stelt het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) het rekenprogramma GEVERS (geïntegreerd ev-rekensysteem) beschikbaar om de berekeningen voor alle typen luchthavens uit te voeren. Bijlage 2 geeft een nadere beschrijving van GEVERS en in Bijlage 3 staat de tijdlijn van de ontwikkeling hiervan.

De rekenmethode (rekenvoorschriften en het rekenprogramma samen) is op dit moment in beheer bij IenW. Het ministerie heeft het RIVM gevraagd het beheer hiervan over te nemen³. Om te kunnen bepalen of wij dit kunnen doen en om dit zo efficiënt en effectief mogelijk aan te kunnen pakken, is het noodzakelijk vooraf zicht te hebben op de kwaliteit ervan. Daarom heeft het RIVM een *gateway review* uitgevoerd. Dit is een toets van de overdraagbaarheid van het rekenprogramma en de wetenschappelijke waarde van de rekenmethode. Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van deze *gateway review*.

1.1 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. Na de inleiding (hoofdstuk 1) waarin de aanleiding en doelstelling van het onderzoek staan, volgt in hoofdstuk 2 de aanpak van de *gateway review*, waarbij onderscheid wordt gemaakt in de overdraagbaarheidstoets en de toets van de wetenschappelijke waarde. Hoofdstuk 3 behandelt de resultaten van de overdraagbaarheidstoets en in hoofdstuk 4 volgen de resultaten van de toets van de wetenschappelijke waarde. Als afsluiting van het rapport geeft hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen.

2 Aanpak

De *gateway review* bestaat uit twee onderdelen. Het eerste onderdeel is de overdraagbaarheidstoets. Hierbij is onderzocht wat de kwaliteit is van de software van het rekenprogramma GEVERS en hoe overdraagbaar het beheer hiervan is naar een andere softwareontwikkelaar. Het tweede onderdeel is de toets van de wetenschappelijke waarde van de rekenmethode. Hierbij bekijken we of de rekenmethode ontvankelijk, valide, betrouwbaar en toepasbaar is. We hebben niet getoetst of de rekenvoorschriften goed zijn verwerkt in de softwareⁱ en of de uitkomsten van een berekening met het rekenprogramma kloppen.

2.1 Overdraagbaarheidstoets

De overdraagbaarheidstoets is een statistische software-analyse. De centrale vragen bij de analyse zijn: hoe overdraagbaar is de software van het rekenprogramma GEVERS? Wat is de kwaliteit van de software? En: welke maatregelen zijn mogelijk om de overdraagbaarheid en de kwaliteit van de software te vergroten?

De Software Improvement Group (SIG) heeft de overdraagbaarheidstoets uitgevoerd⁴. SIG heeft aan de hand van een aantal aspecten de mate van overdraagbaarheid bepaald. Deze aspecten dekken onder meer de praktijkrichtlijn NPR 5325 'Overdragen van software' die is ontwikkeld door Normalisatie en Normen (NEN). De volgende aspecten zijn getoetst:

- De productkwaliteit is beoordeeld via een toetsing van de broncode aan het SIG/TÜViT Kwaliteitsmodel voor Trusted Product Maintainability, dat gebaseerd is op de ISO/IEC 25010-standaard voor softwareproductkwaliteit. De kwaliteit is uitgedrukt in relatie tot ruim 4.000 systemen in de SIG-benchmark.
- De testcode is beoordeeld via een review van de teststrategie, beschikbare tests, testdekking en gebruikte test-tooling. Onderdeel hiervan vormden metingen aan eventuele automatische testcode.
- De documentatie is beoordeeld via een review van relevante (technische) documentatie. Deze betreft onder meer de infrastructurele inrichting, architectuur, broncode en stappen van het ontwikkelproces.
- De kwaliteit van het ontwikkel- en vrijgaveproces is beoordeeld via een toetsing van relevante onderdelen uit het ontwikkelproces aan het SIG Development Practices Assessment-model. Deze toetsing is aanvullend op de NPR 5325. Ze geeft inzicht in de mate waarin stappen zoals testen, compilatie en het in productie nemen, volwassen en geautomatiseerd zijn ingericht. De toetsing heeft plaatsgevonden via interviews met de ontwikkelaars van het rekenprogramma.

ⁱ Door onvoldoende inzicht in de broncode was het binnen het project niet mogelijk om een toets te doen van de software zelf, om te zien of de rekenregels op de juiste wijze in de broncode van GEVERS zijn verwerkt.

- De huidige beheerlast is vastgesteld en de benodigde investeringen voor renovatie- en vernieuwingsscenario's zijn berekend via het Cost Estimation-model.

2.2 Wetenschappelijke toets

De wetenschappelijke toets richt zich op de wetenschappelijke waarde van de rekenvoorschriften voor het berekenen van externe veiligheidsrisico's van luchtvaart.

De rekenvoorschriften maken op hoofdlijnen onderscheid in drie typen modellen voor de verschillende typen Nederlandse luchthavens met civiel verkeer. Het gaat hierbij om het Schipholmodel voor de luchthaven Schiphol¹, het regionale-veldenmodel voor de luchthavens van nationale en regionale betekenis (verder 'regionale luchthavens')² en het helikoptermodel² voor helikopterlandplaatsen op land.

Binnen de genoemde modellen wordt onderscheid gemaakt in verschillende typen vliegverkeer. Het Schipholmodel gaat voor het type vliegverkeer uitsluitend uit van zwaar vliegverkeer (startgewicht van minimaal 5.700 kg). Het helikoptermodel gaat uitsluitend uit van helikopterverkeer. Het regionale-veldenmodel onderscheidt het vliegverkeer in licht vliegverkeer (startgewicht minder dan 5.700 kg) en zwaar vliegverkeer (startgewicht minimaal 5.700 kg). Het zwaar vliegverkeer is hierbij onderverdeeld in zakenjets, passagiersvliegtuigen en vrachtvliegtuigen. Bij berekeningen voor een luchthaven zal, afhankelijk van het luchtvaartverkeer, gebruikgemaakt moeten worden van één of meer modellen. Bij de wetenschappelijke toets wordt het onderscheid in type luchthaven en type vliegverkeer aangehouden.

De rekenvoorschriften bestaan voor elk type model uit drie onderdelen, namelijk het ongevalskansmodel, het ongevalslocatiemodel en het ongevalsgevolgmodel. Van deze drie onderdelen is de wetenschappelijke waarde getoetst. Het RIVM heeft de toets uitgevoerd aan de hand van literatuuronderzoek. In 2013 hebben NLR en het RIVM een onderzoek uitgevoerd naar de validiteit van de 10^{-7} -plaatsgebonden-risicocontour (PR-contour) die voor het vliegverkeer van en naar Schiphol wordt berekend⁵. Dat onderzoek geeft inzicht in de mate waarin toepassing van het rekenvoorschrift om externe veiligheidsrisico's van luchtvaart op Schiphol te berekenen realistische uitkomsten oplevert. Voor de wetenschappelijke toets is dat onderzoek als basis gebruikt, aangevuld met informatie uit andere onderzoeken.

Voor het beoordelen van de wetenschappelijke waarde van de rekenvoorschriften zijn de beoordelingscriteria ontvankelijkheid, validiteit, betrouwbaarheid en toepasbaarheid gehanteerdⁱⁱ. Tabel 1 licht de criteria toe.

ⁱⁱ Dit zijn beoordelingscriteria voor de acceptatie van een aanpassing van de rekeninstrumenten die zijn beschreven in het rapport 'Advies aandachtsgebieden. Beschouwing van voorstel alternatieve benadering voor de berekening van aandachtsgebieden' van het RIVM uit 2022.

Tabel 1 Beoordelingscriteria.

 criterium	 Uitleg
<i>Ontvankelijkheid</i>	<p>De beoordeling van de ontvankelijkheid richt zich op de vraag of een rekenmethode zodanig compleet is dat het inhoudelijk kan worden beoordeeld. Een rekenmethode is ontvankelijk als het voldoet aan de volgende voorwaarden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Het is duidelijk van welke partij de rekenmethode afkomstig is en wie de contactpersoon is voor vragen of verduidelijkingen. • De rekenmethode is zodanig eenduidig en volledig beschreven, dat deze toetsbaar is. Dit betekent dat de rekenwijzen moet zijn vertaald naar een rekenalgoritme (formule) en dat duidelijk is welke data als input moeten worden gebruikt.
<i>Validiteit</i>	<p>De beoordeling van de validiteit richt zich op de vraag of de rekenmethode inhoudelijk klopt. Een rekenmethode is valide als het voldoet aan de volgende voorwaarden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De onderbouwing van de rekenmethode sluit aan bij de actuele, representatieve, wetenschappelijke inzichten. • De rekenmethode mag geen schijnnaauwkeurigheid geven: wat in werkelijkheid onzeker is, moet als zodanig ook worden aangegeven.
<i>Betrouwbaarheid</i>	<p>De beoordeling van de betrouwbaarheid richt zich op de vraag of de rekenmethode herleidbaar, reproduceerbaar en conservatief is. Hiervoor moet het voorstel voldoen aan de volgende voorwaarden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De rekenmethode moet voldoen aan de FAIR-principes. Dit betekent dat de gebruikte (onderzoeks)data optimaal geschikt zijn voor hergebruik en 100 procent <i>open access</i> zijn. Hiertoe wordt beschouwd of de (onderzoeks)data en de onderbouwing van de rekenalgoritmen beschikbaar, toegankelijk (openbaar), uitwisselbaar (algemeen toegankelijk format) en herbruikbaar (op meerdere instrumenten toepasbaar) zijn. • De resultaten zijn reproduceerbaar en (on)gevoelig voor kleine veranderingen in uitgangspunten en parameters. • In geval van onzekerheid en bij een generieke aanpak is gekozen voor een veilige benadering (conservatief). • Vergelijkbare situaties worden op een vergelijkbare wijze benaderd.

Toepasbaarheid

De beoordeling van de toepasbaarheid richt zich op de vraag of de toepassing van de rekenmethode zodanig passend, relevant, toekomstbestendig en uitlegbaar is, dat de rekenmethode als de meest actuele versie kan worden gezien.

- Als het gaat om een in de wet- en regelgeving voorgeschreven rekenmethode, is deze qua methode, bereik en resultaten, passend bij de wettelijk beoogde functie van de uitkomsten.
- De toepassing van de rekenmethode is wettelijk relevant als voldoende informatie beschikbaar komt voor het in de wetgeving beoogde bestuurlijk afwegingsproces. Daarbij mag de rekenmethode geen beperkingen opleggen aan de informatie die beschikbaar komt voor de bestuurlijke besluitvorming.
- De rekenmethode is toekomstbestendig. Bij het beoordelen van de toekomstbestendigheid speelt een rol dat de toekomst nooit nauwkeurig is te voorspellen. Om de toekomstbestendigheid te beoordelen, wordt in beeld gebracht in hoeverre de rekenmethode aansluit bij de nu voorziene inhoudelijke ontwikkelingen, maatschappelijke behoeften, bevoegdhedenverdelingen en aanpassingen in wet- en regelgeving.
- De rekenmethode is bruikbaar en uitlegbaar door degenen die deze moeten toepassen. Om dit te beoordelen, wordt ingeschat in hoeverre de methode goed toegepast kan worden door de partijen die de werkzaamheden in de praktijk uitvoeren, de resultaten toepassen en de besluiten die eruit voortvloeien uitleggen aan burgers.

Bij de toets naar de wetenschappelijke waarde wordt onderscheid gemaakt in de werking van de rekenmethode en de data die gebruikt zijn om de ongevalskansen, -locatie en -gevolgen af te leiden. De criteria ontvankelijkheid en toepasbaarheid worden getoetst op het niveau van de werking van de rekenmethode. Voor de toetsing van de criteria validiteit en betrouwbaarheid wordt voornamelijk ingezoomd op de data. Hierbij worden de drie onderdelen (ongevalskansmodel, ongevalslocatiemodel en ongevalsgevolgmodel) afzonderlijk getoetst.

3 Resultaten overdraagbaarheidstoets

De technische software van het rekenprogramma GEVERS bestaat uit twee systemen: het rekenhart en de gebruikersschil (user interface= UI). Bij de overdraagbaarheidstoets keek SIG per systeem naar de onderhoudbaarheid, de overdraagbaarheid en de beheerlast⁴. Hoe goed onderhoudbaar en overdraagbaar de software is en hoe hoog de beheerlast is, hangt af van:

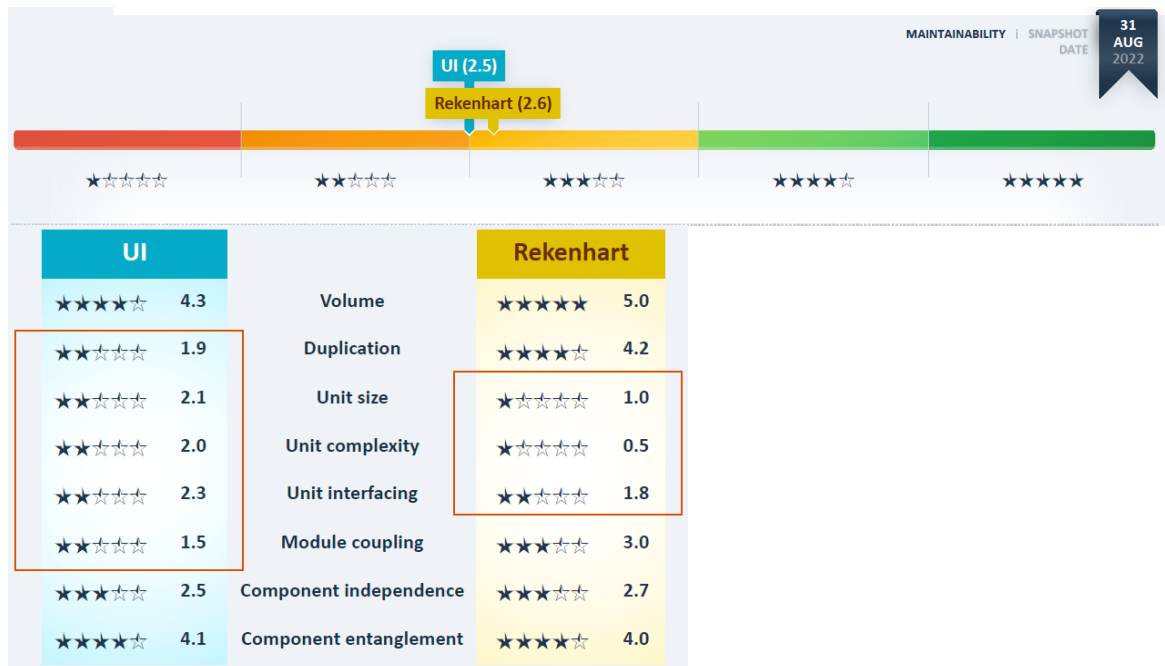
- De productkwaliteit;
- De kwaliteit van de testcode;
- De kwaliteit van de technische documentatie;
- De kwaliteit van het proces voor doorontwikkeling.

Onderstaand zijn de belangrijkste resultaten uit het onderzoek opgenomen.

3.1 Onderhoudbaarheid

Uit de toets volgt dat zowel de gebruikersschil als het rekenhart voor de onderhoudbaarheid aan de onderkant van het marktgemiddelde scoren. Figuur 1 laat zien dat de gebruikersschil een totale score voor onderhoudbaarheid heeft van 2.5 en het rekenhart van 2.6. De score voor de gemiddelde marktkwaliteit (drie sterren) loopt van 2.5 tot 3.4.

Wanneer in Figuur 1 naar de afzonderlijke beoordelingspunten voor de broncode van zowel de gebruikersschil als het rekenhart wordt gekeken, is echter te zien dat op bepaalde criteria aanzienlijk lager gescoord wordt (één of twee sterren). Het gaat hierbij bijvoorbeeld om de hoeveelheid duplicatie en complexiteit in de code. Deze onderdelen vormen een risico voor de onderhoudbaarheid. Dat beide systemen voor het totaal een marktgemiddelde score hebben, hangt voornamelijk samen met de hoge volumescores; de twee systemen zijn relatief gezien van beperkte omvang, wat op zichzelf minder risico voor onderhoudbaarheid met zich meebrengt.



Figuur 1 Onderhoudbaarheid onderdelen GEVERSSoftware⁴.

3.2 Overdraagbaarheid

Wanneer naar de overdraagbaarheid wordt gekeken, zijn in de broncode van de gebruikersschil een aantal zaken aan te wijzen dat een mogelijk risico vormt. Allereerst is de gebruikersschil gebouwd in VB.Net. Deze technologie wordt niet meer ondersteund. Daarnaast zijn er steeds minder mensen die hiermee kunnen werken. Het is daardoor niet meer goed mogelijk functionele wijzigingen in de gebruikersschil door te voeren. Tevens worden in de broncode verschillende onderdelen van de code meerdere malen gedupliceerd en zijn er veel koppelingen in de code. Dit brengt risico's met zich mee, omdat een aanpassing aan de gebruikersschil op meerdere plaatsen in de code moet worden doorgevoerd.

Ook in de broncode van het rekenhart zijn punten aan te wijzen die een mogelijk risico vormen voor de overdraagbaarheid. Het rekenhart is gebouwd in C++. Dit is een technologie die nog wel algemeen gebruikt wordt en levert dus niet een specifiek risico op. Daarentegen brengen de lengte en complexiteit van de functies in de broncode van het rekenhart en het aantal parameters dat wordt gebruikt risico's voor de overdraagbaarheid met zich mee.

