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

Hinder en slaapverstoring van vliegtuiggeluid in 2024

Blootstelling-responsrelaties voor burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland

RIVM-rapport 2026-0054
M. Reedijk | J. Hoekstra

Hinder en slaapverstoring van vliegtuiggeluid in 2024

Blootstelling-responsrelaties voor burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland

RIVM-rapport 2026-0054

Colofon

© RIVM 2026
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.

DOI 10.21945/RIVM-2026-0054

M. Reedijk (auteur), RIVM
J. Hoekstra (auteur), RIVM

Contact:
Marije Reedijk
Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid (DMG)
marije.reedijk@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en van Ministerie van Defensie in het kader van het project blootstelling-responsrelaties luchthavens GM2024.

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

Publiekssamenvatting

Hinder en slaapverstoring van vliegtuiggeluid in 2024

Blootstelling-responsrelaties voor burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland

Mensen die in de buurt van luchthavens wonen, kunnen ernstige hinder en slaapverstoring ervaren door het geluid van vliegverkeer. Het RIVM onderzocht bij omwonenden van veertien luchthavens het verband tussen de blootstelling aan geluid van vliegtuigen en de mate van ernstige hinder en slaapverstoring. Dit verband heet een blootstelling-responsrelatie (BR-relatie). Dat is gedaan, omdat omwonenden zorgen hebben over hun gezondheid door blootstelling aan vliegtuiggeluid.

Het RIVM updatet de BR-relaties voor de luchthavens van Schiphol, Rotterdam, Lelystad, Eelde, Eindhoven en Maastricht en acht militaire vliegvelden. Hiervoor zijn gegevens uit 2024 gebruikt over de blootstelling aan vliegtuiggeluid en de mate waarin omwonenden hinder en slaapverstoring ervaren. Dit onderzoek is een herhaling van een onderzoek uit 2020, dat plaatsvond tijdens de coronapandemie. Hierdoor was er minder vliegverkeer en waren mensen meer thuis, wat effect kan hebben gehad op de uitkomsten. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) gebruikt nu nog een BR-relatie die in 2002 is bepaald.

Voor de meeste luchthavens kon een duidelijke BR-relatie worden bepaald: mensen met een hogere blootstelling aan vliegtuiggeluid rapporteren vaker ernstige hinder door dit geluid. De BR-relaties verschillen wel per luchthaven. Het is daarom belangrijk om ze per luchthaven te bepalen.

Op de meeste luchthavens zijn er weinig of geen nachtvluchten, waardoor er ’s nachts weinig geluid van vliegtuigen is. Alleen op luchthavens van Schiphol en Rotterdam waren er genoeg nachtvluchten om BR-relaties voor nachtelijk vliegtuiggeluid en ernstige slaapverstoring te bepalen. Daar rapporteren mensen die ’s nachts aan veel geluid blootstaan, vaker ernstige slaapverstoring.

De nieuwe BR-relaties verschillen van de BR-relaties uit 2002 en 2020. Het RIVM adviseert om de nieuwste BR-relaties te gebruiken voor beleid en berekeningen van ernstige hinder en slaapverstoring. Ook is het belangrijk ze regelmatig te actualiseren.

Het RIVM verrichtte dit onderzoek in opdracht van de ministeries van IenW en Defensie.

Kernwoorden: luchthavens, luchtvaart, hinder, slaapverstoring, vliegtuiggeluid, BR-relatie, Schiphol, geluid, GGD Gezonheidsmonitor

Synopsis

Annoyance and sleep disturbance from aircraft noise in 2024

Exposure-response relationships for civilian and military airports in the Netherlands

Aircraft noise can be a source of significant annoyance and sleep disruption for people living near airports. The National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) investigated the relationship between exposure to aircraft noise and the amount of high annoyance and sleep disturbance among local residents for 14 airports. This relationship is known as an exposure-response (ER) relationship. The study was conducted in response to residents' concerns about adverse health effects due to aircraft noise exposure.

RIVM updated the ER relationships for the airports of Schiphol, Rotterdam, Lelystad, Eelde, Eindhoven and Maastricht as well as eight military airports. This was done based on data from 2024 on aircraft noise exposure and the severity of annoyance and sleep disturbance experienced by local residents. The study replicates a previous study conducted in 2020, during the Covid-19 pandemic. Due to the pandemic there was less air traffic and people were home more, potentially influencing the results. The Ministry of Infrastructure and Water Management (IenW) is currently still making use of an ER relationship determined in 2002.

For the majority of airports, it was possible to identify a clear ER relationship: residents more exposed to aircraft noise reported experiencing high annoyance due to such noise with greater frequency. The ER relationships do differ between airports. That is why it is important to determine them separately for each airport.

Most of the airports have no or fewer flights at night, so there is not much nocturnal aircraft noise. The airports of Schiphol and Rotterdam were the only ones with enough nighttime flights to allow the establishing of ER relationships between nocturnal aircraft noise and high sleep disturbance. Near these airports, people exposed to extensive nocturnal noise report experiencing high sleep disturbance more frequently.

The new ER relationships differ from the relationships determined in 2002 and 2020. RIVM therefore advises using the latest ER relationships for policy decisions and predictions of high annoyance and sleep disturbance. Furthermore, it is important to regularly update these ER relationships.

This study was commissioned by the Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management and the Dutch Ministry of Defence.

Keywords: airports, aviation, annoyance , sleep disturbance, aircraft noise, ER relationship, Schiphol, noise, Municipal Public Health Service health monitor

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 17
1.1 Aanleiding onderzoek — 17
1.2 Achtergrond — 18
1.3 Doel — 19
1.4 Onderzoeksvragen — 19
1.5 Leeswijzer — 20

2 Methode — 21
2.1 Studiegebieden — 21
2.1.1 Luchthavens — 21
2.1.2 Steekproeftrekking — 21
2.1.3 Afbakening studiegebied — 22
2.2 Berekening vliegtuiggeluid — 25
2.3 Effecten — 25
2.3.1 Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen — 25
2.3.2 De meting van hinder en slaapverstoring — 26
2.4 Blootstelling-responsrelaties — 27
2.5 Statistische analyse — 27
2.5.1 Blootstelling-responsrelaties — 28
2.5.2 Toepassing en keuze voor BR-relatie — 30
2.5.3 Weging — 31
2.5.4 Ondergrens — 31
2.5.5 Toepassingsbereik BR-relaties — 32
2.5.6 Gevoeligheidsanalyses — 32
2.5.7 Percentages ernstige hinder en slaapverstoring per gemeente — 33

3 Beschrijving studiepopulatie, geluidblootstelling aan vliegverkeer en omvang van hinder en slaapverstoring — 35
3.1 Beschrijving studiepopulatie — 35
3.2 Omvang ernstige hinder en slaapverstoring van vliegtuiggeluid — 38

4 BR-relaties per luchthaven — 45
4.1 Burgerluchthavens — 45
4.1.1 Schiphol Airport — 45
4.1.2 Rotterdam The Hague Airport — 48
4.1.3 Groningen Airport Eelde — 51
4.1.4 Lelystad Airport — 51
4.2 Civiele/ militaire luchthavens — 52
4.2.1 Vliegbasis Eindhoven — 52
4.2.2 Maastricht & Geilenkirchen — 55
4.2.3 Maritiem Vliegkamp De Kooy — 57
4.3 Militaire luchthavens — 57
4.3.1 Vliegbasis Gilze-Rijen — 57
4.3.2 Vliegbasis Volkel — 60
4.3.3 Vliegbasis Leeuwarden — 63
4.3.4 Vliegbasis Woensdrecht — 66
4.4 Samengevoegde BR-relaties — 66
4.4.1 Burgerluchthavens — 67

4.4.2 Militaire luchthavens — 70
4.5 Vergelijking BR-relatie 2024 met BR-relatie GES 2002 Schiphol Airport — 72
4.5.1 Schiphol Airport — 72
4.5.2 Overige burgerluchthavens — 73
4.5.3 Slaapverstoring — 74
4.6 Vergelijking BR-relatie 2024 met BR-relatie 2020 — 76

5 Gevoeligheidsanalyses — 81
5.1 Impact afbakening studiegebied Schiphol Airport 2024 — 81
5.2 Impact populatie-weging BR-relaties — 85

6 Discussie — 89
6.1 Beantwoording van de onderzoeksvragen — 89
6.2 Sterke en zwakke punten van het onderzoek — 93
6.2.1 Aspecten rondom de blootstelling — 93
6.2.2 Aspecten rondom de meting van hinder en slaapverstoring — 96
6.2.3 Aspecten rondom de analyses — 96
6.3 Aanbevelingen — 98
6.4 Conclusie — 100

Referenties — 103

Afkortingen — 107

Bijlage 1 beschrijving van luchthavens, geluidmaten en effecten — 109

Bijlage 2 Extra Tabellen en Figuren — 114

Bijlage 3 Gegevens van blootstelling-responserelaties tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid en ernstige hinder/slaapverstoring rondom burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland met gegevens van 2024 — 119

Samenvatting

Introductie

Voor het maken van beleid voor burgerluchthavens en militaire luchthavens is het belangrijk om te weten hoeveel mensen ernstige hinder of ernstige slaapverstoring ondervinden door vliegtuiggeluid. Dit wordt onder andere geschat met blootstelling-responsrelaties (BR-relaties). Die geven aan hoe groot de kans is dat mensen bij een bepaalde geluidbelasting ernstige hinder of slaapverstoring ervaren. Deze relaties helpen bij het voeren van beleid en het opstellen van regels om burgers tegen effecten van geluid van vliegverkeer op hun gezondheid te beschermen.

In de huidige regelgeving en beleid wordt nog vaak een BR-relatie uit 2002 toegepast om de effecten op hinder en slaapverstoring te schatten. Daarom zijn in het kader van de Programmatische Aanpak Meten en Rekenen Vliegverkeer (PAMV) met gegevens uit de Gezondheidsmonitor 2020 nieuwe BR-relaties opgesteld voor verschillende luchthavens in Nederland (Van Poll *et al.*, 2023). Deze gegevens zijn verzameld tijdens de coronapandemie, toen er minder werd gevlogen op burgerluchthavens en mensen meer thuis waren. Daarom is aanbevolen om het onderzoek te herhalen met gegevens uit de Gezondheidsmonitor 2024. Het RIVM is gevraagd op basis van de gegevens van de Gezondheidsmonitor 2024 opnieuw BR-relaties af te leiden voor de blootstelling aan geluid van vliegverkeer en de daaruit volgende hinder en slaapverstoring. Dit naar aanleiding van toezeggingen van de minister van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) aan de Tweede Kamer[1].

Doel

Dit onderzoek onderzocht, zoals aanbevolen, de relatie tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid en ernstige hinder/slaapverstoring rondom verschillende burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland met gegevens uit de Gezondheidsmonitor 2024.

De hoofdvraag van het onderzoek was:

'*Wat is de BR-relatie voor de blootstelling aan geluid van vliegverkeer en de daaruit volgende ernstige hinder/ernstige slaapverstoring voor verschillende Nederlandse burgerluchthavens en militaire luchthavens?*'

Hiervoor zijn in dit onderzoek luchthaven-specifieke BR-relaties opgesteld tussen:

- Geluid van vliegverkeer (berekend in L_{den}) en ernstige hinder;
- Nachtelijke geluid van vliegverkeer (berekend in L_{night}) en ernstige slaapverstoring;
- Geluid van vliegverkeer (berekend in Kosteneenheid) en ernstige hinder (alleen voor de militaire luchthavens).

[1] Kamerstukken II 2024/25, 31936, nr. 1238
Kamerstukken II 2023/24, 31936, nr. 1156

Naast luchthaven-specifieke BR-relaties zijn ook gegevens samengevoegd voor bepaalde burgerluchthavens en militaire luchthavens. Deze gecombineerde relaties zijn eventueel in situaties te gebruiken waarin er geen beschikbare luchthaven-specifieke BR-relaties zijn.

Verder zijn de BR-relaties uit dit onderzoek vergeleken met de BR-relatie Schiphol 2002 (Breugelmans *et al.*, 2005) voor burgerluchthavens. Ook is er een vergelijking gemaakt met de BR-relaties uit 2020 (Van Poll *et al*., 2023).

Methode

Dit onderzoek neemt de volgende luchthavens mee:

- vijf burgerluchthavens: Schiphol Airport, Rotterdam The Hague Airport, Maastricht Aachen Airport[2], Groningen Airport Eelde, Lelystad Airport;
- twee militaire luchthavens met civiel medegebruik: Vliegbasis Eindhoven, Maritiem Vliegkamp De Kooy; en:
- zeven militaire luchthavens: Vliegbasis Leeuwarden, Vliegbasis Volkel, Vliegbasis Gilze-Rijen, Vliegbasis Woensdrecht, Vliegbasis Deelen, Vliegbasis De Peel, Vliegbasis Geilenkirchen.

Dit onderzoek gebruikt met de GGD Gezondheidsmonitor Volwassen en Ouderen in 2024 (GMVO 2024) verzamelde gegevens. De GMVO-deelnemers van GMVO zijn met een vragenlijst gevraagd naar de mate van hinder en slaapverstoring door geluid van vliegverkeer. Dit gebeurde via de internationale standaardvraag voor het meten van geluidhinder die is vastgelegd in een norm. Deelnemers zijn op basis van hun score ingedeeld in 'niet ernstig gehinderd' (score 0-7) en 'ernstig gehinderd' (score 8-10). Dezelfde indeling is gebruikt voor slaapverstoring.

Het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum berekende de geluidbelasting (L_{den} en L_{night}) voor vliegverkeer. Dit gebeurde met een resolutie van 100 bij 100 meter voor de verschillende luchthavens die in dit onderzoek zijn meegenomen. Voor Schiphol Airport was de berekening van de geluidbelasting gedaan met het Doc29-rekenmodel, voor de overige luchthavens is gebruikgemaakt van het Nederlands Rekenmodel (NRM), omdat tijdens de geluidberekening het Doc29-rekenmodel nog niet voor deze luchthavens beschikbaar was. De geluidblootstelling is gekoppeld aan de coördinaten van het woonadres van de deelnemers aan de GMVO 2024, met als peildatum 1 september 2024.

Voor het vaststellen van de relatie tussen (nachtelijk) vliegtuiggeluid en ernstige hinder/slaapverstoring is gebruikgemaakt van logistische regressiemodellen. Er zijn drie verschillende types logistische regressiemodellen opgesteld:

- Modellen met geluidblootstelling als een categorische voorspeller.
- Modellen met geluidblootstelling als continue voorspeller.
- Modellen met geluidblootstelling als continue voorspeller met een toegepaste spline-functie.

[2] Samengenomen met Vliegbasis Gelsenkirchen in dit onderzoek.

Het gebruik van de spline-functie binnen de logistisch regressiemodellen geeft meer vrijheid aan het verloop van de relatie tussen de blootstelling en uitkomstmaat. Hierdoor kunnen modellen met een spline-functie niet-monotone en niet-lineaire relaties beter beschrijven, dan modellen zonder een spline-functie (Voor een verdere toelichting over de spline-functie, zie **paragraaf 2.5.1**).

Wat zijn de belangrijkste bevindingen?

Hinder en slaapverstoring door vliegverkeer in Nederland
Het percentage ernstig gehinderden van vliegverkeer verschilt per studiegebied rondom de luchthaven. Het hoogste percentage ernstige hinder wordt gerapporteerd rond het studiegebied van Vliegbasis Leeuwarden (11,6%), gevolgd door Vliegbasis Volkel (9,8%) en Schiphol Airport (9,5%). Maritiem Vliegkamp De Kooy heeft het laagste percentage ernstig gehinderden (1,1%). Ernstige slaapverstoring is het hoogst bij Schiphol Airport (5,0%).

BR-relaties voor vliegtuiggeluid en ernstige hinder
Voor de meeste Nederlandse burgerluchthavens en militaire luchthavens zijn BR-relaties afgeleid tussen vliegtuiggeluid en ernstige hinder. Over het algemeen zien we dat hoe hoger de geluidbelasting, hoe meer mensen ernstige hinder ervaren. Voor sommige luchthavens kunnen geen BR-relaties worden vastgesteld, meestal vanwege te lage geluidblootstelling en/of te weinig deelnemers in het studiegebied. Dit betreft de luchthavens Maritiem Vliegkamp De Kooy, Vliegbasis Woensdrecht, Lelystad Airport en Groningen Airport Eelde. Naast luchthaven-specifieke BR-relaties combineerden we in dit onderzoek ook gegevens van verschillende luchthavens. Deze relaties kunnen eventueel gebruikt worden in situaties waarin er geen luchthaven-specifieke BR-relaties beschikbaar zijn.

Voor de militaire luchthavens is ook gekeken naar het verband tussen vliegtuiggeluid (berekend in Kosteneenheid) en ernstige hinder. Voor Vliegbasis Eindhoven, Vliegbasis Gilze-Rijen, Vliegbasis Volkel en Vliegbasis Leeuwarden zijn BR-relaties afgeleid voor ernstige hinder en Kosteneenheid. Ook hier stijgt het aantal mensen met ernstige hinder bij toenemende geluidbelasting. Voor de overige militaire luchthavens zijn geen BR-relaties vast te stellen op basis van de Kosteneenheid. Dit komt door een te lage geluidblootstelling en/of te weinig deelnemers in het studiegebied.

BR-relaties voor nachtelijk vliegtuiggeluid en ernstige slaapverstoring
Een BR-relatie voor nachtelijk vliegtuiggeluid en ernstige slaapverstoring kan alleen worden afgeleid voor Schiphol Airport en Rotterdam The Hague Airport. Het percentage ernstige slaapverstoring neemt toe bij een hogere nachtelijk geluidbelasting, maar de onzekerheid wordt groter bij hogere geluidbelasting. Dit komt doordat er maar weinig mensen met een hoge nachtelijke geluidbelasting zijn.

Bij Maastricht Aachen Airport/Geilenkirchen, Vliegbasis Eindhoven, Vliegbasis Leeuwarden en Vliegbasis Volkel komt er ook ernstige slaapverstoring voor. Hier zien we met name bij de hoogste

blootstellingscategorie een toename in percentage ernstig slaapverstoorden.

Vergelijking onderlinge BR-relaties 2024
Net als eerder bij het onderzoek met 2020-gegevens (Van Poll *et al.*, 2023), zien we op basis van de gegevens uit 2024 dat er duidelijke verschillen zijn tussen de BR-relaties van de onderzochte luchthavens.

Vergelijking met de GES BR-relatie van Schiphol Airport uit 2002
Momenteel wordt in regelgeving vaak de BR-relatie op basis van het Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (GES) 2002 onderzoek rondom de luchthaven Schiphol Airport gebruikt (Breugelmans *et al.*, 2005). De huidige onderzoeksresultaten zijn vergeleken met het onderzoek uit 2002 dat rondom Schiphol Airport is uitgevoerd. De BR-relatie van Schiphol Airport uit 2024 voorspelt bij een lagere geluidbelasting (onder 50 dB) minder ernstige hinder dan de BR-relatie uit 2002, maar bij hogere geluidbelasting juist meer ernstige hinder. De 2024 BR-relaties voor Vliegbasis Eindhoven en Rotterdam The Hague Airport lijken op die van Schiphol 2002. Voor Maastricht en Geilenkirchen ligt de BR-relatie uit 2024 iets hoger dan de BR-relatie uit 2002. De BR-relaties uit 2024 voor ernstige slaapverstoring zijn zowel bij Schiphol Airport als Rotterdam The Hague Airport hoger dan de BR-relatie voor Schiphol uit 2002. Dat houdt in dat er bij gelijke nachtelijke geluidbelasting meer ernstige slaapverstoring wordt verwacht op basis van 2024 BR-relatie ten opzichte van de BR-relatie uit 2002.

Vergelijking met BR-relaties uit 2020
De 2020 BR-relaties zijn gebaseerd op een meting die plaatsvond tijdens de coronapandemie, waarvan de verwachting was dat dit van invloed is geweest op de BR-relaties. Landelijk was dat er in 2024 minder ernstige hinder van vliegtuiggeluid onder volwassenen was (3,4%) dan in 2020 (3,7%). In de vergelijkingen tussen de BR-relaties uit 2020 en 2024 zijn er duidelijke verschillen te zien, met name voor Schiphol Airport. Maar er is geen eenduidig beeld in de richting van dit verschil, want de mate waarin de BR-relaties afwijken van elkaar verschilt per luchthaven en type vergelijking.

De BR-relatie van Schiphol Airport uit 2024, gebaseerd op een logistisch regressiemodel, ligt onder de BR-relatie van Schiphol Airport uit 2020, gebaseerd op een vergelijkbaar model. Dat betekent dat bij gelijke geluidblootstelling, de 2020 BR-relatie meer ernstige hinder voorspelt dan de 2024 BR-relatie. Wanneer de BR-relaties echter vergeleken worden op basis van logistisch regressiemodellen met een spline-functie, dan ligt de BR-relatie uit 2024 boven die uit 2020. Dit komt doordat er in 2020 een aanzienlijk verschil zat tussen de BR-relaties gebaseerd op modellen met en zonder spline-functie, maar dit niet zo sterk het geval is bij de BR-relaties van Schiphol Airport in 2024.

Voor Rotterdam The Hague Airport, Maastricht en Geilenkirchen, Vliegbasis Gilze-Rijen en Vliegbasis Eindhoven ligt de BR-relatie voor 2024 voor een groot deel onder de BR-relatie voor 2020. Voor Vliegbasis Leeuwarden liggen de BR-relaties grotendeels gelijk. En voor Vliegbasis Volkel ligt de 2024 BR-relatie boven de BR-relatie voor 2020. Voor ernstige slaapverstoring ligt de nieuwe BR-relatie voor Schiphol Airport

bij een geluidsblootstelling hoger dan 35 dB L_{night}, onder de BR-relatie uit 2020. Voor Rotterdam The Hague Airport ligt de BR-relatie uit 2024 zeer gelijk aan de BR-relatie van 2020.

Oftewel, de nieuwe BR-relaties voor ernstige hinder uit 2024 wijken voor de meeste luchthavens af van de BR-relaties uit 2020. Bij de meeste luchthavens, en met name de burgerluchthavens, ligt de BR-relatie uit 2024 onder de BR-relatie uit 2020. Hierdoor wordt er bij gelijke geluidblootstelling minder hinder voorspeld op basis van de BR-relatie uit 2024. Het effect van de coronapandemie kan hierop van invloed zijn geweest, maar dit is op basis van de beschikbare onderzoeksgegevens niet vast te stellen.

Sterke en zwakke punten van het onderzoek

Dit onderzoek naar relatie tussen vliegtuiggeluid en hinder/slaapverstoring heeft zowel sterke als zwakke punten. Een sterk punt is het gebruik van een grote en representatieve dataset (n = 236.962 deelnemers) van de GMVO 2024 rondom verschillende luchthavens in Nederland, waarbij de blootstelling aan vliegtuiggeluid berekend is op het bekende woonadres van de deelnemers.

Er zijn echter ook onzekerheden in de berekening van de geluidblootstelling. Zo worden niet alle vliegtuigbewegingen meegenomen (bewegingen van kleinere vliegtuigen en van luchthavens in het buitenland). Dat kan leiden tot een onderschatting van de geluidbelasting. Ook kan in de geluidberekeningen verder van de luchthaven meer onzekerheid zitten. Met name bij militaire luchthavens die gebruikmaken van gemodelleerde vliegroutes in plaats van daadwerkelijk radargegevens, en militaire toestellen meer operationele vrijheden hebben om van routes af te wijken dan civiele passagiersvliegtuigen. Hierdoor ontstaat er meer onzekerheid over waar de daadwerkelijke geluidbelasting plaatsvindt. Verder zijn er in het onderzoek relatief weinig deelnemers blootgesteld aan hogere geluidbelasting, waarbij de onzekerheid in deze hogere geluidbelasting categorieën toeneemt. Dit is duidelijk te zien in de figuren door de bredere betrouwbaarheidsintervallen.

De gehanteerde analysemethoden en populatieweging zorgen voor betere aansluiting bij de onderliggende gegevens, maar maken de interpretatie complexer.

Dit onderzoek keek alleen naar de relatie tussen vliegtuiggeluid en hinder/slaapverstoring. Er is niet gekeken naar andere gezondheidsuitkomsten (zoals ischemische hartziekten), cumulatie met andere geluidbronsoorten (zoals weg- en railverkeer) of andere gevolgen vanwege blootstellingen door luchtvaart (zoals luchtverontreiniging). Daarnaast was het met deze onderzoeksopzet niet mogelijk om naar andere factoren te kijken die van invloed kunnen zijn op hinder en slaapverstoring (zoals geluidgevoeligheid en houding van mensen ten opzichte van luchtvaart).

Aanbevelingen

Op basis van het huidige onderzoek komen we tot de volgende aanbevelingen:

Gebruik zoveel mogelijk recente en luchthaven-specifieke BR-relaties
Bij berekeningen van ernstig gehinderden en ernstig slaapverstoorden bevelen we aan zoveel mogelijk recente BR-relaties te gebruiken, aangezien we verschillen zien met de BR-relaties uit 2002 en 2020. Naast het gebruik van recente BR-relaties bevelen we ook aan om waar mogelijk luchthaven-specifieke BR-relaties te gebruiken, omdat we ook duidelijk verschillen zien tussen luchthavens onderling.

Blijf hinder en slaapverstoring rondom luchthavens monitoren
BR-relaties zijn belangrijk voor het Nederlandse beleid rondom luchtvaart, bijvoorbeeld voor het inschatten van het aantal mensen met ernstige hinder of slaapverstoring door vliegverkeer. Omdat lokale omstandigheden en inzichten veranderen, is het essentieel om deze kennis actueel te houden. Daarom wordt aangeraden om periodiek de bestaande BR-relaties te actualiseren en om hinder en slaapverstoring rondom luchthavens te blijven monitoren. De GMVO blijft hiervoor geschikt, mits de steekproef rondom luchthavens voldoende is op te hogen, zoals in deze studie het geval was.

Onderzoek de rol van andere factoren op hinder en slaapverstoring
Naast geluidbelasting spelen ook andere factoren een rol bij ervaren hinder en slaapverstoring, zoals persoonlijke kenmerken en verwachtingen. Het is aan te raden om in vragenlijsten ook aandacht te besteden aan deze (niet-akoestische) factoren. De GMVO is hiervoor niet geschikt, vanwege beperkte ruimte voor extra vragen. Een specifiek belevingsonderzoek rondom een grote luchthaven is hiervoor een mogelijkheid, zoals recentelijke uitgevoerd rondom Vliegbasis Eindhoven (Hoekstra *et al.*, 2024).