Er zijn ook punten die risico's met zich meebrengen voor de overdraagbaarheid van zowel de gebruikersschil als het rekenhart:

- Er worden vrijwel geen *best practices* of ontwikkeltools toegepast. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om een *issue tracker*, versiebeheer en (structurele) kwaliteitscontroles.
- Er is geen documentatie aanwezig voor ontwikkelaars gericht op de code, structuur en ontwerpbeslissingen. De aanwezige documentatie richt zich uitsluitend op gebruikers en deze documentatie is verouderd.

- Er is geen geautomatiseerd testsysteem. Er wordt gebruikgemaakt van zes of zeven testscenario's, één per luchthaven, die op hoog niveau het functionele systeem op invoer en uitkomsten testen. Er is dus geen test per scenariotype. Daarnaast is er geen testcode op het niveau van modules of de broncode. Daarbij worden de testuitkomsten handmatig beoordeeld. Met de beschikbare testscenario's is onvoldoende te toetsen of het softwarepakket goed functioneert.
- Het ontwikkelteam is klein en daardoor kwetsbaar. Daarnaast is er de laatste vijf jaar weinig aan onderhoud uitgevoerd, waardoor de kennis van de ontwikkelaars over de codes laag is.

Dit alles bij elkaar zorgt ervoor dat de overdraagbaarheid van zowel de gebruikersschil als het rekenhart (erg) laag is. Dit brengt verschillende mogelijke risico's met zich mee wanneer het softwarepakket wordt overgedragen aan een ander ontwikkelteam. Allereerst zorgt het voor hogere onderhoudskosten en een langere inwerktijd voor nieuwe ontwikkelaars. Ook maakt dit het moeilijker om geschikte ontwikkelpartners of leveranciers te vinden. Ook kunnen minder makkelijk moderne standaardfunctionaliteiten worden gebruikt, waardoor onnodig veel maatwerk vereist is. Dit maakt het moeilijk om technische beslissingen uit het verleden te traceren. Daarnaast leidt een lage overdraagbaarheid en het beperkte testen van de software tot een grotere kans op fouten en daardoor onjuiste rekenresultaten.

3.3 Beheerlast

Zowel de gebruikersschil als het rekenhart hebben een technische schuld. De technische schuld is de geschatte hoeveelheid ontwikkelinspanning die nodig is om de kwaliteit van het softwarepakket te verhogen naar vier sterren voor onderhoudbaarheid (renovatie). Een score van vier sterren voor onderhoudbaarheid is de minimale score die SIG voor softwaresystemen aanraadt.

Naast renovatie is ook herbouw van de systemen mogelijk. De ontwikkelaars verwachten dat bij herbouw, meer dan nu het geval is, standaard systemen gebruikt kunnen worden. Daarnaast zijn er in de gebruikersschil op dit moment allerlei functionaliteiten aanwezig die niet of nauwelijks gebruikt worden en die mogelijk niet meer ingevoegd hoeven te worden in een eventueel nieuw pakket. Wanneer hiermee rekening wordt gehouden en alleen de noodzakelijke (*fit-for-purpose*-) functionaliteiten worden herbouwd, kost dit naar verwachting minder dan renovatie. Conclusie is dan ook dat herbouw van een *fit-for-purpose* nieuw systeem voor wat betreft de onderhoudbaarheid en ontwikkelkosten het meest kosteneffectief is.

4 Resultaten wetenschappelijk toets

Bij de toets van de wetenschappelijke waarde richt het RIVM zich op de vraag hoe ontvankelijk, valide, betrouwbaar en toepasbaar de rekenvoorschriften zijn. Zoals in paragraaf 2.2 staat, onderscheidt het rekenvoorschrift drie typen modellen voor de verschillende typen Nederlandse luchthavens, te weten het Schipholmodel, het regionale veldenmodel en het helikoptermodel. Een externe veiligheidsberekening bestaat voor elk type model voor de luchthavens uit drie onderdelen, te weten het ongevalskansmodel, het ongevalslocatiemodel en het ongevalsgevolgmodel.

Bij de toets naar de wetenschappelijke waarde wordt onderscheid gemaakt in de werking van de rekenmethode en de data die zijn gebruikt om de ongevalskansen, ongevalslocatie en ongevalsgevolgen af te leiden. De criteria ontvankelijkheid en toepasbaarheid worden getoetst op het niveau van de werking van de rekenmethode. Voor de toetsing van de criteria validiteit en betrouwbaarheid wordt voornamelijk ingezoomd op de data. Hierbij worden de drie onderdelen (ongevalskansmodel, ongevalslocatiemodel en ongevalsgevolgmodel) afzonderlijk getoetst.

4.1 Ontvankelijkheid

De beoordeling van de ontvankelijkheid richt zich op de vraag of een rekenmethode zodanig compleet is dat het inhoudelijk kan worden beoordeeld. Een rekenmethode is ontvankelijk als duidelijk is van welke partij de rekenmethode afkomstig is en als de rekenmethode zodanig eenduidig en volledig is beschreven dat deze toetsbaar is.

Zoals beschreven in hoofdstuk 1 wordt voor Schiphol het 'Voorschrift en procedure voor de berekening van externe veiligheid rond luchthavens'¹ gehanteerd als kader voor de externe veiligheidsrisicoanalyses. Dit voorschrift heeft NLR in 2004 opgesteld. Aandachtspunt hierbij is dat het voorschrift voor Schiphol niet is aangewezen als te hanteren berekeningswijze⁶. Dit betekent dat de berekeningswijze om de plaatsgebonden risicocontouren rondom Schiphol te bepalen, niet wettelijk is vastgelegd.

Voor de regionale luchthavens en voor helihavens wordt het kader voor de externe veiligheidsrisicoanalyses gevormd door de Regeling burgerluchthavens, Bijlage 2². De regeling is op 7 november 2019 vastgesteld door het toenmalige ministerie van Verkeer en Waterstaat en het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Op het moment van de toetsing is het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) verantwoordelijk voor de regeling.

In de rekenvoorschriften staat hoe de externe veiligheidsrisicoanalyses worden uitgevoerd. Onderdeel daarvan zijn de ongevalskansen, de ongevalslocatie en de ongevalsgevolgen.

Er is geen rekenprogramma aangewezen om de externe veiligheidsrisico's voor luchtvaart te berekenen. Wel stelt het ministerie van IenW het rekenprogramma GEVERS (geïntegreerd ev-rekensysteem) beschikbaar.

Uit bovenstaande blijkt dat duidelijk is van welke partij de rekenmethode afkomstig is en dat alle voor een risicoanalyse benodigde onderdelen voldoende nauwkeurig zijn beschreven. De rekenmethode is daarmee ontvankelijk.

4.2 Toepasbaarheid

De beoordeling van de toepasbaarheid richt zich op de vraag of de toepassing van de rekenmethode zodanig passend, relevant, toekomstbestendig en uitlegbaar is, dat de rekenmethode gezien kan worden als de meest actuele versie.

Het doel van de rekenmethode is om de externe veiligheidsrisico's van luchtvaart te kunnen bepalen. Specifiek gaat het hierbij om de 10^{-5} - en 10^{-6} -plaatsgebonden-risicocontouren (PR) die bepaald moeten worden voor het vaststellen van een luchthavenbesluit en het totaal risicogewicht van het luchthavenluchtverkeer waarvoor een grenswaarde in het luchthavenbesluit opgenomen kan worden. Binnen de contouren gelden vanuit beleid ruimtelijke beperkingen. Binnen de PR 10^{-5} -contour (sloopzone) zijn geen (beperkt) kwetsbare objecten toegestaan, behalve bestaand gebruik, niet zijnde woningen. Binnen de PR 10^{-6} -contour (beperkingengebied kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten) zijn geen (beperkt) kwetsbare objecten toegestaan, behalve bestaand gebruik. Het totaal risicogewicht wordt gebruikt om het maximaal aantal vluchten op te baseren en borgt daarmee dat de berekende risico's niet worden overschreden.

Een externe veiligheidsrisicoberekening aan de hand van de rekenvoorschriften en het rekenprogramma levert drie resultaten op: het plaatsgebonden risico, met daarbij de PR 10^{-5} - en PR 10^{-6} -contour, het totaal risicogewicht en het groepsrisico. Uit de risicoberekeningen komt daarmee voldoende informatie beschikbaar voor het in de wetgeving beoogde doel.

Het Schipholmodel is daarbij toepasbaar om de externe veiligheidsrisico's van luchtvaart op de luchthaven Schiphol te berekenen. Het regionale veldenmodel is toepasbaar om de externe veiligheidsrisico's van het luchtverkeer op overige burgerluchthavens van nationale en regionale betekenis te berekenen. Het helikoptermodel is toepasbaar om de externe veiligheidsrisico's van helikopterverkeer met een startgewicht tot 12.000 kg op helihavens en vliegvelden te berekenen. De rekenmethode wordt niet gebruikt voor heliplatforms op zee, omdat daar geen omwonenden zijn en externe veiligheid dus geen aandachtspunt is¹⁰.

In het rapport naar de validiteit van de 10^{-7} -contour is daarnaast een toepassingsgebied afgeleid waarin toepassing van de rekenvoorschriften en het rekenprogramma rondom de luchthaven Schiphol wetenschappelijk verantwoord zijn. Hieruit volgt dat toepassing van de

rekenvoorschriften en het rekenprogramma vanaf de baan kop tot de kromming van naderingsroutes als betrouwbaar wordt beschouwd⁵. De verwachting is dat dit ook voor de regionale luchthavens geldt.

4.3 Toetsing ongevalskansen

De ongevalskans is de kans per vliegtuig- of helikopterbeweging dat het vliegtuig of de helikopter neerstort. In deze paragraaf is de toetsing van de wetenschappelijke waarde van de ongevalskansen weergegeven. Er wordt hierbij voornamelijk ingezoomd op de data die gebruikt zijn om de ongevalskansen af te leiden. Voor deze toetsing is gebruikgemaakt van het onderzoek naar de validiteit van de PR 10^{-7} -contouren en de meest actuele herzieningen van de ongevalskansen voor Schiphol¹⁷ en de regionale luchthavens¹⁶. Ook is het rapport over de ontwikkeling van het helikoptermodel gebruikt¹⁰.

4.3.1 Validiteit

De beoordeling van de validiteit richt zich op de vraag of de rekenmethode inhoudelijk klopt. Een rekenmethode is valide als de onderbouwing van de rekenmethode aansluit bij de actuele, representatieve wetenschappelijke inzichten en als de rekenmethode geen schijnnaauwkeurigheid geeft.

De ongevalskansen zijn bepaald per type verkeer en per ongevalstype (*take-off-overrun*, *take-off-overshoot*, *landing-overrun*, *landing-undershoot*) en in sommige gevallen per vliegtuiggeneratie (zie Tabel 2). Het ongevalstype *veer-off* wordt niet meegenomen. Uit een onderzoek uit 2013 door NLR is gebleken dat voor Nederlandse luchthavens de kans op een *veer-off*-ongeval buiten het luchthaventerrein vrij klein is en het *veer-off*-risico daarmee als niet significant beschouwd kan worden⁷.

Tabel 2 Type verkeer waarvoor ongevalskansen zijn afgeleid.

Type luchthaven	Type verkeer	Generatie
Schiphol	Zwaar verkeer	Generatie 1
		Generatie 2
		Generatie 3
Regionale luchthavens	Passagiers- en vrachtvliegtuigen	Generatie 1
		Generatie 2
		Generatie 3
	Business jets	
	Licht verkeer	
Helihavens	Single-enginepiston	
	Single-engineturbine	
	Multi-engineturbine	

De ongevalskansen voor de verschillende type luchthavens en verkeer zijn op verschillende momenten afgeleid en herzien (zie Tabel 3).

Tabel 3 Onderzoeken naar ongevalskansen.

	Zwaar verkeer		Lichtverkeer	Helikopters
	Schiphol	Regionale luchthavens		
Afgeleid	1992 ⁸	1997 ⁹	1997 ⁹	2008 ¹⁰
Herzien	1999 ¹¹	2002 ¹²	2002 ¹²	-
	2005 ¹³	2011 ¹⁴	2011 ¹⁴	
	2013 ¹⁵	2021 ¹⁶	2021 ¹⁶	
	2019 ¹⁷			

Uit de tabel blijkt dat de ongevalskansen voor zwaar verkeer op Schiphol, zwaar verkeer op regionale luchthavens en voor licht verkeer recent zijn geactualiseerd. De ongevalskansen voor helikopters zijn in 2008 bepaald en daarna niet meer herzien. Mogelijk zijn de ongevalskansen voor helikopters daardoor niet meer passend bij de huidige situatie.

Schiphol

De ongevalskansen voor zwaar verkeer op Schiphol zijn afgeleid van vluchtgegevens en ongevalsgegevens van vijftig grote internationale luchthavens uit Noord-Amerika en West-Europa. Uit het rapport over de validiteit van de PR 10^{-7} -contouren blijkt dat in de analyse uitsluitend luchthavens zijn meegenomen waarvan het verkeer, de afhandeling daarvan en de omgeving, zo goed als mogelijk vergelijkbaar zijn met Schiphol⁵. Luchthavens in berggebieden zijn bijvoorbeeld niet meegenomen. Van de geselecteerde luchthavens zijn vervolgens alleen relevante ongevallen meegenomen. Het gaat hierbij om externe veiligheidsongevallen; elk ongewenst contact van een vliegtuig met de grond buiten de start- en landingsbaan.

Bij de herziening van de ongevalskansen voor zwaar verkeer op Schiphol in 2019, was het uitgangspunt om de afleidingswijze zoveel mogelijk te laten aansluiten bij de eerder gehanteerde werkwijze voor het afleiden van ongevalskansen¹⁷. Daarom is dezelfde selectie van luchthavens gehanteerd. NLR nam daarbij aan dat de luchthavens nog steeds aan de selectiecriteria voldoen. Hierop is geen nieuwe toets uitgevoerd. Hierdoor is het mogelijk dat er enkele luchthavens zijn die niet meer aan de criteria voldoen, of dat er nieuwe luchthavens zijn die ook aan de criteria voldoen. Het effect hiervan op de bepaalde ongevalskansen zal naar verwachting beperkt zijn.

De herziening van de ongevalskansen voor zwaar verkeer op Schiphol is gebaseerd op ongevallen- en vluchtendata uit de periode 2001 tot en met 2018. In deze periode hebben relevante ontwikkelingen op het gebied van luchtvaartveiligheid plaatsgevonden. In 2005 heeft de Europese Commissie een zwarte lijst met operators uit landen met een lage veiligheidscultuur en matig toezicht door de lokale overheid geïntroduceerd. Sindsdien vliegen dergelijke operators niet meer op EU-luchthavens. Dat heeft het veiligheidsniveau verbeterd. De dataset 2005 tot en met 2018 was echter voor het zwaar verkeer op Schiphol niet toereikend, omdat in die periode geen *take-off-overrun* plaatsvond. Daarom is de dataset verruimd naar 2001. Via een significantietoets is onderzocht of de data van de verschillende jaren statistisch van elkaar

verschillen. Dit bleek niet het geval, waardoor de data samengevoegd konden worden. De herziening is daarnaast uitsluitend gericht op generatie-3-vliegtuigen. Hiervoor is gekozen, omdat veruit het grootste deel van de vliegtuigen op Schiphol vliegtuigen van de derde generatie betreft. Het aandeel generatie-1- en generatie-2-vliegtuigen is dusdanig klein dat een herziening van de ongevalskansen van deze vliegtuigen nauwelijks effect zal hebben op de resultaten van een risicoberekening.

Regionale luchthavens

Bij de herziening van de ongevalskansen voor regionale luchthavens in 2021¹⁶ zijn het zwaar verkeer, inclusief business jets, en het lichte verkeer apart beschouwd. Voor het zwaar verkeer is een selectie gemaakt van 372 vergelijkbare Europese luchthavens op basis van de selectiecriteria die zijn vastgelegd in het rapport uit 2021. NLR geeft in het onderzoek aan dat het lastig is om eenduidige karakteristieken op te stellen voor de Nederlandse regionale luchthavens, omdat deze onderling al van elkaar verschillen qua type verkeer en verkeersvolumes. Daarbij speelt mee dat wanneer gedetailleerde selectiecriteria worden gehanteerd, dit ten koste gaat van het aantal luchthavens dat geselecteerd kan worden. Er moest dus een balans gevonden worden tussen representativiteit van de gebruikte data en de statistische betrouwbaarheid van de geschatte kansen. NLR verwacht dat deze balans is gevonden met de geselecteerde 372 luchthavens. Wij kennen geen redenen om aan te nemen dat deze verwachting niet klopt. Daarnaast is de herziening van de ongevalskansen voor het zwaar verkeer op regionale luchthavens ook uitsluitend gericht op generatie-3-vliegtuigen. Het verkeer van generatie 1 en 2 maakt in de geselecteerde periode slechts 0,6 procent uit van het totale verkeer op de Nederlandse regionale luchthavens. Een herziening hiervan zal daardoor nauwelijks effect hebben op de resultaten van een risicoberekening.

Voor het licht verkeer zijn uitsluitend vijftien Nederlandse luchthavens beschouwd. Het aantal luchthavens waarop de ongevalskans voor licht verkeer is bepaald, is daarmee een stuk kleiner dan voor zwaar verkeer. Om voor licht verkeer onderscheid te kunnen maken in de ongevalskansen voor *overrun* en *undershoot* bij de landing wordt gebruikgemaakt van een weegfactor. Deze weegfactor is de verhouding van het aantal landing *undershoot* en het totaal aantal landingsongevallen.