Onderzoek ook andere effecten van vliegverkeer op de gezondheid en de rol van hinder en slaapverstoring hierin
Hinder wordt gezien als omgevingsstressor, die kan bijdragen aan gezondheidsproblemen op de langere termijn, zoals hoge bloeddruk, diabetes en hart- en vaatziekten. Internationaal onderzoek wijst op dergelijke effecten, maar in Nederland is weinig onderzoek hiernaar gedaan. Met gegevens uit gezondheidsregistraties (zoals beschikbaar binnen de CBS) en de GMVO is wel de relatie tussen vliegtuiggeluid en andere gezondheidsproblemen te onderzoeken en de rol van hinder en/of slaapverstoring hierin.

Onzekerheden in de blootstellingkarakterisering
Geluidbelasting kan op grotere afstand van luchthavens berekend worden, maar de betrouwbaarheid van deze modellen neemt af bij lagere geluidbelasting Het is belangrijk om meer duidelijkheid te krijgen over de betrouwbaarheid van deze lagere waarden voor het toepassingsbereik van rekenmodellen. We raden aan om voor toekomstig studies om BR-relaties verder onderzoek hiernaar te doen, bijvoorbeeld naar het gebruik van afkapwaarden voor inclusie in de studie op basis van de blootstelling aan vliegtuiggeluid.

BR-relaties op basis van Doc29-rekenmodel
Tijdens de geluidberekening was de implementatie van Doc29 voor de regionale burgerluchthavens (Rotterdam The Hague Airport, Maastricht Airport Aachen, Groningen Airport Eelde, Lelystad Airport) nog niet afgerond. Daarom is het NRM voor de geluidblootstelling gebruikt. We raden aan om de BR-relaties voor de betreffende luchthavens opnieuw af te leiden als de Doc29-implementatie voor deze luchthavens beschikbaar komt.

Conclusie

Dit onderzoek toont aan dat ernstige geluidhinder en slaapverstoring door vliegverkeer rond de luchthavens voorkomt. Voor de meeste luchthavens is een duidelijke BR-relatie te zien, waarbij de effecten toenemen bij een hogere geluidbelasting. Het is belangrijk om de effecten van vliegtuiggeluid goed te blijven monitoren, omdat er verschillen zijn met eerdere onderzoeken uit 2002 en 2020. Voor het inschatten van de omvang van ernstige hinder of slaapverstoring in een gebied rondom luchthavens raden we aan om zoveel mogelijk recente en luchthaven-specifieke BR-relaties te gebruiken, zoals die in dit rapport gepresenteerd worden.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

De aanwezigheid van een luchthaven heeft invloed op de omgeving. De activiteiten op en rond de luchthaven zorgen voor mobiliteit, werkgelegenheid en inkomsten. Tegelijkertijd brengen ze onder andere ook geluid, luchtverontreiniging, geur en risico's voor veiligheid en gezondheid met zich mee. In dit rapport kijken we naar de effecten van vliegtuiggeluid op de gezondheidseffecten hinder en slaapverstoring.

Beleidsmatig gezien is het voor de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en van Defensie belangrijk om de effecten van regelgeving en beleid op de ontwikkeling van hinder en slaapverstoring die door geluid van vliegverkeer veroorzaakt worden te monitoren. Om het aantal mensen dat 'ernstige hinder' en of 'ernstige slaapverstoring' ondervindt van het geluid van vliegverkeer te schatten, wordt vaak gebruikgemaakt van blootstelling-responsrelaties (BR-relaties). Deze relaties geven een indicatie van het aantal te verwachten ernstig gehinderden of ernstig slaapverstoorden bij een bepaalde geluidbelasting van vliegverkeer. BR-relaties zijn te gebruiken om inzicht te krijgen in welke groepen en bij welke geluidbelasting de meeste effecten ontstaan, zodat de overheid burgers bescherming kan bieden tegen negatieve gevolgen van vliegtuiggeluid. Ze worden niet alleen gebruikt om de omvang in te schatten, zoals gedaan door Welkers *et al.* in het kader van de motie Schonis (Welkers *et al.*, 2020). Ze zijn ook van belang binnen het beleidsinstrumentarium, bijvoorbeeld voor normen en regels rond cumulatie van geluid en de gelijkwaardigheidscriteria (Sahai *et al.*, 2026; Welkers *et al.*, 2021). Een andere toepassing is scenarioberekeningen van maatregelen rondom van luchthavens, zoals gedaan wordt in milieueffectrapportages.

Daarbij is het belangrijk om relaties tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid enerzijds en effecten zoals 'ernstige hinder' en 'ernstige slaapverstoring' anderzijds regelmatig opnieuw af te leiden. Deze kunnen namelijk over de tijd veranderen. Momenteel wordt in regelgeving vaak de BR-relatie op basis van het Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (GES) 2002-onderzoek rondom de luchthaven Schiphol Airport gebruikt (Breugelmans *et al.*, 2005).

In het kader van de Programmatische Aanpak Meten en Rekenen Vliegtuiggeluid (PAMV) zijn er voor verschillende burgerluchthavens en militaire luchthavens BR-relaties voor vliegtuiggeluid en hinder/slaapverstoring afgeleid op basis van gegevens die verzameld zijn met de Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen (GMVO) 2020 (Van Poll *et al.*, 2023). Dit was één van de aanbevelingen uit het rapport "*Vliegtuiggeluid: meten, reken en beleven*" (Smetsers *et al.*, 2019). Daarin was voor "*Hinder en Gezondheid*" de aanbeveling om de hinder en slaapverstoring in de omgeving van luchthavens te monitoren en in kaart te brengen wat de relaties waren tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid enerzijds en de effecten 'ernstige hinder' en 'ernstige slaapverstoring' anderzijds. De aanbeveling was ook om inzicht te

krijgen in luchthaven-specifieke relaties tussen geluidbelasting en geluidhinder, omdat niet-akoestische factoren (zoals houding en geluidgevoeligheid) een rol kunnen spelen. Dit zou gedaan moeten worden met een geharmoniseerde aanpak, zodat verschillen niet door een andere onderzoeksopzet komen.

Dit is gedaan met gegevens uit de GMVO 2020. Deze gegevens zijn echter verzameld tijdens de coronapandemie. Toen werd er minder gevlogen op burgerluchthavens en brachten mensen meer tijd door in hun eigen woning. De verwachting was dat dit van invloed is geweest op het onderzoek. De aanbeveling van het onderzoek was daarom ook om het onderzoek te herhalen met gegevens uit de GMVO 2024 (Van Poll *et al.*, 2023).

Het RIVM is naar aanleiding van toezeggingen van de minister van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) aan de Tweede Kamer[3], en als vervolg op het onderzoek in 2020 dat tijdens de coronapandemie is uitgevoerd, gevraagd om opnieuw BR-relaties af te leiden voor vliegverkeer voor verschillende burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland.

1.2 Achtergrond

In het verleden zijn er verschillende BR-relaties afgeleid voor geluid van vliegverkeer. Deze zijn beschreven in de RIVM-rapportages "*Geluidhinder rond Nederlandse luchthavens*" en "*Inventarisatie van gezondheids- en belevingsonderzoeken (1996-2015) rondom (regionale) luchthavens van nationale betekenis*". De rapportages geven een overzicht van de stand van de kennis op het gebied van belevingsonderzoeken naar onder andere hinder rondom Nederlandse luchthavens tot 2019 (Breugelmans *et al.*, 2016; Breugelmans *et al*., 2019).

Daarna zijn op basis van gegevens uit de GMVO 2020 BR-relaties afgeleid voor verschillende burgerluchthavens en militaire luchthavens (Van Poll *et al.*, 2023). Een van de conclusies van dat onderzoek was dat ernstige hinder bij dezelfde geluidbelasting was toegenomen ten opzichte van de BR-relatie uit 2002 (Breugelmans *et al*., 2005). Een kanttekening was dat dit onderzoek is uitgevoerd tijdens de coronapandemie, waardoor er minder werd gevlogen van burgerluchthavens en mensen meer thuis waren. Voor sommige luchthavens was geen BR-relatie af te leiden. Daarom kijkt dit onderzoek ook naar BR-relaties op basis van samengevoegde informatie van burgerluchthavens en militaire luchthavens.

Voor Vliegbasis Eindhoven zijn er op basis van belevingsonderzoek in 2023 door het RIVM nieuwe blootstelling-responsrelaties afgeleid (Hoekstra *et al.*, 2024) in een specifiek belevingsonderzoek.

Voor de WHO-richtlijnen voor omgevingsgeluid hebben Guski en collega's (Guski *et al.*, 2018) op basis van internationale studies in de

[3] Kamerstukken II 2023/24, 31936, nr. 1156
Kamerstukken II 2024/25, 31936, nr. 1238

periode 2000-2014 een meta-analyse uitgevoerd voor hinder van vliegverkeergeluid. Voor slaapverstoring is er destijds een meta-analyse uitgevoerd voor vliegtuiggeluid door Basner en McGuire (Basner & McGuire, 2018). Door Smith en collega's verscheen er in 2022 een update van het WHO-review voor slaapverstoring van onder andere geluid van vliegverkeer (Smith *et al.*, 2022).

In dit onderzoek vergelijken we de nieuw opgestelde BR-relaties met de BR-relatie uit 2002 voor Schiphol Airport. Daarnaast is er waar mogelijk een vergelijking gemaakt met de 2020 luchthaven-specifieke BR-relaties, waarbij de onderzoeksopzet grotendeels gelijk was.

In een nog lopend RIVM-onderzoek worden nationale BR-relaties voor ernstige hinder en slaapverstoring en geluid van weg-, rail- en vliegverkeer bepaald. In dit onderzoek wordt ook een vergelijking gemaakt met de jaren 2016 en 2020. De onderzoeksrapportage wordt later verwacht in 2026.

1.3 Doel

Het doel van het onderzoek is het opstellen van blootstelling-responsrelaties tussen de blootstelling aan het geluid van vliegverkeer en de kans op ernstige hinder of ernstige slaapverstoring bij omwonenden van verschillende Nederlandse burgerluchthavens en militaire luchthavens.

Het huidige onderzoek is een herhaling van het onderzoek dat beschreven is in het rapport "*Relaties vliegtuiggeluid – hinder en slaapverstoring 2020*" (Van Poll *et al*., 2023), maar dan met gegevens uit 2024.

Hiervoor worden gegevens gebruikt die zijn verkregen met de GMVO 2024. De gegevens over de geluidbelasting zijn berekend door het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) voor het kalenderjaar 2024 (voor Schiphol Airport gebruiksjaar 2024). Op deze manier worden de ontwikkelingen in relaties tussen ernstige hinder en ernstige slaapverstoring van geluid van vliegverkeer rondom de Nederlandse luchthavens in kaart gebracht, in overeenstemming met de aanbeveling bij afronding van de PAMV[4].

1.4 Onderzoeksvragen

Dit onderzoek beantwoordt de volgende onderzoeksvragen:

1. *Wat is de BR-relatie voor geluid van vliegverkeer en ernstige hinder/ernstige slaapverstoring voor verschillende Nederlandse burgerluchthavens en militaire luchthavens?*

De volgende BR-relaties zijn hierbij opgesteld:

- *Geluid van vliegverkeer (berekend in L_{den}) en ernstige hinder.*
- *Nachtelijke geluid van vliegverkeer (berekend in L_{night}) en ernstige slaapverstoring.*

[4] Kamerstukken II 2023/24, 31936, nr. 1156

- *Geluid van vliegverkeer (berekend in Kosteneenheid) en ernstige hinder (alleen voor de militaire luchthavens).*

Dit is gedaan per luchthaven. Daarnaast zijn er BR-relaties afgeleid voor alle burgerluchthavens (exclusief Schiphol Airport) en alle militaire luchthavens samen.

2. *Hoe verhouden deze BR-relaties zich tot de BR-relatie voor de luchthaven Schiphol Airport (GES 2002)?*

De volgende vergelijking wordt hierbij gemaakt:

- *Vergelijking tussen de BR-relaties uit dit onderzoek met de GES 2002 BR-relatie (Breugelmans et al., 2005) voor de civiele luchthavens.*

Daarnaast vergelijken we de nieuwe BR-relaties ook met de BR-relaties op basis van de 2020 voor de verschillende burgerluchthavens en militaire luchthavens.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bespreekt de onderzoeksmethode om tot de BR-relaties te komen, waaronder de gebiedsafbakening, blootstelling, gezondheidseffecten en gebruikte statistische analyses. **Hoofdstuk 3** geeft een beschrijving van de studiepopulatie, hinder en slaapverstoring door geluid van vliegverkeer en geluidbelasting. **Hoofdstuk 4** geeft de BR-relaties per luchthaven, opgedeeld in civiel, civiel/militair en militair. **Hoofdstuk 5** presenteert verschillende gevoeligheidsanalyses. Tenslotte geeft **Hoofdstuk 6** antwoord op de onderzoeksvragen, bespreekt het de zwakke en sterke onderzoekspunten en geeft het aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

2 Methode

2.1 Studiegebieden

2.1.1 Luchthavens

Tabel 2.1 neemt een overzicht op van de luchthavens die meegenomen zijn in dit onderzoek. Daarnaast is aangeven wat de voornaamste functie van de luchthaven is. **Bijlage 1** beschrijft de verschillende luchthavens kort, inclusief aantal vliegbewegingen in 2024.