Voor het zwaar verkeer op regionale luchthavens, zowel passagiersverkeer, als vrachtverkeer en business jets, zijn de ongevalskansen afgeleid van gegevens van ongevallen die plaatsvonden in de periode 2005-2019. 2005 is hierbij als startjaar gekozen vanwege de zwarte lijst met operators die de Europese Commissie heeft geïntroduceerd en het daarmee aantoonbaar verbeterde veiligheidsniveau. De gekozen tijdsperiode is daarmee representatief voor de huidige situatie. Voor het licht verkeer op regionale luchthavens is de periode 1999 tot 2019 beschouwd. In deze periode hebben er voor licht vliegverkeer geen grote wijzigingen plaatsgevonden in de vliegveiligheid. Hierdoor is ook deze tijdsperiode voor de huidige situatie representatief.

Helihavens

De ongevalskansen voor helikopters zijn afgeleid van ongevallen in de periode 1990 tot 2004. Er zijn ongevalsdata van negentien West-Europese landen gebruikt, waarvan de helikopteroperaties en de wetgeving vergelijkbaar zijn met die van Nederland¹⁰. Vanwege andere wetgeving en ander gebruik van helikoptertypen zijn geen data van helihavens buiten West-Europa gebruikt. Daarbij zijn alleen ongevallen meegenomen die in de directe omgeving van een helihaven hebben plaatsgevonden en die relevant zijn voor externe veiligheid. Het gaat hierbij om elk ongewenst contact van een helikopter met de grond buiten de helikopterlandingsplaats, waarbij een persoon (dodelijk) gewond raakt of de helikopter of andere objecten schade oplopen³⁸. De geselecteerde ongevallen waarop de ongevalskansen zijn bepaald, zijn hiermee representatief voor de Nederlandse situatie.

Aandachtspunten

Een aandachtspunt voor eventuele toekomstige herzieningen van de ongevalskansen is de verdeling van het zwaar verkeer op Schiphol en regionale luchthavens in generaties. Al geruime tijd worden drie generaties onderscheiden: generatie 1 (certificatie voor 1965), generatie 2 (certificatie tussen 1965 en 1980) en generatie 3 (certificatie na 1980)⁸. Hier is een generatie-4-vliegtuigen bijgekomen. Het gaat hierbij volgens de definitie van Airbus om vliegtuigen die zijn voorzien van digitale 'fly by wire'-besturingssystemen met 'Flight Envelope Protection'. Het gaat niet om bestaande vliegtuigen waarbij gedeelten van de mechanische besturing worden vervangen. Bij de meest recente actualisatie van de ongevalskansen voor zwaar verkeer op regionale luchthavens bleek het volgens NLR nog niet mogelijk te zijn om ongevalskansen voor generatie-4-vliegtuigen af te leiden. Dit komt doordat in dat onderzoek de ongevalskansen van generatie-4-vliegtuigen statistisch nog niet verschilden van de ongevalskansen van generatie-3-vliegtuigen en door het ontbreken van voldoende ongevallen voor ieder ongevalstype¹⁶. Wanneer het aandeel generatie-4-vliegtuigen toeneemt, is dit volgens NLR¹⁶, in de toekomst wellicht wel mogelijk.

Een ander aandachtspunt is dat de geactualiseerde ongevalskansen voor Schiphol nog niet zijn verwerkt in de Regeling milieu-informatie, de Regeling burgerluchthavens en het rekenprogramma GEVERS. De berekeningen worden daardoor nog uitgevoerd met verouderde ongevalskansen, waardoor de uitkomsten niet aansluiten bij de meest actuele wetenschappelijke inzichten. Voor de regionale luchthavens zijn de geactualiseerde ongevalskansen per juli 2023 gepubliceerd in de Staatscourant en opgenomen in het rekenprogramma Gevers.

4.3.2 *Betrouwbaarheid*

De beoordeling van de betrouwbaarheid richt zich op de vraag of de ongevalskansen herleidbaar, reproduceerbaar en conservatief zijn.

Schiphol en regionale luchthavens

De ongevalskansen voor het zwaar verkeer op Schiphol zijn gebaseerd op vliegbewegingen en aantallen ongevallen bij grote luchthavens die over het algemeen goed worden geregistreerd⁵. Doordat gebruik wordt

gemaakt van goed geregistreerde data neemt de betrouwbaarheid van de ongevalskansen toe.

Bij de meest recente herziening van de ongevalskansen voor zwaar verkeer op Schiphol¹⁷ zijn meerdere, zowel openbare als semi-openbare (op aanvraag/te koop), databronnen gebruikt om ongevallen (ASCEND*, ECCAIRS*, Flight International*, AvHerald, Aviation Safety Network) en vliegbewegingen (Official Airline Guide (OAG)* en jaarrapportages van luchthavens) te verzamelenⁱⁱⁱ.

Ook voor zwaar en licht verkeer op regionale luchthavens zijn bij de meest recente herziening van de ongevalskansen meerdere, zowel openbare als semi-openbare (op aanvraag/te koop), databronnen gebruikt om ongevallen (ICAO ADREP*, ASCEND*, Analysebureau Luchtvaartvoorvallen, Onderzoeksraad voor Veiligheid) en vliegbewegingen (Official Airline Guide*, luchthavens) te verzamelen. Doordat meerdere bronnen zijn gebruikt, kon de gevonden data gevalideerd worden. Dit vergroot de betrouwbaarheid van de data.

Van de OAG-database die is gebruikt om vluchtbewegingen te verzamelen, heeft NLR ieder kwartaal één set *'scheduled flights'*-gegevens van een week gebruikt. NLR neemt daarbij aan dat gegevens van een week representatief zijn voor de rest van het kwartaal, aangezien vaak volgens een jaarlijks winter-/zomerschema wordt gevlogen¹⁶. Deze aanname heeft NLR in de onderzoeken gevalideerd met gegevens uit jaarrapportages.

Een nadeel van de vluchtbewegingen in OAG is dat alleen geregeld vliegverkeer wordt vastgelegd. Niet-geregelde commerciële vluchten, zoals zakelijke vluchten, ontbreken in de dataset. Hierdoor zijn onvoldoende data beschikbaar om aparte ongevalskansen af te leiden. Uit een analyse van NLR is gebleken dat gemiddeld 83 procent van het commerciële vliegverkeer op regionale luchthavens in Europa als geregelde vlucht wordt uitgevoerd. Op Nederlandse regionale luchthavens schommelt dit tussen 23 en 98 procent met een gemiddelde van 85 procent voor de periode 2005-2019¹⁶. Daarnaast verschillen de eisen die gesteld worden aan de vliegoperatie niet voor geregelde en niet-geregelde commerciële vluchten. Voorheen werden niet-geregelde commerciële vluchten voornamelijk uitgevoerd door operators uit landen met een lage veiligheidscultuur en matig toezicht door de lokale overheid. De vliegtuigen werden minder grondig onderhouden en hadden een hogere mate van onveiligheid in de vluchtuitvoering. Ditzelfde gold voor vrachtvliegtuigen. Sinds de invoering van de zwarte lijst in 2005 vliegen dit soort operators niet meer op EU-luchthavens. NLR verwacht daardoor dat er vanaf 2005 geen significant verschil meer is tussen de ongevalskansen van geregelde en niet-geregelde vluchten en tussen passagiers- en vrachtvluchten. Daarom wordt aangenomen dat de ongevalskansen, gebaseerd op data voor geregelde commerciële vluchten, ook gelden voor niet-geregelde commerciële vluchten¹⁶. Ook wordt aangenomen dat de passagiers- en vrachtvluchten op regionale luchthavens samengenomen kunnen worden bij het afleiden van de

ⁱⁱⁱ Databronnen aangegeven met * zijn semi-openbaar.

ongevalskansen. Wij zien geen redenen om aan te nemen dat deze aannames niet kloppen.

De ongevallen- en vluchtendata van geregelde vluchten uit de periode 2001 tot en met 2018, die gebruikt zijn voor de herziening van de ongevalsekansen voor zwaar verkeer op Schiphol, leveren voldoende ongevallen om voor elk ongevalstype een ongevalsekans te kunnen bepalen. Doordat ongevalsdata uit verschillende jaren worden samengevoegd, wordt een grotere set aan gegevens verkregen. Een grotere set aan gegevens leidt vaak tot meer betrouwbare ongevalsekansen. Er is echter wel een grens aan de periode die gebruikt kan worden, doordat oudere data na een bepaalde tijd niet meer representatief zijn voor de vliegoperaties in de komende jaren. Het samenvoegen van data mag ook alleen als er binnen de beschouwde periode geen statistisch significant verschil bestaat in de ongevalsekans. Uit de door NLR uitgevoerde significantietoets in het onderzoek naar de actuele ongevalsekansen voor Schiphol blijkt dat dit in de beschouwde periode het geval is, waardoor de data samengevoegd mogen worden¹⁷. Het aantal ongevallen per ongevalstype is, zoals te zien in Tabel 4, echter nog steeds beperkt¹⁷.

Tabel 4 Aantal ongevallen t.b.v. herziening ongevalsekansen Schiphol.

	Zwaar verkeer
Landing-overnrun	15
Landing-undershoot	9
Start-overshoot	4
Start-overnrun	1

Ook de ongevallen- en vluchtendata uit de perioden die gebruikt zijn voor de herziening van de ongevalsekansen voor zwaar en licht verkeer op regionale luchthavens leveren voldoende ongevallen op om voor elk ongevalstype een ongevalsekans te kunnen bepalen. Doordat een grotere dataset is gehanteerd, zijn de afgeleide ongevalsekansen volgens NLR betrouwbaarder dan de eerder afgeleide ongevalsekansen¹⁶. Uit de analyse blijkt dat binnen de periode geen statistisch significant verschil is gevonden in de ongevalsekans en dat de datasets mogen worden samengevoegd. Ook hiervoor geldt echter dat het aantal ongevallen per scenario nog steeds beperkt is, zoals is te zien in Tabel 5.

Tabel 5 Aantal ongevallen t.b.v. herziening ongevalsekansen regionale luchthavens.

	Zwaar verkeer	Zaken-jets	Licht verkeer
Landing-overnrun	30	6	4
Landing-undershoot	4	4	8
Start-overshoot	1	1	13
Start-overnrun	1	2	0

Vanwege het beperkte aantal ongevallen per ongevalstype is de statistische onzekerheid in de ongevalsekans, zowel voor Schiphol als voor de regionale luchthavens, volgens NLR tamelijk groot. Bij het

afleiden van de ongevalskansen is daarom een betrouwbaarheidsinterval van 95 procent gehanteerd.

Helihavens

De ongevalskansen voor helikopters zijn afgeleid van helikopterongevallen uit de NLR Air Safety Database. Deze database bevat data van verschillende bronnen. Er zijn 145 ongevallen geïdentificeerd uit 19 landen¹⁰. Bij de selectie van landen is een afweging gemaakt tussen representativiteit van de gebruikte data en de statistische betrouwbaarheid van de geschatte kansen.

De vluchtbewegingen worden voor helikopters vaak niet geregistreerd¹⁰. Gedetailleerde informatie over het aantal vluchten is daardoor niet beschikbaar. Daarom zijn de vluchtaantallen benaderd door de vluchten uit de commerciële helikopter database HeliCAS om te rekenen in aantal vluchten. De betrouwbaarheid van het benaderde aantal vluchtenbewegingen kan niet bepaald worden, maar de HeliCAS-database was op het moment van afleiden de meest complete database¹⁰. Daarnaast worden helikopters voor verschillende doeleinden gebruikt (bijvoorbeeld commerciële vluchten, instructievluchten, medische vluchten), maar worden ook deze operatietypes niet geregistreerd. Vanwege dit gebrek aan informatie was het niet mogelijk om voor verschillende operatietype ongevalskansen af te leiden¹⁰. Daarom is voor een meer generieke opzet gekozen, waarbij er ongevalskansen zijn afgeleid voor de start en landing van drie motortypecategorieën, namelijk de *single-enginepiston*, *single-engineturbine* en *multi-engineturbine*. Voor piston-enginehelikopters is geen informatie aanwezig in de HeliCAS-database. Daarom zijn de ongevalskansen hiervoor bepaald op basis van *expert judgement*.

Aandachtspunt

Aandachtspunt is dat in de Regeling burgerluchthavens een lijst met standaard vliegtuiggegevens is opgenomen, die gebruikt moet worden om luchtvaartuigen toe te wijzen aan de vliegtuiggeneratie of het helikoptertype. Hiervan is vervolgens ook de ongevalskans afhankelijk. In de regeling is aangegeven dat het RIVM deze lijst beheert. Dit is echter niet het geval, aangezien alle beheertaken voor externe veiligheid bij het ministerie van IenW liggen. Er is dus geen actuele lijst beschikbaar. Dit beperkt de herleidbaarheid.

4.3.3 *Conclusie toetsing ongevalskansen*

Uit de toetsing van de wetenschappelijke waarde van de ongevalskansen blijkt dat de ongevalskansen, zowel voor zwaar verkeer op Schiphol als voor zwaar en licht verkeer op de regionale luchthavens, recent zijn herzien. Daarbij geven de onderzoeken aan welke selectiecriteria, bronnen en werkwijze zijn gehanteerd. De ongevalskansen zijn daarmee actueel en herleidbaar. De ongevalskansen voor helikopters zijn niet recent herzien en passen daardoor mogelijk niet meer bij de huidige situatie.

Voor zwaar verkeer op Schiphol zijn de ongevalskansen afgeleid van relevante vliegtuigongevallen die in een representatieve tijdsperiode bij luchthavens plaatsvonden, die zo goed als mogelijk vergelijkbaar zijn met Schiphol. Bij de herziening van de ongevalskansen voor zwaar

verkeer op Schiphol is niet opnieuw getoetst of de geselecteerde luchthavens nog steeds aan de selectiecriteria voldoen. Verwacht wordt dat deze selectie nog steeds representatief en daarmee valide is voor de huidige situatie.

De ongevalskansen voor het zwaar verkeer op regionale luchthavens zijn afgeleid van vliegtuigongevallen die plaatsvonden in een representatieve tijdsperiode bij Europese luchthavens die voldoende representatief zijn voor de Nederlandse regionale luchthavens. Hierbij is een afweging gemaakt tussen representativiteit van de gebruikte data en de statistische betrouwbaarheid van de geschatte kansen. Dit geldt ook voor de afgeleide ongevalskansen voor helikopters. Om de ongevalskansen voor licht verkeer op regionale luchthavens te bepalen, zijn uitsluitend de Nederlandse luchthavens beschouwd. De representativiteit, en daarmee de validiteit van de brongegevens voor zowel het zwaar als het licht verkeer bij regionale luchthavens, is daarmee naar verwachting voldoende.

Het aantal gebruikte ongevallen en de vliegbewegingen om de ongevalskansen vanaf te leiden, is zowel voor Schiphol als voor de regionale luchthavens uit meerdere bronnen verzameld. Doordat meerdere bronnen zijn gebruikt, kon de gevonden data gevalideerd worden. Dit vergroot de betrouwbaarheid van de data. Vanwege het beperkte aantal ongevallen per scenario is de statistische onzekerheid in de ongevalskans, zowel voor Schiphol als voor de regionale luchthavens, echter tamelijk groot. Bij het afleiden van de ongevalskansen is daarom een betrouwbaarheidsinterval van 95 procent gehanteerd. De verwachting is dat het gehanteerde betrouwbaarheidsinterval een belangrijk deel van de werkelijke onzekerheden in de ongevalskansen dekt.

Voor helikopters geldt dat door gebrek aan informatie geen specifieke ongevalskansen afgeleid konden worden per helikopter- en operatietype en daarom een generieker model is opgesteld. Dit betekent dat als er berekeningen voor helihavens worden uitgevoerd die te sterk van het gemiddelde afwijken, de berekende risico's slechts indicatief zijn.

4.4 Toetsing ongevalslocatie

De ongevalslocatie geeft aan waar en met welke kans een vliegtuig neerstort, gegeven het feit dát het vliegtuig neerstort. De kans dat een locatie door een vliegtuig getroffen wordt en de impact hiervan verschillen per locatie. Door deze lokale verschillen ontstaat een geografisch profiel (risicolandschap).

In deze paragraaf is de toetsing van de wetenschappelijke waarde van het ongevalslocatiemodel weergegeven. Voor deze toetsing is gebruikgemaakt van het onderzoek naar de validiteit van de PR 10^{-7} -contouren.

4.4.1 Validiteit

De beoordeling van de validiteit richt zich op de vraag of de rekenmethode inhoudelijk klopt. Een rekenmethode is valide als de onderbouwing van de rekenmethode aansluit bij de actuele,

representatieve wetenschappelijke inzichten en als de rekenmethode geen schijnnaauwkeurigheid geeft.

De ongevalslocatiemodellen voor de verschillende type luchthavens en verkeer zijn op verschillende momenten afgeleid en herzien (zie Tabel 6).

Tabel 6 Ontwikkeling ongevalslocatiemodellen.

	Zwaar verkeer		Lichtverkeer	Helikopters
	Schiphol	Regionale luchthavens		
Afgeleid	1992 ⁸	1992 ^{iv}	1997 ⁹	2008 ¹⁰
Herzien	1999 ¹¹	1999 ¹¹	-	-

De tabel laat zien dat de ongevalslocatiemodellen niet recent herzien zijn. Mogelijk zijn de eerder afgeleide locatieverdelingen niet meer representatief voor de huidige praktijk.

Het ongevalslocatiemodel voor de regionale luchthavens Maastricht, Eelde, Lelystad en Rotterdam wijkt deels af van het ongevalslocatiemodel voor de andere regionale luchthavens en Schiphol. In 2009 is door het ministerie van Verkeer en Waterstaat DGLM de beleidskeuze gemaakt dat voor de genoemde regionale luchthavens een afwijkende routespreidingsparameter moet worden gehanteerd. Voor de andere regionale luchthavens wordt de standaard routespreidingsparameter gebruikt, die is opgenomen in de Handleiding Risicoberekeningen Luchthavens³⁹. In de handleiding staat niet waarom een afwijkende routespreidingsparameter wordt gehanteerd.