Tabel 2.1 Relevante luchthavens in het onderzoek en voornaamste functie (civiel, militair)

Luchthaven	Civiel vliegverkeer	Militair vliegverkeer
Schiphol Airport	X	
Maastricht Aachen Airport[1]	X	
Groningen Airport Eelde	X	
Lelystad Airport	X	
Rotterdam The Hague Airport	X	
Vliegbasis Eindhoven	X	X
Vliegbasis Gilze-Rijen		X
Vliegbasis Woensdrecht		X
Vliegbasis Volkel		X
Vliegbasis Leeuwarden		X
Maritiem Vliegkamp De Kooy	X	X
Vliegbasis Geilenkirchen[1]		X
Vliegbasis Deelen[2]		X
Vliegbasis De Peel[2]		X

1. Geilenkirchen en Maastricht zijn gecombineerd in dit onderzoek.
2. Geen berekeningen voor uitgevoerd vanwege weinig tot geen vluchten vanaf deze luchthavens of weinig mensen in de omgeving.

2.1.2 Steekproeftrekking

Voor het afleiden van een BR-relatie is het van belang voldoende deelnemers te hebben over de hele verdeling van de geluidblootstelling. De reguliere steekproeftrekking voor de GMVO voorziet hierin niet voldoende, omdat dit onderzoek niet speciaal is opgezet om de effecten van vliegtuiggeluid te onderzoeken. Daarom is ophoging van de steekproef van deelnemers rondom luchthavens van belang, om zo voldoende deelnemers te hebben met een hogere geluidblootstelling. Het RIVM adviseerde de betrokken GGD'en begin 2024 in welke gebieden ze de steekproef konden ophogen. Afhankelijk van de betrokken GGD was dit op een wijk/buurtniveau of postcodeniveau. Hierbij is gebruikgemaakt van geluidbelastinggegevens uit 2020 van het NLR om de hoog belaste gebieden te identificeren. Dit voorstel voorziet in een dusdanige ophoging van de steekproef dat deze niet tot nauwelijks interfereert met het primaire GMVO-doel. In totaal zijn er ongeveer 30.000 vragenlijsten extra uitgezet, verdeeld over de

luchthavens die meededen in dit onderzoek. De verantwoordelijkheid voor de extra ophoging van de steekproef lag bij de betrokken GGD'en, waarbij ze rekening konden houden met hun eigen steekproeftrekking en de steekproefeisen vanuit het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). De GGD'en hebben de steekproef vervolgens aangeleverd bij het CBS. **Bijlage 2** (**Tabel B2.1**) geeft aan hoeveel extra vragenlijsten er per GGD zijn uitgezet. Hierin is ook aangegeven welke GGD bij welke luchthaven betrokken was. De steekproefophoging is bovenop de reguliere steekproef van de GGD. De betrokken GGD'en kregen hiervoor een vergoeding per deelnemer.

2.1.3 Afbakening studiegebied

Figuur 2.1 geeft de deelnemende gemeenten per studiegebied van de luchthavens weer. De studiegebieden per luchthaven zijn afgebakend op basis van de gemeentegrenzen in 2024. Dit is nodig in verband met het gebruik van de wegingsfactor van de GMVO; deze weging was op gemeenteniveau. Meer over deze weging staat in **paragraaf 2.5.3** (Weging).

Er zijn verschillende keuzes gemaakt om tot de studiegebieden per luchthaven te komen. Ten eerste was de regel dat tenminste 90 procent van de woningen binnen een gemeente binnen het rekengebied van een luchthaven moest vallen. Het rekengebied is het geografisch afgebakend gebied waarvoor de geluidberekeningen zijn uitgevoerd. De rekengebieden van de luchthavens zijn beschreven in het NLR-rapport "*Berekening vliegtuiggeluid 2024 rond civiele en militaire luchthavens*" (Tabel A1: *Beschrijving van gebruikte rekengebieden* en Figuur A1: *Totaaloverzicht van alle rekengebieden* in Hoekerswever, 2025). Voor Vliegbasis Gilze-Rijen is in overleg met NLR een extra berekening uitgevoerd, zodat de gemeente Goirle ook meegenomen kon worden in de analyse.

Op basis van de geluidblootstelling is er ook een tweede regel gebruikt voor de afbakening van de studiegebieden, namelijk dat de gemiddelde L_{den}-blootstelling per gemeente (op basis van alle adressen in de gemeente) hoger moest zijn dan 25 dB(A). In dit rapport wordt dB(A) in het vervolg afgekort tot dB, omdat er geen andere weging voorkomt in het rapport.

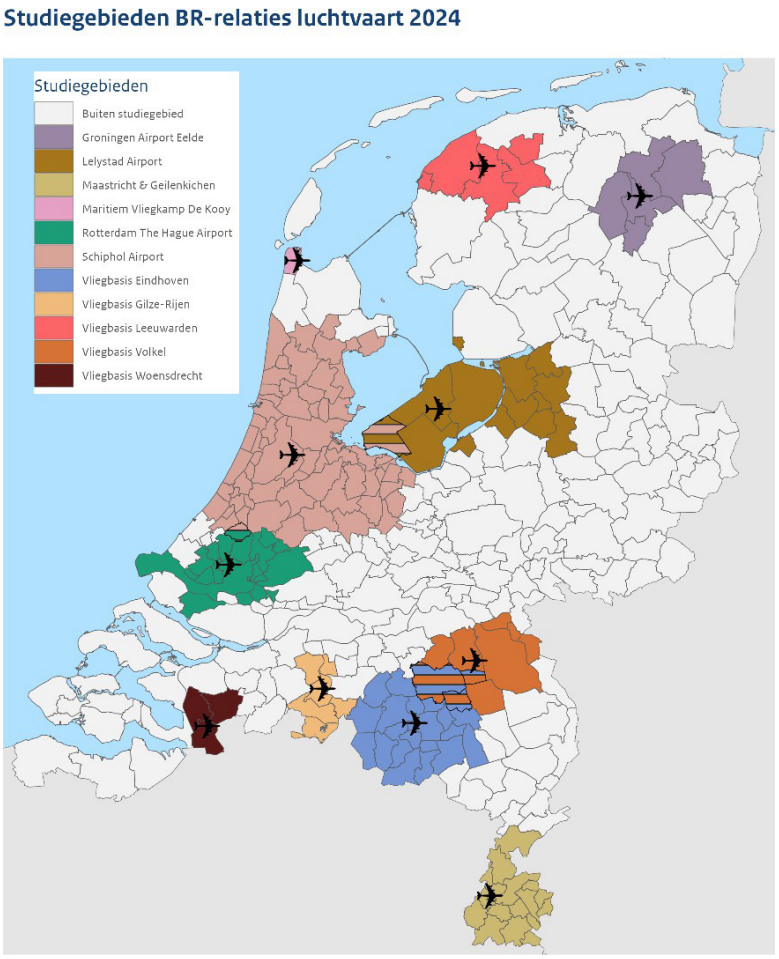
De keuze voor 25 dB in dit rapport is gebaseerd op een afweging tussen enerzijds het meenemen van voldoende deelnemers in de analyse zonder mogelijk ernstig gehinderden of slaapverstoorden bij voorbaat uit te sluiten, en anderzijds het waarborgen van voldoende betrouwbaarheid van de berekende geluidwaarden. Omdat de L_{den}-waardes minder betrouwbaar worden bij lagere blootstelling, vergroot dit de nauwkeurigheid van de geluidschattingen. Er is voor nu gekozen voor 25 dB als grens op basis van een verkenning van de blootstellingen binnen het gehele modeleergebied, gesprekken met NLR en inzichten vanuit voorgaande onderzoeken naar BR-relaties van luchtvaart in Nederland. **Hoofdstuk 5** bespreekt een gevoeligheidsanalyse, waarbij gekeken is naar het effect van het gebruik van verschillende afkapwaarden op de BR-relaties rondom Schiphol Airport. Voor toekomstige afleidingen van BR-relaties verdient deze keuze desondanks nader onderzoek.

Bij het afleiden van de BR-relaties in 2020 waren de studiegebieden niet afgebakend op basis van blootstellingcriteria. Hierdoor zijn er in 2024 relatief minder deelnemers binnen de studiegebieden met een lage blootstelling. Daarnaast zullen de studiegebieden in 2024 voor sommige luchthavens afwijken van de studiegebieden gebruikt in 2020. Dit heeft met name een impact op het studiegebied rondom Rotterdam The Hague Airport, waarbij er minder gemeenten zijn meegenomen ten zuidoosten van de luchthaven ten opzichte van 2020.

Voor de luchthavens Groningen Eelde Airport en Lelystad Airport is afgeweken van inclusieregels voor gemeenten. Er waren namelijk amper gemeentes rondom deze luchthavens waarbij de gemiddelde L_{den}-blootstelling hoger was dan 25 dB. Omdat de opdracht was om ook voor deze luchthavens een BR-relatie op te stellen (wanneer mogelijk), werden de omringende gemeentes toch gebruikt in de analyses.

De studiegebieden van Maastricht Aachen Airport en Vliegbasis Geilenkirchen zijn in dit onderzoek samengenomen als een enkel studiegebied die in de invloedssfeer van beide luchthavens liggen. Ook voor enkele andere luchthavens (Vliegbasis Eindhoven – Vliegbasis Volkel, Schiphol Airport – Lelystad Airport, Schiphol Airport – Rotterdam The Hague Airport) bestaat er een overlap van enkele gemeentes die in meerdere studiegebieden liggen. Daar is de geluidbelasting van de verschillende luchthavens bij elkaar opgeteld.

Figuur 2.1 Overzicht van studiegebieden per luchthaven voor het opstellen van BR-relaties op basis van de Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024.



Gemeenten die binnen meerdere studiegebieden vallen, zijn apart aangeven met horizontale strepen. De locaties van de luchthavens binnen de studiegebieden zijn in zwart aangeven.

Naast het opstellen van BR-relaties per luchthaven, zijn er ook BR-relaties opgesteld, waarbij de gegevens van verschillende luchthavens zijn gecombineerd. We hebben daarvoor de volgende indeling gemaakt:

1) *Alle Nederlandse burgerluchthavens exclusief Schiphol Airport namelijk:* Rotterdam The Hague Airport, Groningen Airport Eelde, Vliegbasis Eindhoven[5], Maastricht/Geilenkirchen en Lelystad Airport. Hierbij is Schiphol Airport niet meegenomen vanwege de grote verschillen tussen deze luchthaven en de overige burgerluchthavens en het rekenmodel waarmee de geluidblootstelling is bepaald (Zie **paragraaf 2.2**).
2) *Alle Nederlandse militaire luchthavens* namelijk: Vliegbasis Gilze-Rijen, Vliegbasis Leeuwarden, Vliegbasis Volkel, Vliegbasis Woensdrecht en Maritiem Vliegkamp De Kooy.

[5] Vliegbasis Eindhoven is een militaire vliegbasis, maar vliegbewegingen zijn voor een groot deel civiel.

2.2 Berekening vliegtuiggeluid

Het NLR voerde de berekeningen van vliegtuiggeluid per luchthaven uit. Het betreft geluidgegevens over het kalenderjaar 2024. Voor de luchthaven Schiphol Airport zijn de berekeningen gedaan voor het gebruiksjaar 2024. Dit loopt van 1 november 2023 tot 31 oktober 2024. Deze periode komt goed overeen met de periode waarover deelnemers gevraagd wordt een oordeel over onder andere hinder en slaapverstoring van vliegverkeer te geven. De berekeningen van de luchthaven Schiphol Airport zijn uitgevoerd met de implementatie van de rekenmethode Doc29. De geluidwaarden van andere civiele en militaire luchthavens zijn berekend met het Nederlands Rekenmodel (NRM). Er is gebruikgemaakt van gegevens van twee verschillende rekenmodellen voor geluidbelasting omdat Doc29-rekenmodellen voor regionale burgerluchthavens nog niet beschikbaar waren tijdens de geluidberekeningen voor dit onderzoek. Daarom is daar gebruikgemaakt van het NRM.

De geluidwaarden zijn berekend met een resolutie van 100 bij 100 meter. Voor Schiphol Airport is oorspronkelijk op 250 bij 250 meter berekend, maar dit is geïnterpoleerd naar 100 bij 100 meter. Een gedetailleerde beschrijving van de methodiek van de geluidberekeningen is beschikbaar in de NLR-rapportage "*Berekening vliegtuiggeluid 2024 rond civiele en militaire luchthavens* "(Hoekerswever, 2025).

Voor Vliegbasis Deelen kon op basis van de jaarberekening van het ministerie van Defensie al op voorhand aangegeven worden dat de geluidblootstelling te laag was en er in de omgeving te weinig mensen wonen om een BR- relatie af te leiden (Lemstra, 2025). Voor deze vliegbasis is daarom geen geluidbelasting berekend. Op Vliegbasis De Peel werd in de onderzochte periode ook niet gevlogen. Wel kan in de omgeving van Vliegbasis De Peel vliegtuiggeluid hoorbaar zijn door vliegverkeer in het oefengebied van de vliegbasis. Deze luchthavens worden verder niet besproken binnen deze rapportage.