Het ongevalslocatiemodel voor zwaar verkeer is afgeleid van vliegtuigongevallen die daadwerkelijk zijn opgetreden. De ongevalsdata zijn verkregen uit de NLR Air Safety Database. Deze database bevat data van verschillende bronnen. Uit het rapport over de validiteit van de PR 10⁻⁷-contouren blijkt dat voor het opstellen van het ongevalslocatiemodel vijf datasets zijn gebruikt met gezamenlijk ongeveer 1.600 datapunten. Er is echter geen filtering uitgevoerd naar vliegverkeer dat overeenkomt met het vliegverkeer van en naar de Nederlandse luchthavens. De representativiteit van de data is daardoor waarschijnlijk beperkt⁵.

Ook voor licht verkeer op regionale luchthavens is het ongevalslocatiemodel gebaseerd op vliegtuigongevallen die daadwerkelijk zijn opgetreden. De ongevalsdata zijn verkregen uit de NLR Air Safety Database. De ongevalslocaties zijn bepaald aan de hand van ongeveer 600 ongevallen. Er is ook hierbij geen filtering uitgevoerd naar vliegverkeer en vliegsituaties die overeenkomen met het vliegverkeer van en naar de Nederlandse regionale luchthavens. De representativiteit van de data is daardoor waarschijnlijk beperkt¹².

In de ongevalslocatiemodellen zijn voor de vier verschillende ongevalstypes (*take-off-overrun*, *take-off-overshoot*, *landing-*

^{iv} Voor regionale luchthavens is het ongevalslocatiemodel ontwikkeld in de periode 1995 tot 1998. Hierbij is voor zwaar verkeer aangenomen dat de ongevalslocatie niet verschilt van die van grote luchthavens, waardoor dezelfde cijfers als voor Schiphol zijn gehanteerd.

undershoot, landing-overrun) verschillende verdelingsfuncties gebruikt. Dit is gedaan omdat elk type ongeval een andere impactverdeling heeft. De incidentrapporten waarop de ongevalslocaties zijn gebaseerd, bevatten echter vaak niet genoeg informatie om de ongevalslocatie nauwkeurig te kunnen inschatten (zie ook onder betrouwbaarheid). Bij de inschatting van de ongevalslocatie zijn er daardoor onzekerheden. Deze komen onder meer tot uiting doordat de verdelingsfuncties van de ongevalslocaties oneindig ver doorlopen, terwijl het bereik van datapunten met daadwerkelijke ongevalslocaties eindig is. Het gebied waar risico's berekend worden, is daardoor groter dan het gebied waar ongevallen zijn opgetreden.

Voor helikopters geldt dat deze vanaf de helikopterlandingsplaats direct in vrijwel alle richtingen kunnen aan-/uitvliegen. In het rekenprogramma is het verkeer van en naar de helihavens daardoor weergegeven in sectoren met het start- en landingspunt in het midden van de cirkel. Per sector wordt de bijdrage aan de ongevalslocatie bepaald door het deel van de helikopterbewegingen dat aan die sector is toegewezen. Het ongevalslocatiemodel voor helikopters is gebaseerd op de spreiding van daadwerkelijke ongevallen. Voor het afleiden van het ongevalslocatiemodel zijn ook ongevallen buiten West Europa gebruikt, omdat alleen de ongevallen binnen West Europa te weinig informatie boden¹⁰. Hierdoor zijn de ongevalslocaties mogelijk minder representatief.

4.4.2 *Betrouwbaarheid*

De beoordeling van de betrouwbaarheid richt zich op de vraag of het ongevalslocatiemodel herleidbaar, reproduceerbaar en conservatief is.

De ongevalslocatiemodellen zijn gebaseerd op een analyse van ongevalslocaties in relatie tot de ligging van de start- of landingsbaan en de voorgenomen route. De incidentrapporten waarop de ongevalslocaties zijn gebaseerd, bevatten echter vaak niet genoeg informatie om de ongevalslocaties nauwkeurig te kunnen inschatten (zie ook onder validiteit). De exacte locatie van een ongeval is namelijk meestal niet gerapporteerd; vaak wordt alleen de afstand tot de baan kop vastgelegd. Ook de voorgenomen route is voor de meeste ongevallen niet bekend⁵. Dit leidt tot onzekerheden in het schatten van de ongevalslocaties.

Landing-undershoot en take-off-overshoot zwaar verkeer

Voor de ongevalstypen *landing-undershoot en take-off-overshoot* wordt het risico in de ongevalslocatiemodellen opgesplitst in twee delen; een baanafhankelijk deel voor ongevallen waarvoor de locatie ten opzichte van de baan bekend was en een routeafhankelijk deel voor ongevallen waarvoor de laterale afstand nul was of niet bekend en daarom gelijk gesteld is aan nul.

Omdat voor het baanafhankelijke deel de specifieke locatie van het ongeval bekend was, is dit onderdeel vrij nauwkeurig. Voor het routeafhankelijke deel geldt dat alle ongevallen waarvan de dwarsafstand nul is hieraan worden toegekend, terwijl sommige ongevallen waarschijnlijk wel een dwarsafstand hadden. Hierdoor wordt

een te groot deel direct onder de routes geprojecteerd. Dat kan aanzienlijke invloed hebben op de ligging van de PR-contouren⁵. De verdeling van de ongevallen voor het routeafhankelijke deel is dus niet gebaseerd op waarnemingen, maar op een aanname voor de operationele spreiding, de spreiding van de daadwerkelijk gevlogen routes. Volgens NLR is voor landingen gebleken dat de aanname over de te hanteren operationele spreiding tot een te lage spreiding leidt⁵. Vooral op grotere afstand van de baankop (meer dan 8 km) hebben de landingsbewegingen in werkelijkheid een veel grotere spreiding dan de operationele spreiding die in de risicoanalyse wordt meegenomen⁵. De operationele spreiding is dus niet representatief. Voor starts is de operationele spreiding volgens NLR waarschijnlijk wel representatief.

Landing-overrun zwaar verkeer

Uit het rapport over de validiteit van de PR 10^{-7} -contouren blijkt dat de brondata voor het ongevalstype *landing-overrun* waarschijnlijk voldoende betrouwbaar zijn. Het scenario is volgens NLR echter niet goed geïmplementeerd in het rekenvoorschrift. Het risico van de *overrun* wordt alleen geplaatst bij de eindlocatie van de *overrun*, maar er zou ook een risicobijdrage berekend moeten worden in het gebied tussen de start-/landingsbaan en de eindlocatie⁵. Zonder die correctie worden de risico's voorbij de baankop overschat.

Licht verkeer

Voor licht verkeer op regionale luchthavens zijn de *take-off*-ongevalslocaties bepaald aan de hand van 150 ongevallen. De *landing-undershoot*-ongevalslocaties zijn bepaald aan de hand van 270 ongevallen. De *landing-overshoot*-ongevalslocaties zijn bepaald aan de hand van 172 ongevallen¹². Het aantal ongevallen waarop de ongevvalslocaties zijn bepaald, is daarmee relatief groot.

Helikopters

Ook voor helikopters geldt dat de incidentrapporten, waarop de ongevvalslocaties zijn gebaseerd, vaak niet genoeg informatie bevatten om de ongevvalslocaties nauwkeurig te kunnen inschatten. De exacte locatie van een ongeval ten opzichte van de start- of landingslocatie is meestal niet gerapporteerd. De ongevvalslocaties zijn bepaald aan de hand van 31 ongevallen tijdens de start en 43 ongevallen tijdens de landing¹⁰. Het aantal ongevallen is daarmee beperkt en geeft onzekerheid in het ongevvalslocatiemodel.

4.4.3 *Conclusie toetsing ongevvalslocaties*

Uit de toetsing van de wetenschappelijke waarde van de ongevvalslocaties blijkt dat de gegevens waarop de ongevvalslocaties zijn gebaseerd, niet recent herzien zijn en daardoor mogelijk niet meer aansluiten bij de huidige situatie.

De representativiteit van de data waarop de ongevvalslocaties voor zwaar verkeer op Schiphol en zwaar verkeer op regionale luchthavens zijn bepaald, is daarnaast mogelijk beperkt. Dit komt doordat geen filtering in de data heeft plaatsgevonden naar vliegverkeer en vliegsituaties die representatief zijn voor de Nederlandse situatie.

Ook zijn er meerdere onzekerheden bij de inschatting van de ongevalslocaties, zowel voor vliegtuigen als voor helikopters. Dit komt voort uit de beperkte gegevens waarop de ongevalslocaties zijn bepaald. In de incidentrapporten die zijn gebruikt om de ongevalslocaties te bepalen, was de exacte locatie van de ongevallen vaak niet weergegeven. Door dit gebrek aan betrouwbare data was het nodig in het model aannames te doen over de locatie van de ongevallen door de geografische spreiding gelijk te stellen aan de operationele spreiding. De validiteit en betrouwbaarheid van deze aanname is beperkt.

In 2015 heeft NLR onderzocht of er voldoende data beschikbaar zijn om de ongevalslocaties te kunnen actualiseren¹⁸. Hieruit bleek dat van recentere ongevallen meer gegevens beschikbaar zijn dan van oudere ongevallen. Dat komt onder meer doordat er tegenwoordig meer verplichting is om te melden en te bewaren dan voorheen en doordat er tegenwoordig betere informatietechnologiemiddelen beschikbaar zijn voor het verzamelen en bewaren van gegevens. De verwachting is dan ook dat er nu meer gedetailleerde gegevens beschikbaar zijn om de ongevalslocaties te kunnen bepalen.

4.5 Toetsing ongevalsgevolgen

De ongevalsgevolgen worden bepaald door de grootte van het schadegebied (ongevalsgevolggebied) en de kans op overlijden in dit gebied (letaliteit). In dit hoofdstuk is de toetsing van de wetenschappelijke waarde van de ongevalsgevolgen weergegeven. Voor deze toetsing is gebruikgemaakt van het onderzoek naar de validiteit van de PR 10^{-7} -contouren⁵ en de actualisatie van de letaliteit voor licht verkeer uit 2010¹⁹.

4.5.1 Validiteit

De beoordeling van de validiteit richt zich op de vraag of de rekenmethode inhoudelijk klopt. Een rekenmethode is valide als de onderbouwing van de rekenmethode aansluit bij de actuele, representatieve wetenschappelijke inzichten en als de rekenmethode geen schijnnaauwkeurigheid geeft.

De grootte van het ongevalsgevolggebied hangt af van het maximale startgewicht van een vliegtuig en de vliegtuigcategorie. Aanname hierbij is een lineair verband tussen het maximale startgewicht en de grootte van het ongevalsgevolggebied. Ook voor helikopters is deze aanname gedaan. De letaliteit is afhankelijk van de vliegtuigcategorie. Voor helikopters is één waarde voor de letaliteit bepaald.

De ongevalsgevolgen voor de verschillende typen luchthavens en verkeer zijn op verschillende momenten afgeleid en herzien (zie Tabel 7).

Tabel 7 Ontwikkeling ongevalsgevolgen.

	Zwaar verkeer		Lichtverkeer	Helikopters
	Schiphol	Regionale luchthavens		
Afgeleid	1992 ⁸	1992 ^v	1997 ⁹	2008 ¹⁰
Herzien	1999 ¹¹	1999 ¹¹	2002 ¹²	-
			2010 (letaliteit) ¹⁹	

De tabel laat zien dat de ongevalsgevolgen niet recent zijn geactualiseerd. Sinds de ontwikkeling van het ongevalsgevolgmodel en de laatste herzieningen hiervan, zijn er veranderingen in de luchtvaart geweest¹⁶. Oudere typen vliegtuigen komen steeds minder voor, omdat oudere typen vliegtuigen vaak duur in gebruik of voorbij hun levensduur zijn of niet voldoen aan de geluidseisen. Door deze verandering in typen vliegtuigen, en ook de omvang van bepaalde typen vliegtuigen, is de grootte van het ongevalsgevolggebied mogelijk minder representatief voor de huidige situatie. Daarbij speelt mee dat de ongevalskansen wel recenter zijn geactualiseerd. Mogelijk passen de ongevalsgevolgen niet meer bij de geactualiseerde ongevalskansen^{vi}.

Ongevalsgevolggebied

De grootte van het ongevalsgevolggebied is voor zwaar verkeer afgeleid van vliegtuigongevallen die daadwerkelijk zijn opgetreden. Uit het rapport over de validiteit van de PR 10^{-7} -contouren blijkt dat de geselecteerde ongevallen, gezien het vliegtuigtype, representatief zijn voor de situatie van Schiphol⁵. Voor het zwaar verkeer op regionale luchthavens wordt ervan uitgegaan dat de ongevalsgevolgen niet verschillen van die van Schiphol. Aangezien de regionale luchthavens kortere start- en landingsbanen hebben dan Schiphol, zullen niet alle type vliegtuigen die op Schiphol landen ook op de regionale luchthavens kunnen landen. Omdat het oppervlak van het ongevalsgevolggebied samenhangt met het maximale startgewicht van de vliegtuigen is de verwachting dat dit voldoende representatief is voor het zwaar verkeer op de regionale luchthavens.

Voor licht verkeer is het oppervlak van het ongevalsgevolggebied ook afgeleid van daadwerkelijke vliegtuigongevallen. Om het oppervlak te bepalen, zijn 526 ongevallen gebruikt¹². Er heeft geen selectie plaatsgevonden van ongevallen die, gezien het vliegtuigtype, representatief zijn voor de regionale luchthavens. Omdat het oppervlak van het ongevalsgevolggebied samenhangt met het maximale startgewicht van de vliegtuigen, is de verwachting dat de gehanteerde ongevallen voldoende representatief zijn voor het licht verkeer op de regionale luchthavens.

Hoewel het ongevalsgevolggebied is afgeleid van daadwerkelijke vliegtuigongevallen, bevatten de incidentrapporten voor het zwaar

^v Voor regionale luchthavens is het ongevalsgevolgmodel ontwikkeld in de periode 1995 tot 1998. Hierbij is voor zwaar verkeer aangenomen dat het oppervlak van het ongevalsgevolggebied en de letaliteit niet verschilt van die van grote luchthavens, waardoor dezelfde cijfers als voor Schiphol zijn gehanteerd.

^{vi} Wanneer alleen de ongevalskansen worden geactualiseerd en de gevolgen niet, gaan deze uit de pas lopen. Voorbeeld hierbij is het grote A380-vliegtuig. Door nieuwe veiligheidssystemen is de verwachting dat de ongevalskans van dit type vliegtuig lager is. Bij een ongeval met dit type vliegtuig zal echter naar verwachting het ongevalsgevolggebied vanwege de grote omvang van het vliegtuig groter zijn.

verkeer op Schiphol en de regionale luchthavens en het licht verkeer vaak niet genoeg informatie om de grootte van het gevolggebied nauwkeurig te kunnen inschatten (zie ook onder betrouwbaarheid). Daarbij hangt de gebiedsgrootte waarin de effecten bij een ongeval optreden af van hoe ver een vliegtuig doorschuift over de grond. Dit hangt af van aspecten als de impacthoek, het opbreken van het vliegtuig in stukken en aanwezige obstakels op de grond. Deze aspecten kunnen in het ongevalsgevolgmodel niet gedetailleerd worden meegenomen, omdat de mogelijke gebeurtenissen te divers zijn¹². Bij de inschatting van de ongevalsgevolgen zijn er daardoor meerdere onzekerheden. Deze onzekerheden komen onder meer tot uiting doordat het ongevalsgevolggebied wordt weergegeven als cirkel, terwijl dit vaak langwerpiger zal zijn vanwege het doorschuiven van het vliegtuig. Ditzelfde geldt voor helikopters. Ook hier wordt het ongevalsgevolggebied als cirkel berekend, waarbij geen rekening wordt gehouden met de mogelijk voorwaartse beweging van de helikopter¹⁰. Door de onzekerheden bij de inschatting van de ongevalsgevolgen is de validiteit van de ongevalsgevolgen beperkt.

Letaliteit

De letaliteit voor zwaar verkeer op Schiphol is afgeleid van het gerapporteerde aantal dodelijk getroffen omstanders bij een ongeval en een inschatting van het aanwezige aantal omstanders tijdens het ongeval op basis van terreinkenmerken. Uit het rapport over de validiteit van de PR 10⁻⁷-contouren blijkt dat ongevallen in onbewoonde gebieden niet geschikt zijn voor het afleiden van een letaliteit voor bewoond gebied en dus buiten beschouwing zijn gelaten⁵. Hiermee is de validiteit verhoogd. Voor zwaar verkeer op regionale luchthavens is bij het opstellen van het model ook voor de letaliteit aangenomen dat dit niet verschilt van die van grote luchthavens¹². Er is geen reden om aan te nemen dat deze aanname niet klopt.

Voor licht verkeer is de letaliteit in 2010 geactualiseerd¹⁹. Voorheen werd voor het afleiden van de letaliteit gebruikgemaakt van een gemiddelde bevolkingsdichtheid in de Verenigde Staten in 1990. Hierbij werd ervan uitgegaan dat er altijd personen in het ongevalsgevolggebied aanwezig zijn en dat de gemiddelde bevolkingsdichtheid hiervoor representatief is. Bij de actualisatie is gebruikgemaakt van meer gedetailleerde lokale gegevens van de bevolkingsdichtheid, waarmee een betere schatting te maken is van het aantal mensen in het ongevalsgevolggebied, zoals dit ook is gedaan voor het bepalen van de letaliteit voor zwaar verkeer¹⁹. De validiteit van de letaliteit voor licht verkeer is hiermee vergroot.