Dit onderzoek neemt drie verschillende maten van geluidbelasting mee: 1) L_{den}, 2) L_{night} en 3) Kosteneenheid. De geluidmaat Kosteneenheid is alleen gebruikt voor de militaire luchthavens. Een verdere beschrijving van deze maten staat in **Bijlage 1**. In dit onderzoek maken we gebruik van jaargemiddelde geluidblootstelling.

2.3 Effecten

2.3.1 Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen

In dit onderzoek maken we gebruik van gegevens die zijn verzameld in de Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024 (GMVO 2024). Het primaire doel van de GMVO 2024 is het verkrijgen van cijfers (landelijk, regionaal, lokaal) over onder andere gezondheid, leefstijl en sociale situatie van de volwassen populatie in Nederland van achttien jaar en ouder. Het onderzoek is dus niet specifiek opgezet om de geluidseffecten van vliegtuigen te onderzoeken. Dit vragenlijstonderzoek wordt uitgevoerd door GGD'en en GGD GHOR Nederland, in samenwerking met het CBS en het RIVM. Het is een samenvoeging van gegevens uit de CBS Gezondheidsenquête en de Volwassenmonitor en de Ouderenmonitor van alle GGD'en. In dit onderzoek worden alleen de

GGD-gegevens gebruikt, omdat alleen daar gegevens over hinder en slaapverstoring van geluid zijn verzameld. De GMVO wordt gewoonlijk eens in de vier jaar uitgevoerd. De vragenlijst wordt voorgelegd aan twee verschillende groepen: *Volwassenen* (18 tot en met 64 jaar) en *Ouderen* (65 jaar en ouder). De groepen worden in eerste instantie uitgenodigd de vragenlijst online in te vullen. Bij de tweede aanschrijfbrief (1ste herinnering) zat ook een papieren vragenlijst. Bij de derde aanschrijfbrief (tweede herinnering) werd verwezen naar de online vragenlijst. Sommige GGD'en kozen ervoor om de papieren vragenlijst niet bij de eerste, maar pas bij de tweede herinnering mee te sturen. De GGD-vragenlijst werd in het najaar van 2024 uitgestuurd tussen september en november. Meer informatie over de GMVO 2024 staat op de website https://www.rivm.nl/gezondheidsmonitors/volwassenen-en-ouderen/2024.

2.3.2 De meting van hinder en slaapverstoring

Dit onderzoek neemt twee effecten mee: hinder en slaapverstoring. Een gedetailleerde beschrijving van deze effecten staat in **Bijlage 1**.

De hinder- en slaapverstoringsgegevens zijn verzameld met de vragenlijst van de GMVO 2024. De hinder en slaapverstoringsvragen voor geluid van vliegverkeer zaten in zowel de volwassenen- als ouderenbasisvragenlijst van de GMVO. Alle betrokken GGD'en zijn gevraagd deze vragen op gelijke manier op te nemen in de vragenlijst.

In de vragenlijst is vastgesteld in welke mate deelnemers hinder en slaapverstoring door verschillende bronnen van geluid ervaren, waaronder vliegverkeer. Hiervoor is de internationale standaardvraag toegepast voor het meten van geluidhinder, zoals vastgelegd in een norm (ISO/TS 15666:2021). (Zie **Bijlage 1** voor de vraag zoals gesteld in de basisvragenlijst van de GMVO 2024.) Deze vraag richt zich specifiek op de hinder die mensen in hun thuissituatie hebben ervaren gedurende de afgelopen twaalf maanden. Deelnemers beantwoordden de vraag op een 11 punt-schaal, waarbij ze aangaven in welke mate ze hinder ondervonden (0 niet gehinderd – 10 extreem gehinderd). Ze konden ook aangeven dat een geluid niet hoorbaar is. Een aantal GGD'en (Hollands Noorden, Hart voor Brabant, Brabant-Zuidoost, Limburg-Noord en Limburg-Zuid) heeft naast totaal vliegverkeer ook gevraagd naar hinder van burger en militair vliegverkeer. In deze rapportage is alleen gebruikgemaakt van totaal vliegverkeer.

Voor dit onderzoek, waarin de relatie tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid en ernstige hinder wordt onderzocht, zijn de antwoorden voor de data-analyse ingedeeld in twee categorieën. Respondenten met een hinderscore van 8 of hoger worden beschouwd als 'ernstig gehinderd', terwijl degenen met een score tussen 0 en 7 worden gerekend tot de categorie 'niet ernstig gehinderd'. De mensen die 'niet hoorbaar' aangeven, zitten bij de groep 'niet ernstig gehinderd'.

De vraag voor slaapverstoring door geluid lijkt op die over geluidhinder en richt zich daarmee op de subjectieve beleving van slaap. Voor slaapverstoring wordt een vergelijkbare vraagstelling en categorieën gehanteerd als bij de vraag over geluidhinder. Deelnemers met een

score van 8 of hoger worden in dit onderzoek beschouwd als 'ernstig slaapverstoord', terwijl degenen met een score tussen 0 en 7 (en niet hoorbaar) worden gerekend tot de categorie 'Niet ernstig slaapverstoord'.

In de onlineversie van de vragenlijst, is het antwoord op de hindervraag gelinkt aan het antwoord op de slaapverstoringsvraag. Als deelnemers bij de hindervraag aangaven dat de geluidbron niet hoorbaar was, dan kregen ze niet de vraag over slaapverstoring van betreffende bron. Als deelnemers bij de hindervraag een score tussen 0 en 10 scoorden, kregen ze de vraag over slaapverstoring wel. In de papieren versie van de vragenlijst is anders hiermee omgegaan. De mensen met papieren vragenlijst kregen de vraag over slaapverstoring wel, ongeacht hun antwoord op de hindervraag. Deze mogelijke opties rondom de slaapverstoringvraag staan in **Tabel 2.2.**

Tabel 2.2 Overzicht opties slaapverstoringvraag binnen Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024

Optie	Type vragenlijst	Antwoord hinder vraag	Slaapverstoringsvraag
1	Online	Score 0 – 10	Deelnemer heeft vraag kunnen invullen
2	Online	"Niet hoorbaar"	Deelnemer heeft vraag niet gekregen
3	Papier	Score 0 – 10	Deelnemer heeft vraag kunnen invullen
4	Papier	"Niet hoorbaar"	Deelnemer heeft vraag kunnen invullen

In de onderzoeksanalyse keken we alleen naar de deelnemers die de vraag kregen voorgelegd (optie 1, 3 en 4). De deelnemers met een digitale vragenlijst die bij hinder van vliegverkeer 'niet hoorbaar' hebben ingevuld, zijn niet meegenomen in de analyses (optie 2).

2.4 Blootstelling-responsrelaties

Dit onderzoek leidt BR-relaties af voor de relatie tussen geluidblootstelling door vliegverkeer (berekend in L_{den}, L_{night} of Kosteneenheid) en het percentage van de bevolking dat ernstige hinder of ernstige slaapverstoring van vliegverkeer ondervindt in de omgeving van verschillende burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland.

2.5 Statistische analyse

Alle statistische analyses voor de BR-relaties zijn uitgevoerd met het programma R (R Core Team, 2025) binnen de beveiligde Microdata omgeving van het CBS. De uitkomsten van de analyses moeten aan bepaalde voorwaarden voldoen van het CBS om de gegevens uit de beveiligde omgeving te halen. Deze voorwaarden zijn terug te vinden op de website van CBS: https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/maatwerk-en-microdata/microdata-zelf-onderzoek-doen/export-van-gegevens.

Het is daarom mogelijk dat soms geen gegevens gepresenteerd zijn over het aantal ernstig gehinderden of ernstig slaapverstoorden per luchthaven. Dit komt omdat de aantallen dan te laag waren (< 10) en daardoor niet voldeden aan de eisen die het CBS stelt om de privacy te kunnen waarborgen.

Allereerst wordt de studiepopulatie beschreven. Voor heel Nederland is het gewogen percentage ernstig gehinderden en ernstig slaapverstoorden per gemeente weergeven. Ook zijn er kaarten gemaakt van de mediane geluidbelasting van de deelnemers (L_{den} en L_{night}) voor alle gemeenten.

2.5.1 Blootstelling-responsrelaties

De BR-relaties zijn afgeleid met logistische regressiemodellen via de *svyglm*-functie uit de R-package *survey* (Lumley, 2024). Een logistisch regressiemodel modelleert de kans op een bepaalde uitkomst (in deze rapportage is dat de kans op ernstige hinder of slaapverstoring) op basis van individuele verklarende variabelen. Dit kunnen zowel categorische variabelen (groepen zoals bijvoorbeeld geslacht), als continue variabele (waarden binnen een bepaald bereik zoals bijvoorbeeld temperatuur of gewicht) zijn. Het model berekend als uitkomstmaat de zogenoemde '*log-odds'*. Dit is het natuurlijke logaritme van de kansverhouding (*odds*) dat een gebeurtenis plaatsvindt (Sperandei, 2014). Deze *log-odds* wordt berekend met een lineaire formule, waarbij de verklarende variabelen vermenigvuldigd worden met regressiecoëfficiënten, in combinatie met een constante waarde (ook wel de intercept genoemd). Om tot de daadwerkelijk waarschijnlijkheid te komen, is er nog een transformatie nodig van de *log-odds*. Door deze transformatie neemt de relatie een zogenoemde niet-lineaire sigmoïdefunctie of S-functie aan, waarbij de waarschijnlijkheid altijd een waarde heeft tussen 0 en de 1. Voor de BR-relaties binnen de studie is de waarschijnlijkheid op ernstige hinder of slaapverstoring omgerekend naar het verwachte percentage personen wat ernstige hinder of slaapverstoring ervaart. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat als er een waarschijnlijkheid is van bijvoorbeeld 0,1 op ernstige hinder, dit neerkomt op 10 procent ernstige hinder in een populatie.

Door de transformatie van de *log-odds* neemt in het model de relatie tussen de uitkomst en de continue verklarende variabelen een non-lineaire vorm aan. Logistisch regressie wordt desondanks gekwalificeerd als een lineair statistisch model, omdat de relatie tussen de *log-odds* en de verklarende variabelen wel op een lineaire manier bepaald wordt (Schober en Vetter, 2021). Hierdoor is een logistisch regressiemodel ook een monotoon model. Dit houdt in dat de uitkomstmaat consequent blijft stijgen, *of* dalen bij toenemende waarden van de continue verklarende variabelen. In de praktijk kan het echter ook voorkomen dat de kans op ernstige hinder of slaapverstoring niet meer stijgt bij toenemende blootstelling aan vliegtuiggeluid. Dit soort verbanden kunnen niet goed beschreven worden met een (regulier) logistisch regressiemodel. Om de relatie tussen blootstelling en response zo goed mogelijk te beschrijven, is in dit onderzoek de geluidblootstelling op verschillende manieren opgenomen binnen logistische regressiemodellen.

Deze modellen kunnen onderling worden vergeleken op basis van hun modelfit. Dit wordt beoordeeld met behulp van de *Akaike Information Criterion* (AIC)-waarde. De AIC is een relatieve maatstaf die de kwaliteit van een voorspellend regressiemodel aangeeft. Hoe lager de AIC-waarde, des te beter het model aansluit bij de onderliggende gegevens. Een verschil van 10 AIC-eenheden wordt beschouwd als een significant verschil in de kwaliteit van de fit tussen twee modellen (Aho *et al.*, 2014). Is het verschil kleiner dan 10, dan hebben modellen een vergelijkbare fit met de onderliggende data. Het is dan niet mogelijk om op basis van de modelfit te stellen welke model beter is. Omdat de AIC een relatieve maat is, heeft de waarde op zichzelf geen betekenis. Bovendien mag de AIC niet worden gebruikt om modellen te vergelijken die gebaseerd zijn op verschillende datasets. De AIC-waarden voor de modellen per luchthaven worden gepresenteerd in een tabel in **Bijlage 2** (**Tabel B2.2**). Hierbij wordt de AIC uitgedrukt als ΔAIC. Dit is het verschil tussen de AIC-waarde van een model met het beste fittende model (het model met de laagste AIC)). Het beste fittende model heeft een delta ΔAIC van 0. Wanneer de ΔAIC van een model groter dan 10 is, wordt ervan uitgegaan dat het model een slechtere modelfit heeft dan het model met de laagste AIC.

De geluidblootstelling is op drie verschillende manieren meegenomen in de logistische regressiemodellen.