4.5.2

Betrouwbaarheid

De beoordeling van de betrouwbaarheid richt zich op de vraag of het ongevalsgevolgmodel herleidbaar, reproduceerbaar en conservatief is.

Ongevalsgevolggebied

De incidentrapporten, waarop het ongevalsgevolggebied is gebaseerd, bevatten vaak niet genoeg informatie om de grootte van het gevolggebied nauwkeurig te kunnen inschatten (zie ook onder validiteit). Daarnaast is het aantal ongevallen (71) waarop de grootte van het gevolggebied voor zwaar verkeer op Schiphol en regionale luchthavens

is gebaseerd, beperkt en is de spreiding in de grootte van de schadegebieden groot⁵. Dit zorgt voor een beperkte betrouwbaarheid van het ongevalsgevolgebied. Het aantal ongevallen waarop het ongevalsgevolgebied voor licht verkeer is gebaseerd, is groter (526).

Uit het rapport over de validiteit van de PR 10^{-7} -contouren blijkt daarnaast dat de definitie van het ongevalsgevolgebied onduidelijk is. Dit wordt omschreven als: 'het gebied waarbinnen de gevolgen van een vliegtuigongeval potentieel dodelijk zijn'. De grootte van het ongevalsgevolgebied is vervolgens bepaald aan de hand van de verdeling van grote brokstukken over de omgeving bij een ongeval, kleine brokstukken zijn hierbij niet beschouwd¹². Er is echter niet gespecificeerd wanneer ervan wordt uitgegaan dat een brokstuk potentieel dodelijk kan zijn⁵. Dit zorgt ervoor dat de definitie vatbaar is voor interpretatie. De invloed hiervan op de berekende PR-contouren is echter beperkt.

Het ongevalsgevolgebied voor helikopters is afgeleid van daadwerkelijke ongevallen. Voor het afleiden van de ongevalsgevolgen zijn dezelfde representatieve ongevallen gebruikt als voor het bepalen van de ongevalskansen. Ook hier geldt de beperking dat er voor *piston-engine*-helikopters geen data beschikbaar zijn om de ongevalsgevolgen te bepalen. De data omvatten alleen ongevallen van helikopters met een maximaal startgewicht tussen 600 en 9.000 kg, terwijl het maximaal startgewicht van helikopters in Nederland tussen 500 en 12.000 kg ligt. NLR nam hierbij aan dat de afgeleide grootte van het ongevalsgevolgebied doorgetrokken kan worden voor de zwaardere helikopters¹⁰.

Letaliteit

Ook voor het nauwkeurig bepalen van de letaliteit bevatten de incidentrapporten vaak niet genoeg informatie. Het aantal aanwezigen in het gebied tijdens het ongeval wordt vaak niet vermeld. Meestal wordt alleen het aantal mensen met letsel genoemd. In veel gevallen is het aantal aanwezigen daarom geschat op basis van gebiedskenmerken, bijvoorbeeld op basis van het aantal getroffen woningen. Daarnaast is het aantal ongevallen (31) waarop de letaliteit voor zwaar verkeer op Schiphol en regionale luchthavens is gebaseerd, beperkt en is de spreiding in letaliteit tussen de verschillende ongevallen behoorlijk groot⁵.

Voor het bepalen van de letaliteit van licht verkeer is gebruikgemaakt van data over het aantal slachtoffers bij ongevallen uit de Verenigde Staten, omdat hierover niet voldoende informatie beschikbaar was uit Nederlandse ongevalsrapporten. Volgens NLR is er geen reden om aan te nemen dat deze data niet bruikbaar zijn voor de Nederlandse situatie¹⁹. Daarbij is bij het bepalen van de letaliteit naast ongevallen nabij de luchthaven, ook gebruikgemaakt van ongevallen op grotere afstand. Bij licht verkeer zijn de vliegcondities op grote afstand vergelijkbaar met die in de nabijheid van de luchthaven, waardoor ongevallen op grotere afstand representatief zijn voor ongevallen nabij de luchthaven. Hiermee wordt de database vergroot, waardoor de betrouwbaarheid van de afgeleide letaliteit toeneemt¹⁹.

Ook voor helikopters geldt dat er weinig data beschikbaar zijn om de letaliteit te bepalen. Slechts bij veertien ongevallen is opgenomen dat derden bij het ongeval zijn betrokken¹⁰. Daarnaast is geen informatie beschikbaar over het totaal aantal mensen dat aanwezig was in het gebied waar het ongeval plaatsvond. Daarom zijn hiervoor aannames gedaan, enerzijds door het aantal gerapporteerde gewonden en niet gewonden op te tellen, anderzijds door uit te gaan van de objecten binnen het gevolggebied en een aanname te doen voor het aantal mensen in de objecten. De uiteindelijke letaliteit is bepaald door het gemiddelde hiervan te nemen. Dit was een arbitraire keuze¹⁰.

4.5.3 *Conclusie toetsing ongevalsgevolgen*

Uit de toetsing van de wetenschappelijke waarde van de ongevalsgevolgen blijkt dat de ongevalsgevolgen niet recent zijn geactualiseerd. Vanwege veranderingen die in de luchtvaart plaatsvonden, zijn de ongevalsgevolgen mogelijk minder representatief voor de huidige situatie. Daarbij speelt mee dat de ongevalskansen wel recenter zijn geactualiseerd. Naar verwachting sluiten de ongevalsgevolgen daardoor niet meer aan bij de geactualiseerde ongevalskansen.

De grootte van het ongevalsgevolgebied en de letaliteit voor het zwaar verkeer op Schiphol zijn gebaseerd op ongevallen die representatief zijn voor Schiphol. Voor het zwaar verkeer en licht verkeer op regionale luchthavens heeft geen selectie plaatsgevonden naar representatieve ongevallen. Hierdoor zal de representativiteit naar verwachting lager zijn, maar voldoende om toe te passen.

Daarentegen zijn er meerdere onzekerheden bij de inschatting van de ongevalsgevolgen, zowel voor vliegtuigen als voor helikopters. Dit komt voort uit de beperkte gegevens waarvan de ongevalsgevolgen zijn afgeleid. In de incidentrapporten die zijn gebruikt om de ongevalsgevolgen te bepalen, stond vaak niet genoeg informatie om het oppervlak van het gevolggebied nauwkeurig te kunnen inschatten. Daarnaast was het aantal aanwezigen op de grond voorafgaand aan een ongeval vaak niet bekend. Ook zijn de ongevalsgevolgen gebaseerd op een beperkt aantal, sterk van elkaar verschillende, ongevallen. De validiteit en betrouwbaarheid van de ongevalsgevolgen zijn daarmee beperkt.

In 2015 onderzocht NLR of er voldoende data beschikbaar zijn om de ongevalsgevolgen te kunnen actualiseren²⁰. Hieruit bleek dat van recentere ongevallen meer gegevens beschikbaar zijn dan van oudere ongevallen. Dat komt onder andere doordat er tegenwoordig meer verplichting is om te melden en te bewaren dan voorheen en doordat er tegenwoordig betere informatietechnologiemiddelen beschikbaar zijn voor het verzamelen en bewaren van gegevens. De verwachting is dan ook dat er nu meer gegevens beschikbaar zijn om de ongevalsgevolgen te kunnen bepalen.

5 Conclusies en aanbevelingen

De rekenmethode om de externe veiligheidsrisico's voor luchtvaart te berekenen, is op dit moment in beheer bij IenW. IenW heeft het RIVM gevraagd het beheer over te nemen. Om te kunnen bepalen of we dit kunnen doen en om dit zo efficiënt en effectief mogelijk te kunnen aanpakken, is het noodzakelijk vooraf zicht te hebben op de kwaliteit hiervan. Daarom heeft het RIVM door SIG een *gateway review* laten uitvoeren naar de overdraagbaarheid van de software van het rekenprogramma en heeft het RIVM een gateway review uitgevoerd naar de wetenschappelijke waarde van de rekenmethode. Hieronder staan de conclusies van beide toetsen en doen we aanbevelingen.

5.1 Conclusies overdraagbaarheidstoets

De software van het rekenprogramma GEVERS bestaat uit twee systemen: het rekenhart en de gebruikersschil. Bij de overdraagbaarheidstoets heeft SIG per systeem gekeken naar de overdraagbaarheid, de onderhoudbaarheid en de beheerlast.

Uit de overdraagbaarheidstoets volgt dat zowel de gebruikersschil als het rekenhart voor de onderhoudbaarheid aan de onderkant van het marktgemiddelde scores. Dit komt voornamelijk doordat de broncode complex is en er veel gebruik wordt gemaakt van duplicatie. Daarbij komt dat voor de gebruikersschil een verouderde technologie wordt gebruikt, waardoor het niet goed meer mogelijk is functionele wijzigingen in het programma door te voeren. Tevens worden voor de doorontwikkeling van de systemen geen moderne ontwikkeltools en geautomatiseerde testsystemen gebruikt. Daarnaast is er geen specifieke documentatie voor ontwikkelaars. Ook zijn de ontwikkelteams klein en zijn zij al jaren niet actief bezig geweest met de doorontwikkeling van de systemen, waardoor de kennis over de systemen beperkt is. Gezien bovenstaande concludeert SIG dat de overdraagbaarheid van het softwarepakket GEVERS (erg) laag is. Een lage overdraagbaarheid brengt verschillende mogelijke risico's met zich mee, zoals hogere ontwikkelkosten, veel maatwerk, lastige traceerbaarheid van beslissingen uit het verleden en mogelijk onjuiste rekenresultaten.

Om de kwaliteit van het rekenhart en de gebruikersschil te verhogen, kan gekozen worden om de systemen te renoveren of te herbouwen. Wanneer alleen de noodzakelijke (fit-for-purpose) functionaliteiten worden herbouwd, dan verwacht SIG dat dit kosteneffectiever is dan renovatie van het bestaande systeem.

5.2 Conclusies wetenschappelijke toets

Bij de toets naar de wetenschappelijke waarde is bekeken hoe ontvankelijk, valide, betrouwbaar en toepasbaar de rekenmethode is. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de werking van de rekenmethode en de data die zijn gebruikt om de ongevalsrisico's, -locatie en -gevolgen af te leiden. De criteria ontvankelijkheid en toepasbaarheid worden getoetst op het niveau van de werking van de rekenmethode.

Voor de toetsing van de criteria validiteit en betrouwbaarheid wordt voornamelijk ingezoomd op de data. Hierbij worden de drie modellen (ongevalskansmodel, ongevalslocatiemodel en ongevalsgevolgmodel) afzonderlijk getoetst.

5.2.1 *Ontvankelijkheid*

Uit de toetsing van de wetenschappelijke waarde blijkt dat duidelijk is van welke partij de rekenmethode om de externe veiligheidsrisico's van luchtvaart mee te berekenen afkomstig is. Daarnaast zijn alle benodigde onderdelen voor een risicoanalyse in de rekenmethode voldoende nauwkeurig beschreven. De rekenmethode is daarmee ontvankelijk.

5.2.2 *Toepasbaarheid*

Het doel van externe veiligheidsanalyses voor luchtvaart is om op basis van de PR 10^{-5} - en PR 10^{-6} -contouren beperkingen op te kunnen leggen aan het ruimtegebruik rondom luchthavens en om het maximale risico rondom luchthavens te kunnen bepalen. Uit de toetsing van de wetenschappelijke waarde blijkt dat de rekenmethode voldoende informatie oplevert voor het in de wetgeving beoogde doel. Toepassing van de rekenmethode voor vliegtuigen wordt daarbij vanaf de baankop tot de kromming van naderingsroutes als betrouwbaar beschouwd.

5.2.3 *Toetsing ongevalskansen*

Uit de toetsing van de wetenschappelijke waarde van de ongevalskansen blijkt dat de ongevalskansen, zowel voor zwaar verkeer op Schiphol als voor zwaar en licht verkeer op de regionale luchthavens, recent zijn herzien. Daarbij geven de onderzoeken aan welke selectiecriteria, bronnen en werkwijze zijn gehanteerd. De ongevalskansen zijn daarmee actueel en herleidbaar. De ongevalskansen voor helikopters zijn niet recent herzien en passen daardoor mogelijk niet meer bij de huidige situatie.

Voor zwaar verkeer op Schiphol zijn de ongevalskansen afgeleid van relevante vliegtuigongevallen die in een representatieve tijdsperiode bij luchthavens plaatsvonden, die zo goed als mogelijk vergelijkbaar zijn met Schiphol. Bij de herziening van de ongevalskansen voor zwaar verkeer op Schiphol is niet opnieuw getoetst of de geselecteerde luchthavens nog steeds aan de selectiecriteria voldoen. Verwacht wordt dat deze selectie nog steeds representatief en daarmee valide is voor de huidige situatie.

De ongevalskansen voor het zwaar verkeer op regionale luchthavens zijn afgeleid van vliegtuigongevallen die plaatsvonden in een representatieve tijdsperiode bij Europese luchthavens die voldoende representatief zijn voor de Nederlandse regionale luchthavens. Hierbij is een afweging gemaakt tussen representativiteit van de gebruikte data en de statistische betrouwbaarheid van de geschatte kansen. Dit geldt ook voor de afgeleide ongevalskansen voor helikopters. Om de ongevalskansen voor licht verkeer op regionale luchthavens te bepalen, zijn uitsluitend de Nederlandse luchthavens beschouwd. De representativiteit, en daarmee de validiteit van de brongegevens voor zowel het zwaar als het licht verkeer bij regionale luchthavens, is daarmee naar verwachting voldoende.

Het aantal gebruikte ongevallen en de vliegbewegingen om de ongevalskansen vanaf te leiden, is zowel voor Schiphol als voor de regionale luchthavens uit meerdere bronnen verzameld. Doordat meerdere bronnen zijn gebruikt, kon de gevonden data gevalideerd worden. Dit vergroot de betrouwbaarheid van de data. Vanwege het beperkte aantal ongevallen per scenario is de statistische onzekerheid in de ongevalskans, zowel voor Schiphol als voor de regionale luchthavens, echter tamelijk groot. Bij het afleiden van de ongevalskansen is daarom een betrouwbaarheidsinterval van 95 procent gehanteerd. De verwachting is dat het gehanteerde betrouwbaarheidsinterval een belangrijk deel van de werkelijke onzekerheden in de ongevalskansen dekt.

Voor helikopters geldt dat door gebrek aan informatie geen specifieke ongevalskansen afgeleid konden worden per helikopter- en operatietype en daarom een generieker model is opgesteld. Dit betekent dat als er berekeningen voor helihavens worden uitgevoerd die te sterk van het gemiddelde afwijken, de berekende risico's slechts indicatief zijn.

5.2.4 *Toetsing ongevalslocaties*

Uit de toetsing van de wetenschappelijke waarde van de ongevalslocaties blijkt dat de gegevens waarop de ongevalslocaties zijn gebaseerd, niet recent herzien zijn en daardoor mogelijk niet meer aansluiten bij de huidige situatie.

De representativiteit van de data waarop de ongevalslocaties voor zwaar verkeer op Schiphol en zwaar verkeer op regionale luchthavens zijn bepaald, is daarnaast mogelijk beperkt. Dit komt doordat geen filtering in de data heeft plaatsgevonden naar vliegverkeer en vliegsituaties die representatief zijn voor de Nederlandse situatie.

Ook zijn er meerdere onzekerheden bij de inschatting van de ongevalslocaties, zowel voor vliegtuigen als voor helikopters. Dit komt voort uit de beperkte gegevens waarop de ongevalslocaties zijn bepaald. In de incidentrapporten die zijn gebruikt om de ongevalslocaties te bepalen, was de exacte locatie van de ongevallen vaak niet weergegeven. Door dit gebrek aan betrouwbare data was het nodig in het model aannames te doen over de locatie van de ongevallen door de geografische spreiding gelijk te stellen aan de operationele spreiding. De validiteit en betrouwbaarheid van deze aanname is beperkt. Volgens NLR is het mogelijk om met een analyse van recentere gegevens de nauwkeurigheid van het ongevalslocatiemodel te vergroten.

5.2.5 *Toetsing ongevalsgevolgen*

Uit de toetsing van de wetenschappelijke waarde van de ongevalsgevolgen blijkt dat de ongevalsgevolgen niet recent zijn geactualiseerd. Vanwege veranderingen die in de luchtvaart plaatsvonden, zijn de ongevalsgevolgen mogelijk minder representatief voor de huidige situatie. Daarbij speelt mee dat de ongevalskansen wel recenter zijn geactualiseerd. Naar verwachting sluiten de ongevalsgevolgen daardoor niet meer aan bij de geactualiseerde ongevalskansen.

De grootte van het ongevalsgevolgebied en de letaliteit voor het zwaar verkeer op Schiphol zijn gebaseerd op ongevallen die representatief zijn voor Schiphol. Voor het zwaar verkeer en licht verkeer op regionale luchthavens heeft geen selectie plaatsgevonden naar representatieve ongevallen. Hierdoor zal de representativiteit naar verwachting lager zijn, maar voldoende om toe te passen.

Daarentegen zijn er meerdere onzekerheden bij de inschatting van de ongevalsgevolgen, zowel voor vliegtuigen als voor helikopters. Dit komt voort uit de beperkte gegevens waarvan de ongevalsgevolgen zijn afgeleid. In de incidentrapporten die zijn gebruikt om de ongevalsgevolgen te bepalen, stond vaak niet genoeg informatie om het oppervlak van het gevolgebied nauwkeurig te kunnen inschatten. Daarnaast was het aantal aanwezigen op de grond voorafgaand aan een ongeval vaak niet bekend. Ook zijn de ongevalsgevolgen gebaseerd op een beperkt aantal, sterk van elkaar verschillende, ongevallen. De validiteit en betrouwbaarheid van de ongevalsgevolgen zijn daarmee beperkt. Volgens NLR is het mogelijk om met een analyse van recentere gegevens de nauwkeurigheid van het ongevalsgevolgmodel te vergroten.

5.2.6 *Conclusies algemeen*

Uit bovenstaande blijkt dat door het beperkt aantal ongevallen en het gebrek aan gedetailleerde gegevens over de ongevallen er onzekerheden in de rekenmethode voor vliegtuigen en helikopters zitten. De rekenmethode is in het verleden opgesteld met de toen best beschikbare informatie, maar aannames waren nodig. Daarmee is de kwaliteit van de modellen vergelijkbaar met de modellen die worden gebruikt om de externe veiligheidsrisico's van transport en inrichtingen te berekenen.

Voor de rekenmethode voor luchtvaart zijn er echter wel aandachtspunten. Het rekenvoorschrift voor Schiphol is niet wettelijk vastgelegd. Ook zijn de geactualiseerde ongevalskansen voor Schiphol niet in de rekenvoorschriften en het rekenprogramma verwerkt, waardoor niet gerekend kan worden met de meest actuele wetenschappelijke kennis. Tevens zijn de ongevalslocaties en ongevalsgevolgen van vliegtuigen niet recent herzien, waardoor deze mogelijk niet meer aansluiten bij de huidige situatie. Daarnaast zijn, door gebrek aan informatie voor helikopters alleen generieke ongevalskansen afgeleid, waardoor berekeningen voor specifieke helikopter- of operatietype slechts indicatief zijn.

5.3 **Aanbevelingen**

Uit bovenstaande conclusies volgen verschillende aanbevelingen. Voor de korte termijn wordt aanbevolen om het rekenvoorschrift om de externe veiligheidsrisico's rond Schiphol te bepalen, vast te leggen in de Regeling milieu-informatie, zoals dit voor regionale luchthavens is gedaan in de Regeling burgerluchthavens. Door het rekenvoorschrift wettelijk vast te leggen, is voor iedereen duidelijk hoe de risico's bepaald moeten worden. Daarnaast wordt aanbevolen de actuele ongevalskansen voor Schiphol op korte termijn in de rekenvoorschriften en het rekenprogramma te verwerken en deze uit te brengen. Dit zorgt

ervoor dat de meest actuele wetenschappelijke kennis ook daadwerkelijk toepasbaar is.

Om de kwaliteit van het rekenprogramma en de wetenschappelijke waarde van de rekenmethode voor luchtvaart te verbeteren, zijn voor de lange termijn investeringen nodig. Voordat wordt ingezet op deze investeringen, wordt aanbevolen om na te gaan wat de wensen zijn wat betreft de rekenmethode. Het gaat hierbij om de politiek-beleidsmatige keuze voor het gebruikmaken van berekende PR-contouren voor de ruimtelijke ontwikkelingen rond luchthavens en het bij deze berekeningen gebruikmaken van de huidige vorm van rekenregels, gebaseerd op casuïstiek en statistiek en de huidige software. Er zijn mogelijk ook andere manieren om het doel van de rekenmethode te bereiken. Er zou bijvoorbeeld overgestapt kunnen worden van berekende contouren naar vaste afstanden. In het Verenigd Koninkrijk is deze overstap recent gemaakt, zie Bijlage 4. Kanttekening hierbij is dat de toepasbaarheid van vaste afstanden voor de Nederlandse situatie moet worden beoordeeld en dat onderbouwing van de vaste afstanden gewenst is.

Als besloten wordt dat het wenselijk is de contouren rondom luchthavens te kunnen blijven berekenen, wordt aanbevolen de gehele rekenmethode bij te werken naar actuele inzichten. Voor de software gaat het hierbij in ieder geval om herbouw van de gebruikersschil met de noodzakelijke (fit-for-purpose-)functionaliteiten. Omdat de technologie van de gebruikersschil is verouderd, is het niet goed meer mogelijk om hierin functionele veranderingen aan te brengen. Wanneer functionele veranderingen in het systeem wenselijk zijn, is herbouw van dit onderdeel dus essentieel. Het rekenhart zou eventueel behouden kunnen blijven, maar minimaal renovatie hiervan is nodig. Er wordt echter aanbevolen ook het rekenhart te herbouwen, omdat de broncode complex is en er geen documentatie is van de code. Dat brengt risico's voor de toekomstbestendigheid met zich mee. Bij herbouw van beide systemen wordt aangeraden te werken met voldoende grote ontwikkelteams om kwetsbaarheid van kennis te voorkomen. Daarnaast wordt aanbevolen aan te sluiten bij moderne kwaliteitsstandaarden voor software, te zorgen voor documentatie, testautomatisering en een moderne ontwikkelomgeving, inclusief issue tracker, versiebeheer en best practices voor doorontwikkeling.

Voor de wetenschappelijke waarde wordt daarnaast aanbevolen het ongevalslocatiemodel en de ongevalsgevolgen voor vliegtuigen te actualiseren. Uit onderzoek van NLR in 2015 is gebleken dat van recentere ongevallen meer gegevens beschikbaar zijn dan van oudere ongevallen, waardoor de verwachting is dat er nu meer gegevens beschikbaar zijn om de ongevalslocaties en ongevalsgevolgen te kunnen bepalen. Voor helikopters wordt aangeraden de ongevalskansen te herzien en daarbij te bezien of er een onderscheid te maken is in ongevalskansen voor verschillende operatietypes en helikoptertypes.

Uit de wetenschappelijke toets zijn specifieke aandachtspunten naar voren gekomen over de kwaliteit van de ongevalslocatiemodellen en de ongevalsgevolgmodellen en het beheer. Uit deze aandachtspunten volgt een aantal aanbevelingen:

- Het aantal ongevallen waarop het ongevalsgevolggebied en de letaliteit zijn gebaseerd, is beperkt. Daarnaast zijn de data waarop het ongevalslocatiemodel is gebaseerd, niet gefilterd naar vliegverkeer dat overeenkomt met de Nederlandse luchthavens. Aangeraden wordt om bij een actualisatie van de ongevalsgevolgen en het ongevalslocatiemodel, waar mogelijk, een voldoende grote set aan ongevallen te selecteren en deze te filteren op representativiteit voor de Nederlandse situatie. Hierbij zal er een balans gevonden moeten worden tussen de representativiteit van de gebruikte data en de statistische betrouwbaarheid van de geschatte gevolgen en locaties;
- Om duidelijker te krijgen wat er onder het ongevalsgevolggebied wordt verstaan, dient er een eenduidige definitie van het ongevalsgevolggebied opgesteld te worden.
- De lijst met standaard vliegtuiggegevens die gehanteerd wordt voor de berekeningen van externe veiligheidsrisico voor overige burgerluchthavens, dient geactualiseerd en aangevuld te worden met de nieuwste typen vliegtuigen en helikopters. Ook moet helder worden wie de lijst beheert en moet dit worden aangepast in de Regeling burgerluchthavens.
- Het scenario *landing-overrun* is niet goed in het rekenvoorschrift geïmplementeerd. Het risico van de *overrun* wordt alleen geplaatst bij de eindlocatie van de *overrun*, maar er zou ook een risicobijdrage berekend moeten worden in het gebied tussen de start-/landingsbaan en de eindlocatie.

Wanneer het softwarepakket is herzien en het ongevalslocatiemodel en de ongevalsgevolgen zijn geactualiseerd, is het van belang om de rekenmethode te blijven onderhouden en structureel te beheren om de kwaliteit van de rekenmethode op peil gehouden. Aanbevolen wordt om een meerjarenprogramma op te zetten om dit beheer in te plannen. Daarbij is het belangrijk om de taken, rollen en verantwoordelijkheden van de verschillende betrokken partijen vast te leggen. Onderdeel van het beheer is ook het periodiek actualiseren van de wetenschappelijke kennis in de rekenmethode.

Bijlage 1 Algemene verklarende woordenlijst luchtvaart

Begrip	Verklaring
Baandrempel	Het begin van dat deel van de landingsbaan dat beschikbaar is om te landen.
Beperkingen-gebied	Het gebied waarbinnen ruimtelijke beperkingen gelden vanwege geluidsbelasting, externe veiligheidsrisico's en beperkingen, voortvloeiend uit de ICAO-richtlijnen, met name hoogtebeperkingen en vogel aantrekkende activiteiten.
Geïntegreerd ev-rekensysteem (GEVERS)	Softwareprogramma voor het uitvoeren van QRA-berekeningen voor luchthavens. Het programma is een specifiek voor Nederland gemaakte versie van het programma GEVERS voor het ministerie van Infrastructuur en Milieu.
Generatie	Classificatie van vliegtuigtypes op grond van het technologisch uitrustingsniveau. Hierbij wordt gelet op het ontwerp van de cockpit, de instrumentatie en het besturingssysteem.
Groepsrisico (GR)	Het groepsrisico geeft de kans aan dat een hele groep personen overlijdt door een incident bij een risicovolle activiteit. Het groepsrisico houdt rekening met het aantal mensen dat in de buurt van een ongeval aanwezig kan zijn. Zie ook: FN-curve.
Helihaven	Een terrein bestaande uit een of meerdere helikopterlandingsplaatsen.
Helikopterlandingsplaats	Een terrein bestemd voor het opstijgen en landen van helikopters.
Instrument Landing System (ILS)	Hulpmiddel waarmee een precisienadering van een landingsbaan kan worden uitgevoerd.
Kansverdelingsfunctie	Functie voor de ruimtelijke verdeling van de ongevalskans.
Landing- undershoot	Een ongeval waarbij het vliegtuig op de grond terechtkomt vóór de baan.
Licht verkeer	Verkeer met vliegtuigen met een MTOW < 5.700 kg.
Luchthaven	Verzamelnaam voor luchthavens voor vliegtuigen en helikopters en helikopterlandingsplaats.
Maximum Take-Off Weight (MTOW)	Maximum startgewicht van een vliegtuig (uitgedrukt in kg).
Motortypecategorie	Classificatie van helikopters op grond van het type motor.

Begrip	Verklaring
Ongevalgevolg-gebied (Crash Area (CA))	Het gebied waarbinnen de gevolgen van een ongeval met een luchtvaartuig potentieel dodelijk zijn.
Ongevalskans	Kans per vliegtuigbeweging op een ongeval van een bepaald type.
Overrun	Een ongeval waarbij het vliegtuig de baan verlaat aan het eind van de baan.
Plaatsgebonden Risico (PR)	De kans per jaar dat een denkbeeldig persoon, die zich permanent op dezelfde locatie in de omgeving van een luchthaven bevindt, komt te overlijden als direct gevolg van een ongeval met een luchtvaartuig.
PR-contour	Grens van het gebied waarbinnen het plaatsgebonden risico hoger is dan een bepaalde (gekozen) waarde, zoals 10^{-5} of 10^{-6} .
Take-off- overshoot	Een ongeval waarbij het vliegtuig op de grond terechtkomt, kort nadat het is opgestegen.
Totaal Risico Gewicht (TRG)	Het totale risico als functie van het aantal bewegingen, ongevalskansen en maximale startgewichten van het luchthavenluchtverkeer per jaar.
UAV (Unmanned Aerial Vehicle)	Luchtvaartuig zonder piloot aan boord.
ULV (Ultra Licht Vliegtuig)	Klein vliegtuig voor een of twee personen met een lichte motor en beperkt vliegbereik.
Veer-off	Een ongeval waarbij het vliegtuig de baan aan de zijkant verlaat.
Vliegtuigbeweging	Beweging in de start- of landingsfase met een vliegtuig.
Vliegtuigcategorie	Classificatie van vliegtuigtypes waarvoor specifieke ongevalskansen zijn afgeleid. Bijvoorbeeld 'Generatie 1'(Schipholmodel) of 'Business Jet'(regionaal model).
Vliegtuigtype	Classificatie van vliegtuigen aan de hand van de fabrikant, de naam van het model en het MTOW.
Wet luchtvaart	Wet, houdende algemene regeling voor het luchtverkeer.

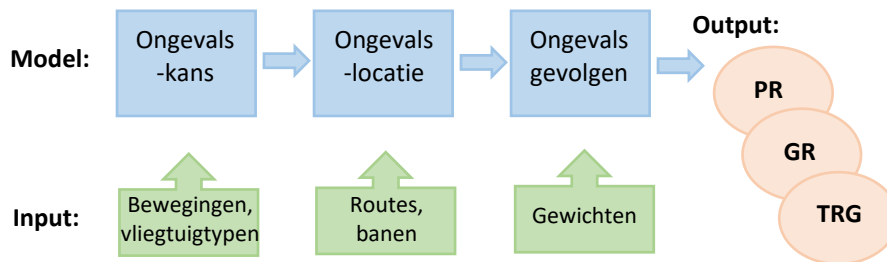
Bijlage 2 Geïntegreerd Externe Veiligheid Reken Systeem

De Regeling burgerluchthavens, Bijlage 2², vormt het kader voor de externe veiligheidsrisicoanalyses voor regionale luchthavens. Voor Schiphol wordt het 'Voorschrift en procedure voor de berekening van externe veiligheid rond luchthavens'¹ dat in 2004 door NLR is opgesteld, gehanteerd. De regeling en het voorschrift wijzen geen rekenprogramma aan om de externe veiligheidsrisico's voor luchtvaart mee te berekenen. Wel stelt het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) het rekenprogramma GEVERS (geïntegreerd ev-rekensysteem) beschikbaar om de berekeningen uit te voeren. De rekenvoorschriften en het rekenprogramma vormen samen de rekenmethode om de externe veiligheidsrisico's van luchtvaart te berekenen.

Begin jaren negentig ontstond er door de sterke groei van luchtvaart een groeiend bewustzijn dat mensen in de omgeving van een luchthaven blootgesteld worden aan de risico's van een vliegtuigongeval. Hierdoor ontstond er behoefte aan inzicht in en informatie over de risiconiveaus rondom luchthavens. In die tijd is NLR, in opdracht van het ministerie van Verkeer en Waterstaat, gestart met de ontwikkeling van een externe veiligheidsrekenmethode voor civiele luchthavens. De Bijlmerramp heeft vervolgens de behoefte vergroot om risico's in kaart te brengen. In 2000 kwam het IMU (Interim Model Update) beschikbaar. Dit rekenprogramma is gebruikt in vele procedures om de risico's en de contouren rond luchthavens vast te stellen en voor het evalueren van ontwikkelingsplannen van luchthavens. De softwareontwikkelaar Demis heeft het rekenprogramma van NLR gereviewd en heeft een schil voor het programma opgebouwd. Op basis van de review is een ontwikkeltraject gestart, om te komen tot een verbeterde versie van het rekenprogramma. Hiermee werd GEVERS geïntroduceerd. De softwareontwikkelaar Heckman Milieu Software (HMS) ontwikkelde vervolgens het rekenprogramma verder door, waardoor de rekentijd korter werd. De huidige versie van GEVERS is versie 2.2.1 (officieel uitgebracht in 2019). Daarnaast is er nog de niet-officieel uitgebrachte versie 2.2.2, die relevant is voor risicoanalyses van helihavens.

Het rekenprogramma GEVERS is een casuïstisch rekenprogramma, gebaseerd op casuïstiek over de ongevalskans, ongevalslocatie en ongevalsgevolgen die vervolgens zijn vastgelegd in formules om de externe veiligheidsrisico's voor luchtvaart te kunnen bepalen. De ongevalskans is hierbij de kans per vliegtuigbeweging op een ongeval, bepaald per ongevalstype, per type verkeer en deels per generatie-vliegtuig. Aan de hand van informatie over vliegtuigtypen en vluchtbewegingen wordt de ongevalskans bepaald. De ongevalslocatie is hierbij de kansverdeling op een ongeval rondom een luchthaven. Het gaat daarbij om de vraag waar en met welke kans een vliegtuig neerstort, als ervan wordt uitgegaan dat het vliegtuig neerstort. Aan de hand van informatie over de gebruikte start- en landingsbanen en de vluchtroutes wordt de ongevalslocatie bepaald. De ongevalsgevolgen hierbij zijn de effecten en ernst van het ongeval. Aan de hand van het Maximum Take-Off Weight (maximaal gewicht van een vliegtuig tijdens de start) wordt de grootte van het schadegebied en de kans op overlijden in dit gebied bepaald.

Een risicoberekening levert drie resultaten op. Allereerst gaat het hierbij om het plaatsgebonden risico (PR). Het PR is het risico, uitgedrukt in een kans per jaar, dat één persoon die zich onafgebroken en onbeschermd op een bepaalde plaats bevindt, overlijdt als rechtstreeks gevolg van een ongeval met een vliegtuig. Het plaatsgebonden risico rondom een luchthaven wordt gebruikt voor de ruimtelijke ordening. In het gebied rondom de luchthaven waar het PR groter is dan 10^{-5} (sloopzone) mogen geen woningen (met uitzondering van bedrijfswoningen) en andere kwetsbare gebouwen aanwezig zijn. In het gebied rondom de luchthaven, waar het PR groter is dan 10^{-6} en kleiner dan 10^{-5} (nieuwbouwbeperkingen), mogen geen nieuwe gebouwen (met uitzondering bedrijfswoningen) worden gebouwd, tenzij het bevoegd gezag daarvoor een verklaring van geen bezwaar afgeeft. Beide zones moeten ten minste in het luchthavenbesluit (vergunning) van een luchthaven worden opgenomen.



Figuur 1 Elementen risicoberekening externe veiligheid luchtvaart.