1. *Logistisch regressiemodel met blootstellingscategorieën (categorische model):*
   In deze methode wordt geluidblootstelling verwerkt als een categorische variabele binnen het logistische regressiemodel, waarbij de categorieën zijn ingedeeld op basis van stappen van 5 dB (voor L_{den}/L_{night}) en 10 Kosteneenheden (Ke). Deze modellen worden in het vervolg van de rapportage categorische modellen genoemd. Het voordeel van de categorische modellen is dat er geen veronderstellingen worden gemaakt over de vorm of richting van het verband tussen blootstelling en effect. Een nadeel is echter dat er geen formule beschikbaar is, wat de praktische toepasbaarheid van deze methode bemoeilijkt. Het categorische model wordt dan ook niet beschouwd als een BR-relatie binnen deze rapportage. Wel kan op basis van een tabel worden ingeschat hoeveel ernstige hinder of slaapverstoring te verwachten is binnen elke 5 dB- of 10 Ke-groep.
2. *Logistisch regressiemodel:*
   Bij deze methode wordt de geluidblootstelling als een reguliere continue variabele in het logistische regressiemodel opgenomen. Binnen dit model krijgt de blootstelling een enkele coëfficiënt, die vermenigvuldigd wordt met de geluidsbelasting om tot de kans op ernstige hinder of slaapverstoring te komen. Bij toenemende geluidsbelasting zal de verwachte hinder of slaapverstoring hierdoor altijd stijgen (monotone functie). Op basis van deze aanpak kan een formule worden opgesteld, waarmee de mate van hinder of slaapverstoring is te voorspellen op basis van de geluidbelasting.
3. *Logistisch regressiemodel met spline:*
   Naast de eerder besproken methodes, is ook ervoor gekozen om logistische regressiemodellen op te stellen met een spline-functie voor de geluidblootstelling. Een 'spline' bestaat uit meerdere aan

elkaar verbonden curves met knooppunten, meestal derdegraads polynomen. Hoe meer knooppunten er worden gebruikt, hoe flexibeler de curve geschat kan worden. Door deze methodiek kunnen er in het logistische regressiemodel ook non-lineaire verbanden tussen de *log-odds* en de verklarende variabelen beschreven worden. Vanuit deze *log-odds* wordt vervolgens weer de kans op de uitkomstmaat berekend. Door het gebruik van de spline is het ook mogelijk om niet-monotone relaties te beschrijven, zoals een afvlakking van de verwachte hoeveelheid hinder vanaf een bepaalde geluidblootstelling. Dit onderzoek maakt gebruik van zogenoemde '*natural cubic-splines*' (via de ns-functie uit de *splines*-package in R). Hierbij is gekozen voor knooppunten die gelegen zijn op het 10^{e-}, 25^{e-}, 50^{e-},75^{e-} en 90^{e-}-percentiel van de blootstelling. Dit omdat vooral bij de lage en hogere blootstellingen afwijkingen zijn te verwachten van het logistisch regressiemodel.

Een belangrijk aspect van logistische regressie is de bijbehorende onzekerheid van de voorspelling van het model. Dit wordt meestal aangegeven met een 95 procent-betrouwbaarheidsinterval: een range van waarden waarin met 95 procent zekerheid kan worden gesteld dat er een voorspelling binnen deze waarden valt. De manier waarop een blootstelling wordt meegenomen in het logistisch regressiemodel (als categorische variabele, als een continue variabele met of zonder een spline-functie) is ook van invloed op het betrouwbaarheidsinterval. Bij een regulier logistisch regressiemodel zonder spline-functie wordt het betrouwbaarheidsinterval vooral bepaald door de sterkte in de relatie tussen blootstelling en de uitkomstmaat in alle deelnemers. Hierdoor is het betrouwbaarheidsinterval ook aan de range-uiteinden van de blootstelling klein, ondanks dat er slechts weinig deelnemers zijn met deze blootstelling. Binnen een logistisch regressie met een spline-functie, wordt er meer rekening gehouden met de onzekerheden aan de uiteinden van de range. De betrouwbaarheidsintervallen zullen hier groter zijn.

In deze rapportage zijn de BR-relaties op basis van de Kosteneenheid alleen opgesteld op basis van logistische regressiemodellen zonder spline-functie.

2.5.2 Toepassing en keuze voor BR-relatie

Alle BR-relaties zijn bepaald met een logistisch regressiemodel met en zonder spline-functie. Welke relatie wordt beschouwd als de beste BR-relatie voor een specifieke luchthaven is gebaseerd op onderstaande criteria. Wanneer er geen duidelijk verschil was tussen de BR-relaties op basis van de deze criteria, is gekozen voor de continue relatie zonder spline-functie, omdat deze makkelijker toepasbaar is.

Keuze voor BR-relatie op basis van logistisch regressiemodel:

- De modelfit (AIC) van het logistisch regressiemodel is beter dan de modelfit van het logistisch regressiemodel met spline.
- De voorspellingen van het logistisch regressiemodel komen sterk overeen met het categorische model.
- De voorspellingen van het logistisch regressiemodel met en zonder spline komen zeer sterk overeen.

Keuze voor BR-relatie op basis van logistisch regressiemodel met spline:
De modelfit (AIC) van het logistisch regressiemodel met spline is beter dan de modelfit van het model zonder spline.

- Er is duidelijk verschil tussen de voorspellingen van het logistisch regressiemodel en het model met spline.
- De voorspellingen van het logistisch regressiemodel met spline komen sterk overeen met het categorische model.

In het rapport presenteren we alleen de beste BR-relatie voor elke luchthaven. In de bijbehorende tekst en figuren staat welk model dit is. Van alle BR-relaties zullen de schattingen (plus betrouwbaarheidsinterval) per 1 dB binnen het toepassingsbereik van de BR-relatie getoond worden in de **Bijlage 3**. Hier zijn zowel de BR-relaties met en zonder een spline-functie in opgenomen, zodat het mogelijk het verloop van de relaties met elkaar te vergelijken. Voor BR-relaties op basis van een logistisch regressiemodel worden ook de formules getoond (**Bijlage 2**).

2.5.3 Weging

De gepresenteerde BR-relaties zijn gecorrigeerd voor de gehele bevolking door het toepassen van een zogenoemde weegfactor. Hierbij is gebruikgemaakt van de weegfactor uit de GMVO 2024, namelijk '*ewGGD*'. Op deze manier bieden de BR-relaties een representatieve weergave van de volledige populatie binnen het onderzoeksgebied. In de weegfactor worden persoons- en regiokenmerken meegenomen. Het is hiervoor van belang dat gemeenten in hun geheel meegenomen worden in de statistische analyse.

2.5.4 Ondergrens

Zoals eerder beschreven, voerde NLR de geluidberekeningen uit die gebruikt worden voor het opstellen van de BR-relaties.
Aan dit soort geluidberekeningen zitten altijd onzekerheden, omdat er in het rekenmodel aannames gedaan worden over de werkelijkheid (Hoekerswever, 2025). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende categorieën van onzekerheid: variatie of spreiding, uitzonderlijke situaties, lokale effecten en afstandsafhankelijkheid. Het NLR geeft daarbij aan dat de nauwkeurigheid kan verschillen per luchthaven. Zo is Schiphol Airport doorgerekend met radargegevens. Er wordt voor de andere civiele luchthavens en militaire luchthavens vaak gebruikgemaakt van gemodelleerde routes. Met name bij militair vliegverkeer kan er ook van deze routes afgeweken worden.

Het RIVM deed eerder onderzoek naar de betrouwbaarheid van gemodelleerde geluidbelasting van vliegveldgeluid. Hieruit kwam naar voren dat mogelijk was aan te geven vanaf welke L_{den}-rekenmodellen voor vliegtuiggeluid betrouwbaar worden geacht. Dit was circa 50 dB (Sahai *et al*., 2024a en Sahai *et al*. 2024b). Bij lagere geluidbelasting is het verschil tussen gemeten en berekende geluidwaarden groter. Dit kwam in het onderzoek onder andere doordat er weinig betrouwbare meetgegevens waren van lage geluidniveaus. Hierdoor kon er geen goede vergelijking gemaakt worden met de gemodelleerde geluidniveaus. Het is dan ook niet mogelijk om een specifieke L_{den}-waarde toe te wijzen als een ondergrens van betrouwbaarheid en bruikbaarheid, en waaronder rekenmodellen dus onbetrouwbaar worden

geacht. Tegelijkertijd is er bekend dat er ook bij lage geluidblootstelling ernstige hinder en slaapverstoring kunnen optreden (Van Poll *et al.*, 2023, Hoekstra *et al.,* 2024) Voor het opstellen van BR-relaties in deze rapportage moest er dus een balans worden gezocht tussen het gebruik van betrouwbaar mogelijke L_{den}-/L_{night}-waarden en het niet buiten sluiten van een te grote groep deelnemers.

Op basis van de resultaten van de voorgaande metingen en inzichten van de auteurs, is ervoor gekozen om voor het opstellen van de BR-relaties de afkapwaarden op 30 dB L_{den} en 25 dB L_{night} te hanteren. Dit houdt in dat de getoonde BR-relaties op basis van de L_{den} waar mogelijk beginnen vanaf 30 dB. Voor sommige enkele luchthavens is hiervan afgeweken en begint de BR-relatie vanaf 25 dB $L_{den,}$ omdat er een dermate grote groep deelnemers een geluidbelasting van <30 dB L_{den} had.

Bij de L_{night} is vanwege de zeer lage blootstellingen aan nachtelijk vliegtuiggeluid voor bepaalde luchthavens flexibeler hiermee omgegaan, zodat het voor iedere luchthaven toch mogelijk was om te proberen een BR-relatie op te stellen. Desondanks zullen er voor sommige luchthavens geen duidelijk relaties gevonden worden tussen L_{night} en ernstige slaapverstoring. Dit kan komen door een te lage L_{night}-belasting, te weinig ernstig slaapverstoorden, of allebei. In deze gevallen worden er dan ook geen BR-relaties getoond.

2.5.5 Toepassingsbereik BR-relaties

Het toepassingsbereik van de BR-relatie definieert de grenzen waarbinnen de relatie kan worden toegepast om de hoeveelheid ernstige hinder/slaapverstoring te voorspellen op basis van de geluidbelasting. De ondergrens van het bereik is bepaald op basis van de afkapwaarde, zoals hierboven staat beschreven. Voor de bovengrens van het toepassingsbereik is er in principe gekozen voor het 99ste percentiel van de blootstelling per luchthaven, afgerond naar hele dB. Voor Schiphol Airport, Rotterdam The Hague Airport en Volkel kon het 99.9 percentiel gebruikt worden, waarbij werd afgerond naar hele dB.
Er is bewust niet gekozen voor de maximale blootstellingswaarde als bovengrens van de BR-relatie, omdat de onzekerheid van de voorspelling sterk toeneemt wanneer deze gebaseerd is op een klein aantal personen met de hoogste blootstelling. Het toepassingsbereik van de BR-relatie is dus verschillend per luchthaven.

2.5.6 Gevoeligheidsanalyses

Bij het doen van de analyses kan er een aantal keuzes gemaakt worden. Om de mogelijk effecten van deze keuzes en afwegingen op analyses in kaart te brengen, zijn er enkele extra gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Een gevoeligheidsanalyse onderzoekt hoe veranderingen in (model)parameters en beginwaarden de resultaten van berekeningen beïnvloeden (Janssen *et al*., 1990). Deze richten zich vooral op Schiphol Airport, omdat dit de luchthaven is met de grootste studiepopulatie en blootstellingsverdeling. We keken naar de volgende aspecten:

- Andere afkapwaarden voor de ondergrens.
- Wel of geen populatie-weging.

2.5.7 Percentages ernstige hinder en slaapverstoring per gemeente

Om de landelijk impact en spreiding van ernstige hinder en slaapverstoring door vliegtuiggeluid inzichtelijk te maken, zijn er kaarten opgesteld met het percentage ernstige hinder en slaapverstoring per gemeente in 2024. Deze percentages zijn gebaseerd op alle deelnemers aan de GMVO 2024. Daarbij is voor elke gemeente het populatie-gewogen percentage ernstige hinder en slaapverstoring berekend. Dit is op basis van dezelfde GGD-wegingsfactor als de BR-relaties.

3 Beschrijving studiepopulatie, geluidblootstelling aan vliegverkeer en omvang van hinder en slaapverstoring

Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende studiepopulaties, de percentages ernstige hinder en slaapverstoring per luchthaven en gemeente, en de geluidblootstelling per luchthaven. Omdat dit onderzoek zich richt op het opstellen van BR-relaties en niet op de prevalentie van ernstige hinder en slaapverstoring van vliegtuiggeluid in Nederland, wordt de prevalentie in deze rapportage beperkt besproken en bediscussieerd.

3.1 Beschrijving studiepopulatie

Uiteindelijk hebben 446.587 mensen de GGD-vragenlijst ingevuld in 2024. De GMVO 2024 had een responspercentage van 30,3 procent (GGD GHOR Nederland). De respons was hoger (45,4%) bij ouderen (vanaf 65+ jaar) dan bij volwassenen (18 t/m 64 jaar) (23,3%). In dit onderzoek hebben we niet alle GMVO 2024-gegevens gebruikt, maar alleen van de deelnemers die in één van de studiegebieden woonden.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van het (ongewogen) aantal deelnemers, ernstige gehinderden en slaapverstoring en de range van geluidblootstellingen (L_{den}/L_{night}) binnen de verschillende studiegebieden. Het studiegebied van de Schiphol Airport had verreweg het grootste aantal deelnemers, gevolgd door de luchthavens Rotterdam The Hague Airport en Vliegbasis Eindhoven. Maritiem vliegkamp De Kooy had de minste deelnemers. Het percentage ernstig gehinderden van vliegverkeer per studiegebied verschilde per luchthaven. Het studiegebied van Vliegbasis Leeuwarden had het hoogste percentage ernstig gehinderden (11,6%), gevolgd door Vliegbasis Volkel (9,8%) en Schiphol Airport (9,5%). Maritiem Vliegkamp De Kooy had het laagste percentage ernstig gehinderden (1,1%). Schiphol Airport en Rotterdam The Hague Airport zijn de luchthavens met de meeste nachtvluchten (**Bijlage 1**). Op de andere luchthavens zijn weinig tot geen nachtvluchten. Het percentage ernstige slaapverstoring was het hoogst in het studiegebied van Schiphol Airport (5,0%). Dit is ook de luchthaven met de hoogste nachtelijke blootstelling aan geluid. Ook op luchthavens waar weinig nachtvluchten worden gerapporteerd, zien we nog ernstige slaapverstoring.