Een tweede resultaat van een risicoberekening is het totaal risicogewicht (TRG). Het TRG geeft in één getal de kans op een vliegtuigongeval en een maat voor het bijbehorende effect weer. 'Letterlijk' is het TRG de verwachtingswaarde voor het vliegtuiggewicht dat jaarlijks neerstort. Het is het product van het aantal bewegingen, de gemiddelde ongevalsans per beweging en het gemiddeld gewicht per beweging. Het TRG wordt gebruikt om het maximaal aantal vluchten op te baseren voor de gebruiksvergunning.

Het derde resultaat is het groepsrisico (GR). Het GR is de cumulatieve kans per jaar dat ten minste 10, 100 of 1.000 personen komen te overlijden als rechtstreeks gevolg van hun aanwezigheid in het invloedsgebied van een luchthaven en een ongeval met een vliegtuig. Berekenen van het GR is niet voorgeschreven in de regelgeving, maar kan een keuze zijn.

Voor de grotere luchthavens in Nederland (Schiphol, Groningen Airport Eelde, Lelystad Airport, Maastricht Aachen Airport, Rotterdam The Hague Airport en Eindhoven Airport) moeten de externe veiligheidsrisico's worden berekend op het moment dat het luchthavenbesluit voor de luchthaven wordt opgesteld. Daarnaast moet het bevoegd gezag (Rijk/provincie) na invoering van het luchthavenbesluit elke vijf jaar nagaan wat de externe veiligheidsrisico's geweest zijn door de PR 10^{-5} - en 10^{-6} -contouren te berekenen op basis van het feitelijke gebruik in het voorgaande jaar.

Bijlage 3 Tijdlijn ontwikkelingen rekenmethode

Globaal overzicht van relevante ontwikkelingen en bijbehorende documentatie.

Tijd	Gebeurtenis	Ontwikkelingen
Begin jaren negentig	De sterke groei van de luchtvaart in de laatste decennia heeft geresulteerd in een toenemend publiekelijk bewustzijn dat personen die in het gebied rond een luchthaven verblijven onvrijwillig blootgesteld worden aan de risico's van een vliegtuigongeval. Dit bewustzijn resulteert in een behoefte aan inzicht in en informatie over de risiconiveaus rond luchthavens. Daartoe is NLR, in opdracht van het ministerie van Verkeer en Waterstaat, begin jaren negentig begonnen met de ontwikkeling van twee externe veiligheidsmodellen: een model voor grote luchthavens (Schiphol) en een model voor de regionale en kleine luchthavens (regionale veldenmodel) ¹ .	Ontwikkelde berekeningsmethodiek met ongevalskansmodel, ongevalslocatiemodel en ongevalsgevolgmodel. Het ontwikkelde model door NLR is Tripac en werk onder Linux.
1992-1995	Het EV-model voor Schiphol is in de periode 1992-1995 ontwikkeld ²¹ .	
1995-1998	Het EV-model voor de regionale velden is in de periode 1995-1998 ontwikkeld ²¹ .	
1999-2000	Het EV-model voor Schiphol is in de periode 1999-2000 geüpdatet ¹¹ . Dit herziene model wordt ook wel het IMU (Interim Model Update) genoemd ²² .	<ul style="list-style-type: none"> - Ongevalskans geactualiseerd, nu voor generatie-3-vliegtuigen en voor zes vluchtfases. De ongevalskans is circa 50 procent lager dan voorheen. - Ongevalslocatie geactualiseerd met nieuwe verdeling voor take-off-overrun en overshoot en landing-undershoot en -overrun. - De ongevalsgevolgen zijn geactualiseerd en 45 tot 65 procent kleiner dan voorheen.

Tijd	Gebeurtenis	Ontwikkelingen
		<ul style="list-style-type: none"> - De letaliteit is opnieuw afgeleid en iets lager dan voorheen.
2002	Het EV-model voor regionale velden is in 2002 gedeeltelijk vernieuwd ¹² .	<p>Er is een herbeoordeling uitgevoerd van het regionaal veldenmodel dat heeft geresulteerd in:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ongevalskansen voor passagiersvluchten per vliegtuiggeneratie, zakenvluchten en vrachtvervoer. - Verbeterde ongevalslocatie kansverdeling; - Nieuwe ongevalsgevolgen.
2004	Enkele resultaten van EV-berekeningen met het in 2002 vernieuwde regionale veldenmodel, in het kader van de MER PKB-Maastricht/Lelystad, gaven aanleiding om de externe veiligheidsmodellen aan een review te onderwerpen. Deze review had betrekking op de inhoudelijke rekenprocedures, alle relevante uitgangspunten en veronderstellingen die daaraan ten grondslag liggen, en de invoergegevens ²³ .	Het rapport geeft een overzicht van potentiële aanpassingen die in het rapport worden beoordeeld en nader uitgewerkt.
2004-2009	Op grond van de resultaten van de review van de externe veiligheidsmodellen in 2004 is binnen DGLM een ontwikkelingstraject gestart om te komen tot een verbeterde versie van het EV-rekenmodel ²⁴ .	Het uiteindelijke rekensysteem wordt aangeduid als het 'geïntegreerd ev-rekensysteem' (GEVERS). GEVERS werkt onder Windows. De kern hiervan wordt gevormd door het ev-rekenmodel, zoals ontwikkeld door het NLR. Het consortium van Demis, BB&C en Vital Link Beleidsanalyse is verantwoordelijk voor de ontwikkeling van de datastructuur en de gebruikersschil, en ook voor het samenbrengen van de verschillende componenten in het geïntegreerde rekensysteem. Het eindresultaat van de ontwikkeling van GEVERS wordt gevormd door de oplevering van een getoetste en gevalideerde versie van GEVERS, die is aangeduid als de 'definitieve gebruiksversie'. De definitieve gebruiksversie van GEVERS wordt beschikbaar gesteld aan marktpartijen en andere potentiële gebruikers voor het uitvoeren van EV-analyses.
2005	In 2005 zijn de ongevalskansen van generatie-3-vliegtuigen voor het NLR IMU-model 2004 herzien ¹³ .	De ongevalskansen voor het Schiphol Externe Veiligheid-rekenmodel zijn geactualiseerd. Er is gekeken naar twee perioden aan data: 1980-2004 en 1992-2004. De ongevalskansen van de eerste

Tijd	Gebeurtenis	Ontwikkelingen
		periode hebben een kleinere onzekerheid, maar de ongevalskansen uit de tweede periode zijn representatiever voor de veiligheidssituatie op Schiphol. De ongevalskansen verschillen weinig tussen beide perioden. De nieuw bepaalde ongevalskansen voor alle ongevalstypen zijn substantieel kleiner dan in geval van de originele IMU-dataset, echter met uitzondering van de landing-overrun-ongevalskans. De landing-overrun-ongevalskans is aanzienlijk groter dan in geval van de originele IMU-dataset. Uiteindelijk worden de ongevalskansen gebruikt op basis van de periode 1992-2004.
12 maart 2007	RIVM memo 'Berekeningswijze externe veiligheid van luchthavens' geeft berekeningswijze van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico vereenvoudigd en schematisch weer, uitgaande van NLR-CR-2004-083 ²⁵ .	
Juli 2007	De eerste versie van GEVERS wordt opgeleverd ²⁴ .	
6 augustus 2007	GEVERS is geoperationaliseerd voor Schiphol en de regionale luchthavens in Nederland ²⁶ .	Voor elke luchthaven is een <i>default set</i> -invoergegevens (ligging van start- en landingsbanen, verkeer en routes) beschikbaar, waarmee een volledige risicoberekening kan worden uitgevoerd.
2008	Vanaf 2008 ondersteunt het RIVM het beleid van de Directie Luchtvaart voor externe veiligheid luchtvaart ²⁷ .	Onder meer ondersteuning voor de ontwikkeling en het beheer van het rekenprogramma GEVERS.
December 2008	In 2008 is een model ontwikkeld om de externe veiligheidsrisico's van helikopterverkeer te kunnen berekenen ¹⁰ .	Het raamwerk van het model is gebaseerd op het bestaande model voor vliegtuigen. De ongevalskansen, ongevalsgevolgen en ongevalslocatie zijn wel specifiek voor helikopters afgeleid.
30 september 2009	Het Besluit burgerluchthavens is vastgesteld ²⁸ .	
2010	GEVERS-versie 1.2.1 wordt uitgebracht. Dit is de eerste geaccepteerde versie van GEVERS ²⁹ .	
25 mei 2010	GEVERS-versie 1.2.2 wordt uitgebracht. Dit is de eerste versie van GEVERS die	De aanpassingen t.o.v. 1.2.1 zijn het toevoegen van de mogelijkheden: - draaien van de MATLAB-som in de GEVERS-projectfolder, zodat MATLAB

Tijd	Gebeurtenis	Ontwikkelingen
	daadwerkelijk wordt verspreid ^{29 30} .	geen last heeft van beperkingen in schrijfrechten op C-schijf; - kopiëren van een 'bevroren' case voor het verkeer wordt mogelijk gemaakt.
Juli 2010	De letaliteit van licht verkeer is geactualiseerd voor het ongevalsgevolgmodel ¹⁹ .	Het begrip letaliteit is hierbij gedefinieerd als de verhouding van het aantal dodelijke slachtoffers binnen het ongevalsgevolgebied en het aantal in het gebied aanwezige personen. De bestaande waarde was 0,4. Hiervoor is op basis van een gemiddelde bevolkingsdichtheid in de VS een schatting gemaakt van de totale populatie ter plaatse van het ongeval. In de herziening is met gedetailleerdere lokale gegevens van de bevolkingsdichtheid een betere schatting gemaakt van het aantal mensen in de ongevalsgevolg-gebieden. Dit leverde een letaliteit op van 0,05.
2 juli 2010	Handleiding Risicoberekeningen Luchthavens versie 1.1 ³¹	Opgesteld in afstemming met een begeleidingscommissie en gepubliceerd op de RIVM- website
April 2011	In 2011 zijn standaard vliegtuiggegevens (maximum startgewicht en vliegtuigtype: zakenjet, zwaar/licht verkeer, generatie 1, 2 of 3) eenduidig vastgesteld voor het berekenen van het externe veiligheidsrisico voor overige burgerluchthavens ³² .	Bijlage 2 bij artikel 5 van de Regeling burgerluchthavens ² bevat het 'Voorschrift voor de berekening en bepaling van de van 10 ⁻⁵ - en 10 ⁻⁶ -plaatsgebonden-risicocontouren en het totaal risicogewicht voor overige burgerluchthavens'. De bij deze externe veiligheidsberekeningen benodigde vliegtuiggegevens per vliegtuig- en helikoptertype zijn echter nog niet eenduidig vastgelegd. Deze ontbrekende vliegtuiggegevens worden daarom in een standaard vliegtuiggegevensbestand bijeengebracht. Met de introductie van een standaard vliegtuiggegevensbestand wordt het gebruik van eenduidige invoergegevens voor externe veiligheidsberekeningen beoogd.
30 november 2011	GEVERS-versie 1.2.3 komt uit ³⁰	Deze versie werd aangeboden nadat een specifieke gebruiker problemen had met de installatie van 1.2.2 en hij door DEMIS de versie 1.2.3 geïnstalleerd kreeg. Vanwege blijvende bugs in versie 1.2.3 en de anticipatie op GEVERS 1.3 was aanvankelijk het idee om versie 1.2.3 niet vrij te geven.
8 december 2011	In 2011 zijn de ongevalskansen voor licht verkeer voor de berekening van de externe veiligheid	De huidige ongevalskansen van deze vliegtuigtypen zijn afgeleid in 1995 en ongewijzigd gebleven bij de actualisering van het model in 2002. Om de ongevalskans van het lichte verkeer te actualiseren, is een

Tijd	Gebeurtenis	Ontwikkelingen
	rondom regionale en kleine luchthavens herzien ¹⁴ .	onderzoek uitgevoerd naar de ongevallen en bewegingsdata in Nederland in de periode 1999 tot en met 2008.
20 maart 2012	De GEVERS-versie 1.3.2 wordt uitgebracht ³⁰ .	De nieuwe ongevals-kansen voor licht verkeer (van 8 december 2011) zijn opgenomen en er is een splitsing gemaakt in de kansen voor undershoot en overrun.
1 augustus 2012	De RunwayAndRouteDigitizer onder versie 1.3 blijkt niet te werken onder Windows 7 64-bits. Dit is opgelost met een patch ²⁹ .	
28 september 2012	GEVERS 2.0-release candidate 1.	In deze versie is de nieuwe SRK-rekenkern (van HMS = Heckman MileuSoftware) geïntroduceerd ³³ . Deze is gemaakt in visual studio 2012, in plaats van de NLR rekenkern o.b.v. MATLAB. Daarnaast wordt de GEVERS-'light'-aanpak geïntroduceerd (conform memo MC-GEV-37 ³⁴ : uitgangspunt is dat het zo eenvoudig mogelijk moet zijn om een berekening te maken volgens het vigerende rekenvoorschrift. Alles wat er niet toe doet, is niet te zien. Deze versie omvat alleen de voor het beleid relevante gebruiksmogelijkheden en resultaten; PR, TRG, GR). Dit is een testversie die niet is uitgebracht ^{30 35} .
13 december 2012	GEVERS 2.0-release candidate 2.	Bevindingen van release candidate 1 (=RC1) zijn verwerkt en ook meerwerkopties (hulp voor meteocorrectie, hulp bij styleren, gelijktrekken dag-/nachtverkeer helikopter en <i>fixedwing traffic</i>) en systeemdokumentatie up-to-date brengen voor GEVERS 2.0. Het RIVM heeft deze versie extern getest. Van deze toetsing is geen officieel document gevonden. ^{30 34 36} .
Februari 2013	Herziening ongevals-kansen van generatie-3-vliegtuigen door NLR met als naam Revised Accident rates of third-generation aircraft for NLR IMU-model 2010 (=RANI-2010) ¹⁹	De ongevals-kansen voor zwaar verkeer op de luchthaven Schiphol zijn herzien. De actualisatie is gebaseerd op ongevallen en exposure data uit de periode 2001 tot en met 2010. Deze periode is gekozen, omdat het een tijdvak betreft waarin relevante ontwikkelingen op het gebied van de luchtvaartveiligheid plaatsvonden (zoals invoeren van EGPWS en het effectief worden van de CFIT Training Aid). Deze representativiteit van de dataset voor het

Tijd	Gebeurtenis	Ontwikkelingen
		<p>huidige Externe Veiligheidsniveau rond Schiphol wordt dusdanig belangrijk geacht, dat is besloten de dataset separaat toe te passen om de ongevalskansen te bepalen. Dit in tegenstelling tot de mogelijkheid om de verschillende datasets bijeen te nemen, waarbij een iets hogere statistische nauwkeurigheid kan worden bereikt, maar waarmee ongevalskansen zouden worden afgeleid die representatief zouden zijn voor een tijdsperiode die zich verder in het verleden uitstrekt.</p>
Maart 2013	Validatie van de 10^{-7} -plaatsgebonden-risicocontouren voor Schiphol ⁵ .	<p>NLR en RIVM hebben onderzocht wat de validiteit van de 10^{-7}-PR-contouren is die voor het vliegverkeer van en naar Schiphol berekend worden. Voor de werkwijze: zie Appendix B1 en B2, met als conclusies:</p> <ul style="list-style-type: none"> - De 10^{-7}-PR-contour is betrouwbaar tot de kromming van naderingsroutes. - De breedte van de onzekerheidsband van de 10^{-7}-PR-contouren wordt voornamelijk bepaald door de statistische onzekerheid in de ongevalskans en in veel mindere mate door onzekerheden in andere modelparameters; - De 10^{-5}- en 10^{-6}-PR-contouren zijn minder gevoelig voor onzekerheden en meer betrouwbaar dan de 10^{-7}-plaatsgebonden-risicocontour. - De validiteit van de 10^{-7}-PR-contour voor het vliegverkeer is groter dan die van de 10^{-7}-PR-contour voor inrichtingen met gevaarlijke stoffen en voor vervoer van gevaarlijke stoffen. - Met kennis van vliegoperaties en de locaties van ongevallen is een gestileerd en indicatief toepassingsgebied van het model afgeleid. Binnen dit gebied rond de luchthaven Schiphol is toepassing van het model wetenschappelijk gezien verantwoord.
16 april 2013	GEVERS 2.0-release candidate 3 ^{30 35} .	De bevindingen van de externe test van RC2 zijn verwerkt. Uit een analyse blijkt dat GEVERS-light met de nieuwe rekenkern voldoet aan het rekenvoorschrift en er in alle gevallen goede 10^{-5} - tot en met 10^{-8} -contouren worden berekend ³⁷ .
28 augustus 2013	GEVERS 2.0-release candidate 4 ^{30 35} .	Naar aanleiding van de tests met RC3 bleken er nog enkele bugs verholpen te moeten