Tabel 3.1 Beschrijving studiepopulatie en blootstelling van civiele en militaire Nederlandse luchthavens in Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024.

Luchthaven	**Type luchtvaart[1]**	**Aantal gemeenten studiegebied**	**Aantal deelnemers**	**Aantal deelnemers hinder vraag**	**Aantal ernstig gehinderden (%)**	**Aantal deelnemers slaapversto-ring vraag**	**Aantal ernstig slaapver-stoorden (%)**	**L_{den} blootstelling p1-p99 (dB)**	**L_{night} blootstelling p1 – p99 (dB)**
Schiphol Airport	C	65	106.595	99.000	9.410 (9,5)	93.639	4.661 (5,0)	31 - 57	15 - 45
Groningen Airport Eelde	C	5	5.020	4.768	75 (1,6)	4.303	21 (0,5)	12 - 45	0 - 35
Rotterdam The Hague Airport	C	21	42.169	38.574	1.404 (3,6)	34.998	695 (2,0)	25 - 51	6 - 38
Lelystad Airport	C	14	13.681	12.634	246 (1,9)	11.404	79 (0,7)	2 - 41	0 - 28
Vliegbasis Eindhoven	C en M	22	25.254	23.057	1.366 (5,9)	21.594	472 (2,2)	31 - 51	0 - 23
Maastricht & Geilenkirchen	C en M	17	25.389	22.894	1.226 (5,4)	21.263	455 (2,1)	18 - 52	0 - 36
Maritiem Vliegkamp De Kooy	C en M	1	1.401	1.279	14 (1,1)	1.146	<10 (0,9)	29 - 47	9 - 25

Luchthaven	Type luchtvaart[1]	Aantal gemeenten studiegebied	Aantal deelnemers	Aantal deelnemers hinder vraag	Aantal ernstig gehinderden (%)	Aantal deelnemers slaapverstoring vraag	Aantal ernstig slaapverstoorden (%)	L_{den} blootstelling p1-p99 (dB)	L_{night} blootstelling p1 – p99 (dB)
Vliegbasis Volkel	M	10	13.882	12.574	1.231 (9,8)	11.800	227 (1,9)	22 - 61	0 - 32
Vliegbasis Gilze-Rijen	M	6	6.024	5.486	152 (2,8)	4.952	55 (1,1)	25 - 51	0 - 28
Vliegbasis Leeuwarden	M	5	5.163	4.839	563 (11,6)	4.545	113 (2,5)	23 - 68	0 - 27
Vliegbasis Woensdrecht	M	3	3.946	3.618	56 (1,5)	X	X	12 - 43	X

1 Type luchtvaart: C=civiel, C en M= civiel en militair, M=militair, x = De aantallen waren te laag (<10) om van het CBS vrijgegeven te mogen worden.

3.2 Omvang ernstige hinder en slaapverstoring van vliegtuiggeluid

In deze paragraaf geven we een beschrijving van de omvang van ernstige hinder en slaapverstoring per gemeente in Nederland. Ook wordt de mediane L_{den} en L_{night} per gemeente weergegeven.

Figuur 3.1 geeft het percentage ernstig gehinderden door vliegtuiggeluid per Nederlandse gemeente weer. Het betreft hier het populatie-gewogen percentage. Hierdoor vertegenwoordigt de waarde de gehele gemeente en niet alleen de deelnemers aan de GMVO 2024 binnen de gemeente. Landelijk ervaart 3,4 procent van de volwassenen in Nederland ernstige hinder door vliegtuiggeluid[6], maar zoals in **Figuur 3.1** te zien er grote verschillen in ernstige hinder door vliegverkeer per gemeente.

Figuur 3.2 geeft de mediane blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}) per gemeente in 2024 weer, waarbij alleen blootstellingen beschikbaar zijn van gemeenten die onderdeel uitmaakten van een studiegebied.

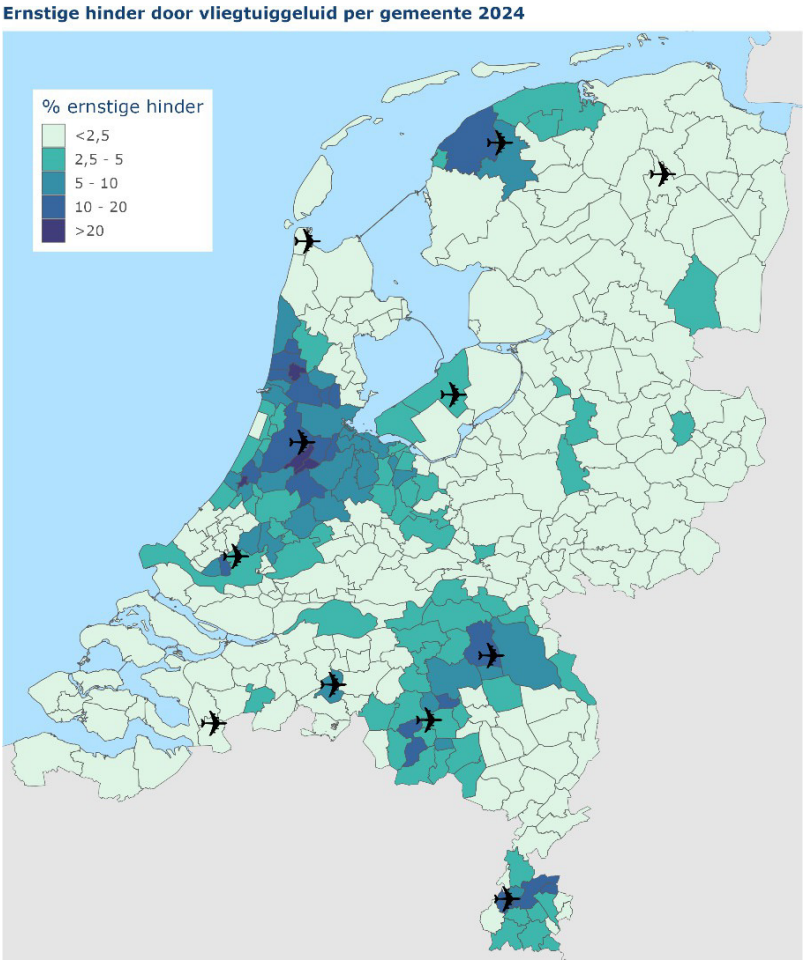
Zoals verwacht, is de meeste ernstige hinder aanwezig in gemeenten die ook een hoge geluidblootstelling hebben. Om dit verder inzichtelijk te maken, zet **Figuur 3.3** het percentage ernstige hinder per gemeente uit tegenover de mediane L_{den}-blootstelling in de gemeente. Ook hier is een duidelijke relatie te zien, waarbij het percentage ernstige hinder stijgt vanaf een blootstelling van 35 dB L_{den}. Hier is ook te zien dat de meeste ernstige hinder en hoogste geluidblootstelling rondom Schiphol Airport plaatsvindt.

Dezelfde analyses als hierboven zijn beschreven, zijn ook uitgevoerd voor ernstige slaapverstoring en blootstelling aan nachtelijk geluid van vliegverkeer (L_{night}). Zoals te zien is in **Figuur 3.4** zijn er net als bij hinder regionale verschillen in percentages ernstige slaapverstoorden tussen gemeenten. De gemeenten rondom Schiphol Airport komen hierbij duidelijk naar voren, inclusief enkele andere clusters. Het landelijk percentage ernstige slaapverstoring in Nederland betreft 1,5 procent[7].

Figuur 3.5 geeft de mediaanblootstelling aan nachtelijke vliegtuiggeluid (L_{night}) per gemeente in 2024 weer. **Figuur 3.6** geeft het percentage ernstige slaapverstoring per gemeente uitgezet tegenover de mediaan L_{night}-blootstelling in de gemeente. Net als bij ernstige hinder is een duidelijke trend te zien, waarbij het percentage ernstige slaapverstoring stijgt vanaf een blootstelling van 25 dB L_{night}. De meest ernstige slaapverstoring en hoogst nachtelijke geluidblootstelling is aanwezig in de gemeenten rondom Schiphol Airport.

[6] Zie https://www.rivm.nl/vliegtuiggeluid/gezondheidseffecten
[7] Zie https://www.rivm.nl/vliegtuiggeluid/gezondheidseffecten

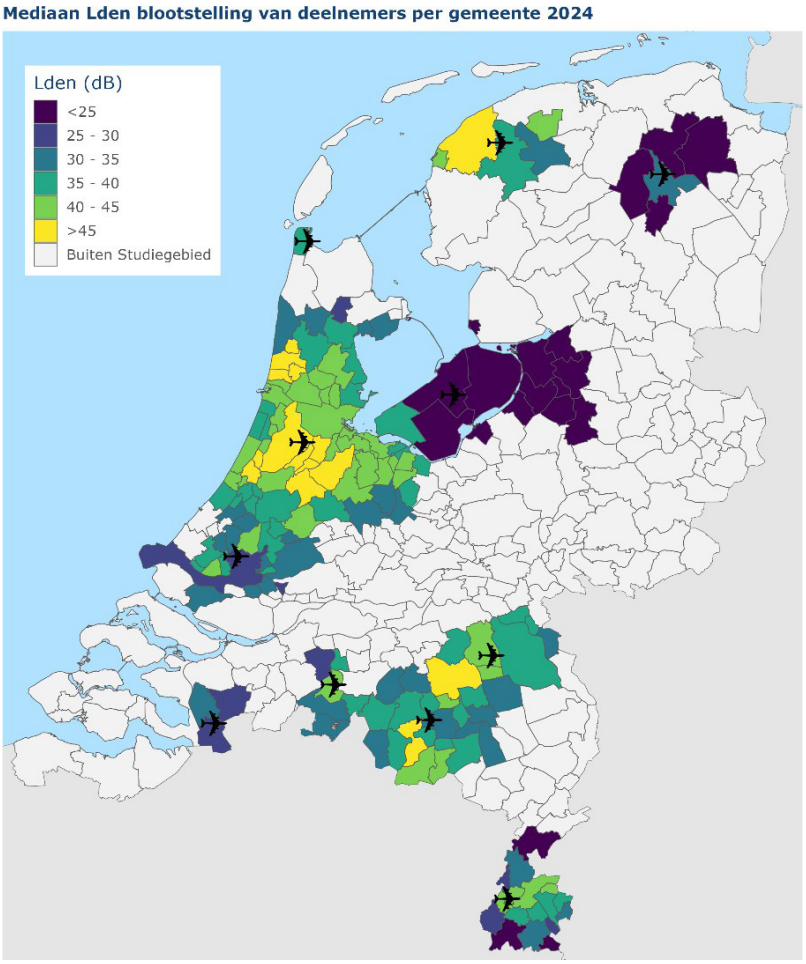
Figuur 3.1 Ernstige hinder van vliegtuiggeluid per gemeente op basis van de Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024.



De percentages zijn populatie-gewogen op basis van de wegingsfactoren, zodat ze vertegenwoordigend zijn voor alle personen van achttien jaar en ouder binnen de gemeente.[8] De locaties van de luchthavens zijn aangegeven in het zwart.

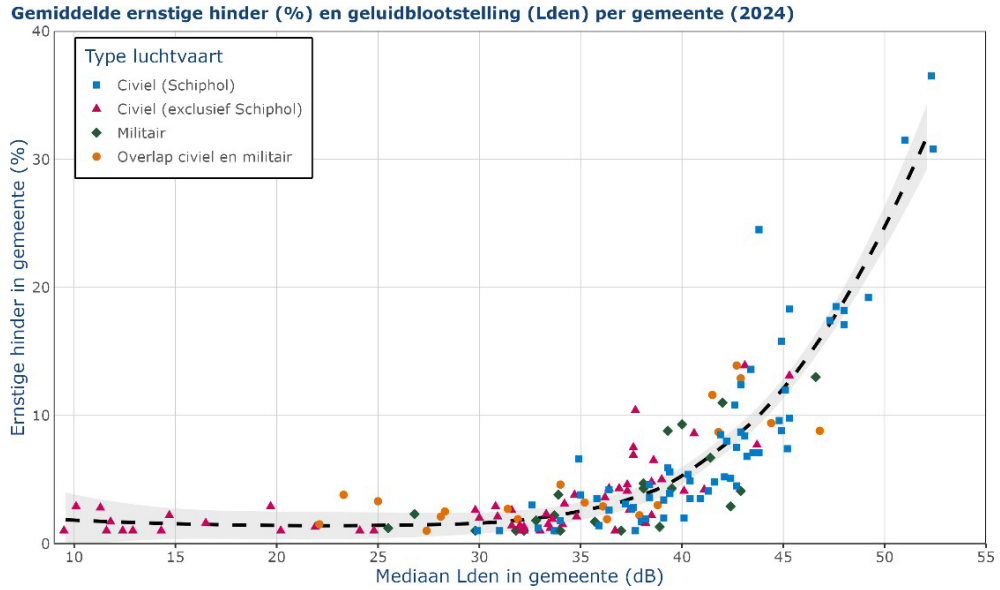
[8] De percentages kunnen afwijken van de percentages die gepresenteerd zijn op https://www.vzinfo.nl/buurtatlas. In dit rapport zijn de populatie gewogen gemiddelden weergegeven per gemeenten. Op de buurtatlas zijn de percentages gebaseerd op een modelmatige schatting met SMAP. Meer uitleg hierover staat op: https://www.vzinfo.nl/bronnen-methoden-en-achtergronden/schattingen-per-gemeente-wijk-buurt.