Tijd	Gebeurtenis	Ontwikkelingen
		worden en is het NLR-rekenmodel uit de opties verwijderd. Deze versie is opgeleverd
December 2013	Overzicht van ontwikkelingen en verbeteringen in de rekenmethode voor luchtvaart ³⁸ .	
25 april 2014	Handleiding Risicoberekeningen Luchthavens versie 2.0, door RIVM uitgebracht ³⁹ .	
November 2014	Oplevering GEVERS 2.0.17. Door aanpassingen is er een verschil ontstaan in de grid-grootte van de Dirac-functie tussen het rekenvoorschrift in het RBL en GEVERS 2 ³⁵ .	<p>Aanpassingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grid-definitie makkelijker maken door trekken van rechthoek op de kaart, rechthoek ook op kaart tonen - Zet in de casesfolder een readme.text met overzicht van alle casenamen, folders, status, et cetera. Bovendien een readme.txt in de casefolder zelf, waarin de naam, et cetera, staat van de case. Neem in de navigatieboom ook een link op om de casefolder direct te openen in de explorer, zodat je gemakkelijk erheen kan. - Definiëren van sectorsegmenten op visuele manier met overzichtsgrafiek erbij. - Tonen van de oppervlakten per contourniveau. - Toegevoegd is een optie voor bevolking en woningtellingen per contour op basis van BAG-populatiedata voor heel Nederland. - Verder 'foolproof' maken van de route-import om afwijkingen van correcte routedefinitie, waar mogelijk, op te vangen.
29 april 2015	Afbouw beheer GEVERS bij RIVM ⁴⁰	
1 juli 2015	GEVERS-versie 2.0.17 officieel uitgebracht ^{41 42} .	De afwijking tussen GEVERS 2 en Bijlage 2 van het RBL over de grindgrootte van de Dirac-functie in het rekenvoorschrift is verholpen. Het rekenvoorschrift is aangepast ²⁹ .
11 december 2015	NLR-memo aan RIVM i.v.m. uitgevoerd onderzoek naar de dataverzameling en analyse van landing-undershoots voor generatie-3-vliegtuigen. De	

Tijd	Gebeurtenis	Ontwikkelingen
	verzamelde gegevens kunnen op termijn (zie 2019) worden toegepast in de actualisatie van het ongevalslocatiemodel en het ongevalsgevolgmodel ⁴³ .	
15 december 2015	GEVERS 2.0 is aangevuld met risicoberekeningen voor helikopterbewegingen via een specifieke route (helikrom), om zo te komen tot GEVERS 2.1 ³⁰ .	
1 januari 2016	Beëindiging RIVM-ondersteuning Externe Veiligheid voor Directie Luchtvaart ²⁷ .	
12 december 2018	GEVERS-versie 2.2.1 officieel uitgebracht ³⁰ .	
November 2019	NLR heeft, n.a.v. het OVV-rapport uit 2017, de ongevalskansen voor generatie-3-vliegtuigen geactualiseerd ¹⁷ .	<p>Naar aanleiding van het OVV-onderzoek is de effectiviteit van het vigerende externe veiligheidsbeleid van de luchthaven onderzocht en zijn de verbeteringsmogelijkheden daarvan verkend. Een daarvan is de actualisering van de externe veiligheidsongevalskansen van Schiphol.</p> <p>De actualisatie is gebaseerd op ongevallen- en vluchtendata uit de periode 2001 tot en met 2018. Analyse van de resultaten laat zien dat de ongevalskansen van RANI-2018 voor alle ongevalstypen kleiner zijn dan de ongevalskansen 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 procent en 45 procent. De som van de RANI-2018 ongevalskansen is 0,197 per miljoen vluchten, en deze is een kwart (26procent) kleiner dan die van RANI-2010.</p>
3 maart 2021	GEVERS-versie 2.2.2 (van belang voor helihavens met route) is opgeleverd, maar niet officieel uitgebracht.	
2021	NLR heeft de ongevalskansen voor burgerluchtvaart van overige burgerluchthavens geactualiseerd ¹⁶	De ongevalskansen van overige burgerluchthavens zijn opnieuw geschat met de gegevens – ongevallen- en vluchtaantallen – van recentere periodes. De nieuwe geschatte ongevalskansen voor zwaar verkeer zijn zowel voor passagiers- en

Tijd	Gebeurtenis	Ontwikkelingen
		vrachtluchten gecombineerd als voor zakenjet-vluchten lager dan voorgaande schattingen. Dit wordt grotendeels verklaard door verbeteringen in het vliegveiligheidsniveau in de periode 2005-2019, mede door de invoering van de zwarte lijst met operators door de EU en de introductie van veiligheidsmanagementsystemen bij operators. Voor licht verkeer zijn er geen grote veranderingen gevonden ten opzichte van eerdere studies. De ongevals-kansen voor licht verkeer zijn nu gebaseerd op basis van een grotere dataset dan in eerdere schattingen en zijn daarom betrouwbaarder.
2022	IenW verzoekt RIVM om GEVERS weer in beheer te nemen ³ .	
2023	<i>Gateway review</i> GEVERS.	

Bijlage 4 Public Safety Zones

In het Verenigd Koninkrijk zijn voor luchthavens *Public Safety Zones* (PSZ's) aangewezen. PSZ's zijn gebaseerd op het plaatsgebonden risico (PR); het risico dat één persoon die zich onafgebroken en onbeschermd op een bepaalde plaats bevindt, komt te overlijden als rechtstreeks gevolg van een vliegtuigongeval. Binnen deze zones gelden beperkingen voor ontwikkelingen die zorgen voor een toename van het aantal aanwezige personen. Door deze beperkingen wordt het risico op slachtoffers op de grond bij een vliegtuigongeval beperkt.

Tot voor kort werden de omvang en ligging van de PSZ's bepaald aan de hand van risicomodellering met het '*Third-Party Risk*'-model van het Departement van Transport. De zones werden gebaseerd op verkeersprognoses van luchthavens voor de komende vijftien jaar. Elke zeven jaar werden de zones gereviewd. De organisatie die verantwoordelijk was voor de risicomodellering, is echter hiermee gestopt. Dit, in combinatie met de wetenschap dat de zones de afgelopen tien jaar niet significant zijn gewijzigd, heeft ervoor gezorgd dat het PSZ-beleid in het Verenigd Koninkrijk is herzien⁴⁴. De berekende contouren zijn vervangen door standaard zones met vaste afstanden⁴⁵. Deze overstap zorgt voor een afname in de benodigde investeringen om eens in de zeven jaar de zones te herzien en hiervoor een risicomodel beschikbaar te hebben.

De omvang en ligging van de standaard zones zijn gebaseerd op data van actuele vliegtuigongevallen die representatief zijn voor de situatie van de luchthavens in het Verenigd Koninkrijk. De zones komen overeen met de concentratie van ongevalslocaties, 90 tot 95 procent van de ongevallen valt binnen de zones. Het aantal ongevallen dichtbij de start- en landingsbaan is hoger dan op grotere afstand. Het risico op een ongeval is hier dan ook hoger dan verder weg. Daarom worden twee zones onderscheiden: de buitengrens van de PSZ's wordt gevormd door de *Public Safety Controlled Zone* (PSCZ). Deze zone staat gelijk aan de PR 10⁻⁵-contour. De binnengrens wordt gevormd door de *Public Safety Restricted Zone* (PSRZ). Deze zone staat gelijk aan de PR 10⁻⁴-contour.

Binnen de *Controlled Zone* zijn nieuwbouw of functieverandering van bebouwing niet toegestaan als hierdoor het aantal mensen dat er woont, werkt of samenkomt binnen de zone toeneemt. Daarnaast is het uitgangspunt dat het aantal mensen binnen de zones na verloop van tijd afneemt. Binnen de *Restricted Zone* mag geen woonbebouwing en commerciële en industriële bebouwing, niet gerelateerd aan de luchthaven, aanwezig zijn.

De PSZ's zijn vastgestelde afstanden aan het eind van de start- en landingsbanen van alle luchthavens met meer dan 18.000 vliegbewegingen per jaar. De PSZ's hebben een driehoekige vorm met de volgende afmetingen:

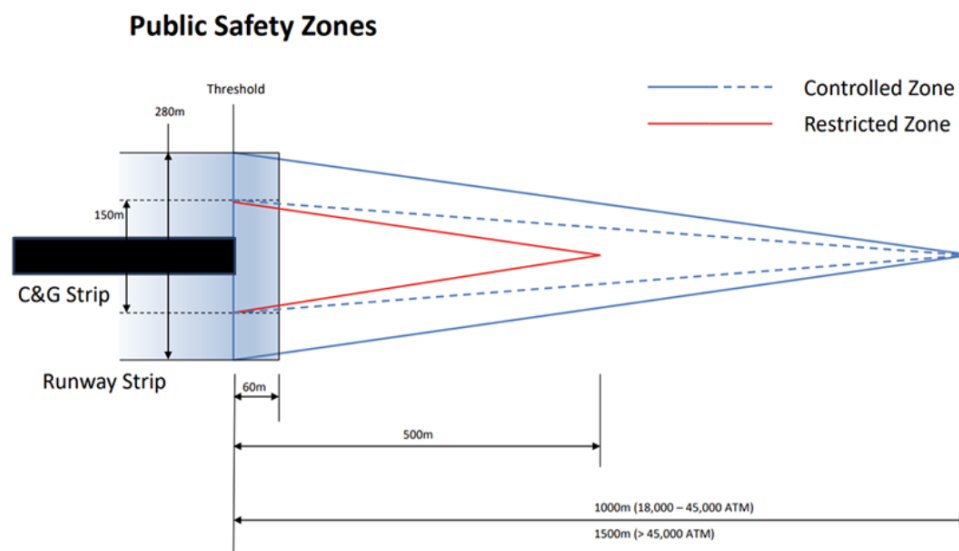
Restricted Zone:

- Lengte 500 meter vanaf de baandrempel.
- Breedte 75 meter aan weerszijden van het hart van de baan.

Controlled Zone:

- De lengte is afhankelijk van het aantal vliegbewegingen op de luchthaven:
 - 1.000 meter vanaf de baandrempel voor een vliegveld met minder dan 45.000 vliegbewegingen per jaar.
 - 1.500 meter voor een vliegveld met meer dan 45.000 commerciële vliegbewegingen per jaar.
- Breedte 140 meter aan weerszijden vanaf het hart van de baan.

In Figuur 2 zijn de omvang en de ligging van de zones schematisch weergegeven. Een onderbouwing van de omvang van de vastgestelde afstanden ontbreekt in het Verenigd Koninkrijk.



Figuur 2 Schematische omvang en ligging van de Public Safety Zones rondom luchthavens in het Verenigd Koninkrijk.⁴⁵

Bij het beleid om nieuwbouw en verandering van functies van bebouwing binnen de zones te beperken, wordt uitgegaan van een kosten-batenanalyse. Allereerst wordt het risico rondom de luchthaven teruggebracht tot een niveau dat aanvaardbaar gevonden wordt, ongeacht de kosten. Vervolgens wordt het risico alleen verder verlaagd als de voordelen hiervan groter zijn dan de kosten. Het voordeel hierbij is dat er geen toename, en mogelijk zelfs een afname, is van het aantal personen dat binnen de zones aanwezig is en dus blootgesteld wordt aan het risico. De kosten van het verwijderen van bestaande bebouwing, wegen echter over het algemeen niet op tegen de veiligheidsvoordelen.

De PSZ's rondom de luchthavens worden herzien op het moment dat een landingsbaan wordt verlegd, de baandrempel wordt verplaatst of als er een toename is van het aantal vliegbewegingen. Daarnaast wordt het beleid elke tien jaar herzien aan de hand van gegevens over recente vliegtuigongevallen.

Referentielijst

- ¹ Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2004, februari). Voorschrift en procedure voor de berekening van Externe Veiligheid rond luchthavens. NLR-CR-2004-083.
- ² Rijksoverheid. Regeling burgerluchthavens, Bijlage 2. Geraadpleegd op 11-01-2023, via: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0026564/2019-11-07#Bijlage2>
- ³ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW). (15 december 2021). Offerteaanvraag EV deelopdracht RIVM.
- ⁴ Software Improvement Group (SIG). 2023, 28 februari. RIVM-GEVERS Transfer scan. Final report
- ⁵ Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) (Maart 2013). Validiteit van de 10^{-7} -plaatsgebonden-risicocontouren voor Schiphol berekend met het externe veiligheidsmodel voor luchthavens. NLR-CR-2011-570
- ⁶ Rijksoverheid. Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol. Geraadpleegd op 11-01-2023, via: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0014722/2014-10-16#Bijlage8>
- ⁷ Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2013, juli). Veer-off en externe veiligheid. NLR-CR-2013-176
- ⁸ Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) (1993, November). The development of a method for the analysis of societal and individual risk due to accidents in the vicinity of airports. NLR contract report NLR-CR-93372-L.
- ⁹ Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) (januari 1998). Determination of accident rates for external risk calculations concerning regional airports. NLR Contract Report CR 95330 L.
- ¹⁰ Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (December 2008). A model to calculate third party risk due to civil helicopter traffic at heliports. With the focus on inland heliports in the Netherlands. NLR-CR-2007-003.
- ¹¹ Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) (2000, april). An enhanced method for the calculation of third party risk around large airports – with application to Schiphol. NLR-CR-2000-147.
- ¹² Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) (april 2002). Re-assessment of the model for analysis of third party risk around regional airports. NLR-CR-2002-178.
- ¹³ Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) (2006). Herziene ongevalskansen van derde-generatie-vliegtuigen voor het NLR IMU-model 2004. NLR-CR-2005-656.
- ¹⁴ Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2011, juli). Herziene ongevalskansen licht verkeer voor berekening van de externe veiligheid rondom regionale en kleine luchthavens. NLR-CR-2010-606.
- ¹⁵ Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) (2013, februari). Herziene ongevalskansen van derde-generatie-vliegtuigen voor NLR IMU-model, RANI-2010. NLR-CR-2012-549.
- ¹⁶ Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) (augustus 2021). Herziene ongevalskansen burgerluchtvaart. Voor berekeningen

- externe veiligheidsrisico's van overige burgerluchthavens. NLR-CR-2020-408
- 17 Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) (november 2019). Herziene ongevalskansen van derde-generatie-vliegtuigen voor NLR IMU-model 2018. NLR-CR-2019-362.
 - 18 Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2015, 11 december). Tussenrapportage dataverzameling en analyse landing onderschoots
 - 19 Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2010, juli). Actualisering letaliteit licht verkeer voor toepassing in Externe Veiligheidsmodel. NLR-CR-2009-123.
 - 20 Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2015, 11 december). Tussenrapportage dataverzameling en analyse landing onderschoots
 - 21 Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (oktober, 2003). Analyse van de bruikbaarheid van het Regionale veldenmodel voor luchthavens Maastricht en Rotterdam. NLR-CR-2003-540.
 - 22 Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2001, juni). Externe veiligheid rond de luchthaven Schiphol. Bijdrage voor de MilieuBalans 2001.
 - 23 Consortium: BB&C, Vital Link Beleidsanalyse, Demis, NLR (2004, maart). Evaluatie van de methodiek en het instrumentarium voor de bepaling van externe veiligheidsrisico's nabij luchthavens. NLR-CR-2006-468.
 - 24 Consortium: BB&C, Vital Link Beleidsanalyse, Demis. (2009, januari). Ontwikkeling van een geïntegreerd rekensysteem voor de modellering van de externe veiligheid van luchthavens (GEVERS).
 - 25 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (12 maart 2007). Berekeningswijze externe veiligheid van luchthavens.
 - 26 Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2007, 6 augustus). Operationalisering GEVERS : beschrijving van de invoerfiles voor Schiphol en de regionale velden. MN-GEV-14.
 - 27 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (2015, 21 december). Beëindiging RIVM-ondersteuning Externe Veiligheid voor Directie Luchtvaart.
 - 28 Eurlings, C.M.P.S. (2009, 30 september). Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden. 412
Besluit van 30 september 2009, houdend de regels voor burgerluchthavens (Besluit burgerluchthavens).
 - 29 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (2012, 1 augustus). Logboek GEVERS pakket. Overzicht van versies en wijzigingen.
 - 30 Grashoff, P. (2019, 2 december). Gevers release history.
 - 31 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (2010, 2 juli). Handleiding Risicoberekeningen Luchthavens.
 - 32 Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2011, april). Samenstellen van standaard vliegtuiggegevens voor de berekening van het externe veiligheidsrisico voor overige burgerluchthavens. NLR-TR-2010-454.
 - 33 Heckman, J. (2012, 18 juni). Offerte.
 - 34 Grashoff, P. & Velzen, A. van (2012, 14 mei). Implementatie alternatieve rekenkern GEVERS & 'GEVERS-light'. MC-GEV-37.

- ³⁵ Transport analysis and knowledge systems (TAKS). (2014, November). GEVERS 2.0. Overzicht van veranderingen in GEVERS 2.0.
- ³⁶ Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (21 januari 2013). Testresultaten.
- ³⁷ Heckman, J. (2013, 17 april). Memo ter informatie bij beoordeling GEVERS Light Release candidate 3 in relatie tot rekenvoorschrift externe veiligheid luchthavens, opgenomen in de regeling burgerluchthavens.
- ³⁸ Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2013, december). Development of NLR third party risk model and its application in policy and decision-making for the airports in the Netherlands NLR-TP-2013-550
- ³⁹ Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (25 april 2014). Handleiding Risicoberekeningen luchtvaart.
- ⁴⁰ Kok-Palma, Y.S. (2015, 29 april). Bespreekdocument beheer EV-luchthavens.
- ⁴¹ Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). (9 december 2014). Oplevering GEVERS 2.0
- ⁴² Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2015, 23 juli). Oplevering GEVERS 2.0.
- ⁴³ Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). (2015, 11 december). Tussenrapportage dataverzameling en analyse landing undershoots.
- ⁴⁴ Civil Aviation Authority (november, 2020). Public Safety Zones. Geraadpleegd op 04-04-2023, via: https://consultations.caa.co.uk/aerodrome-standards-department/public-safety-zones/?mc_cid=c50f85a427&mc_eid=eca8477803
- ⁴⁵ Department for Transport (oktober 2021). Policy paper: Control of development in airport public safety zones. Geraadpleegd op 04-04-2023, via: <https://www.gov.uk/government/publications/control-of-development-in-airport-public-safety-zones/control-of-development-in-airport-public-safety-zones>

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

juli 2023

De zorg voor morgen
begint vandaag