Figuur 3.2 De mediaan van de blootstelling aan vliegtuiggeluid (in L_{den}) per gemeente van deelnemers aan de Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024.



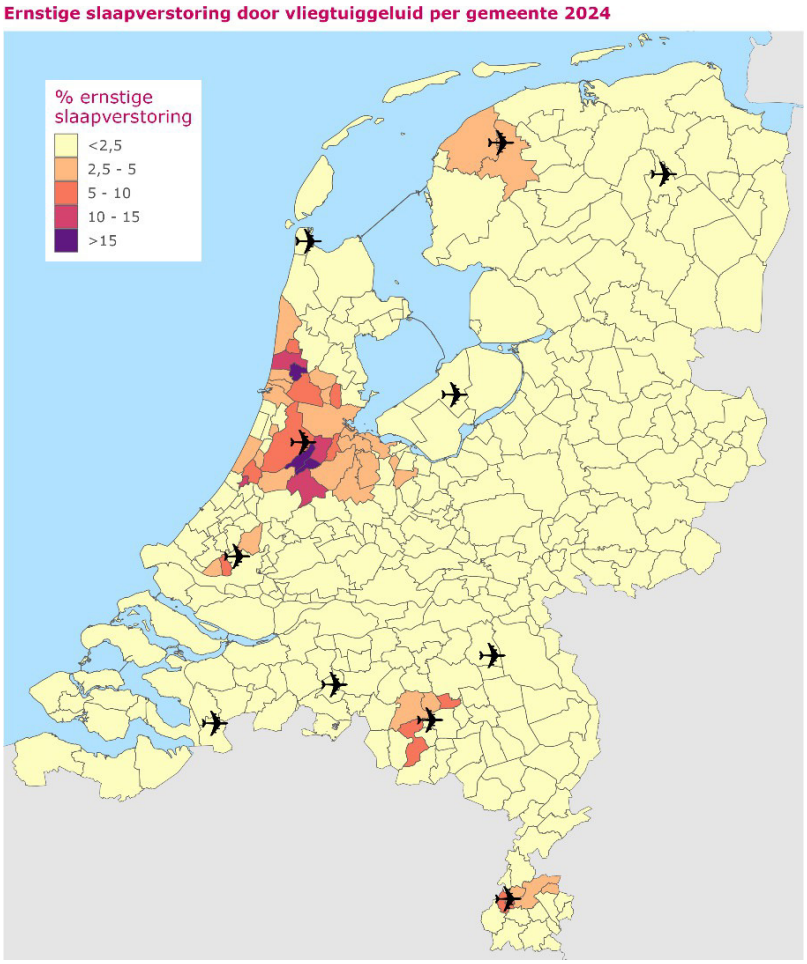
Er worden alleen blootstellingen getoond van gemeenten die onderdeel zijn van tenminste één studiegebied binnen de huidige rapportage. De locaties van de luchthavens zijn in zwart aangegeven.

Figuur 3.3. Relatie tussen het percentage ernstige hinder van vliegtuiggeluid per gemeente op basis van de Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024 en de mediaanblootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}) per gemeente van deelnemers aan de Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024.



De kleur en vorm van de datapunten geven weer van welke type luchtvaart het geluid afkomt. De gestreepte lijn geeft een trendlijn plus betrouwbaarheidsinterval weer van de samenhang.

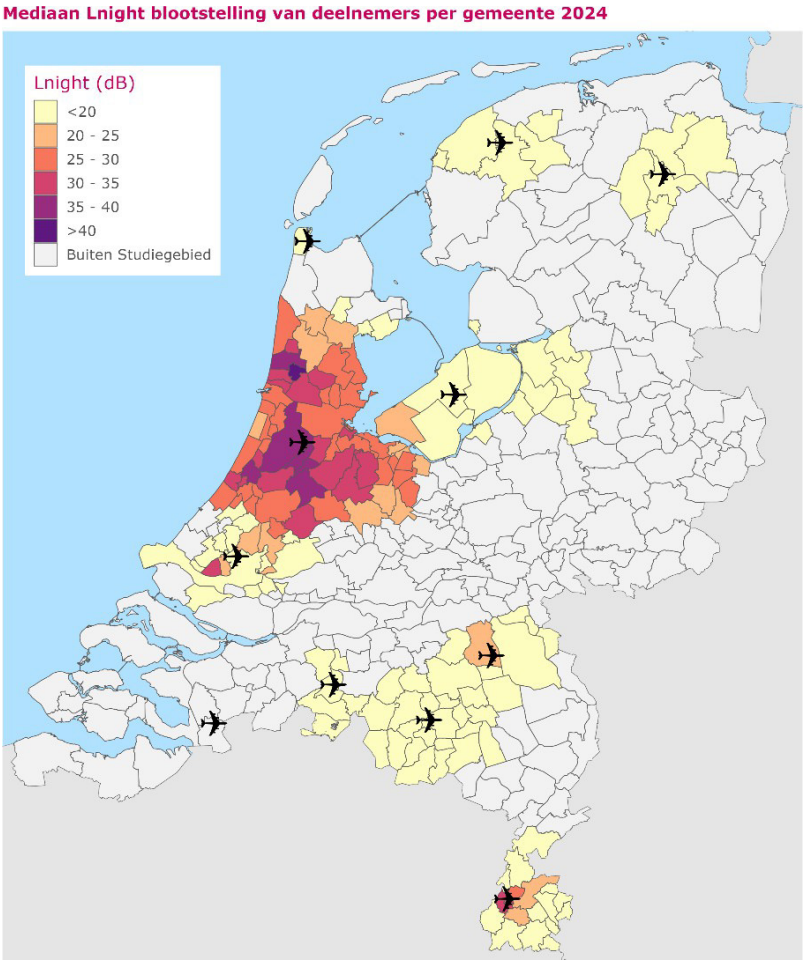
Figuur 3.4 Ernstige slaapverstoring door vliegtuiggeluid per gemeente op basis van de Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024.



De percentages zijn populatie-gewogen op basis van de wegingsfactoren, zodat ze vertegenwoordigend zijn voor alle personen van achttien jaar en ouder binnen de gemeente.[9] De locaties van de luchthavens zijn in zwart aangegeven.

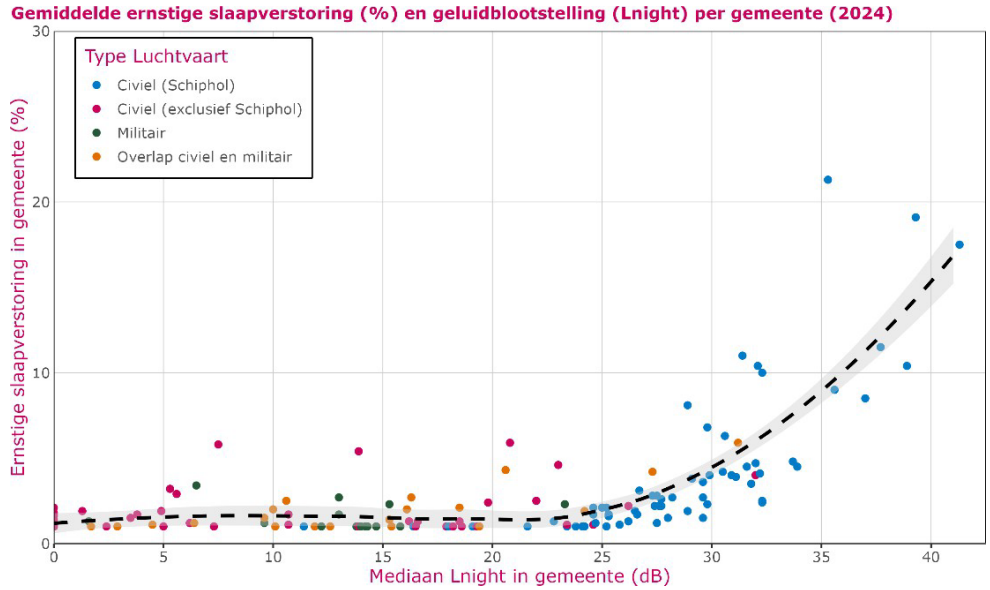
[9] De percentages kunnen afwijken van de percentages die gepresenteerd zijn op https://www.vzinfo.nl/buurtatlas. In dit rapport zijn de populatie gewogen gemiddelden weergegeven per gemeenten. Op de buurtatlas zijn de percentages gebaseerd op een modelmatige schatting met SMAP. Hierover staat meer uitgelegd op: https://www.vzinfo.nl/bronnen-methoden-en-achtergronden/schattingen-per-gemeente-wijk-buurt

Figuur 3.5 De mediaan van de blootstelling aan nachtelijk vliegtuiggeluid (in L_{night}) per gemeente van deelnemers aan de Gezondheidsmonitor 2024.



Er worden alleen blootstellingen getoond van gemeenten die onderdeel zijn van minstens één studiegebied binnen de huidige rapportage. De locaties van de luchthavens zijn in zwart aangegeven.

Figuur 3.6 Relatie tussen het percentage ernstige slaapverstoring van vliegtuiggeluid per gemeente op basis van de Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024 en de mediaanblootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{night}) per gemeente van deelnemers aan de Gezondheidsmonitor Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024.



De kleur en vorm van de datapunten geven weer van welke type luchtvaart het geluid komt. De gestreepte lijn geeft een trendlijn plus betrouwbaarheidsinterval weer van de relatie.

4 BR-relaties per luchthaven

Dit hoofdstuk geeft de BR-relaties per luchthaven weer en maakt vergelijkingen tussen eerder opgestelde BR-relaties uit 2002 en 2020.

4.1 Burgerluchthavens

4.1.1 Schiphol Airport

Het studiegebied van Schiphol Airport heeft het grootste aantal deelnemers, waarbij het percentage ernstig gehinderden in het studiegebied 9,5 procent was en het percentage ernstig slaapverstoorden 5,0 procent.

Figuur 4.1 toont de BR-relatie tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (uitgedrukt in L_{den}, berekend met het Doc29-rekenmodel) rondom Schiphol Airport. Hier wordt zowel een categorisch model (met 5-dB stappen) als een BR-relatie dat gebaseerd is op het logistische regressiemodel met spline-functie getoond. Dit model heeft een betere modelfit dan het logistische regressiemodel zonder spline-functie en komt meer overeen met het categorische model. De genoemde verschillen tussen de logistische regressiemodellen met en zonder spline waren wel klein. Naast de BR-relatie is in de figuur ook de blootstellingsverdeling aan geluid van deelnemers binnen het studiegebied weergegeven (grijze vlakken).

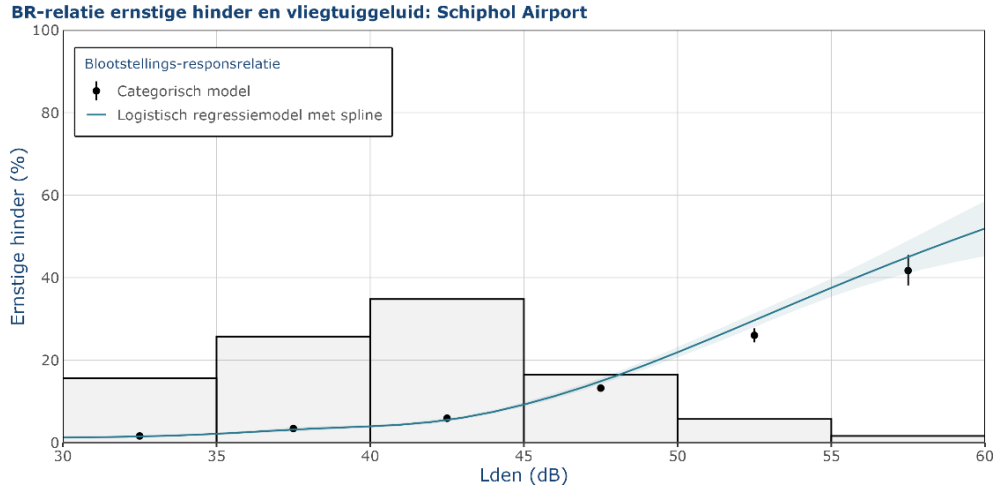
Tabel 4.2 toont de voorspellingen op basis van het categorisch model in meer detail. De hinderschattingen van het categorisch model en het logistische regressiemodel met spline komen zeer sterk met elkaar overeen. Alleen bij de hogere blootstellingsgroepen (tussen de 50 en 55 dB) is er een afwijking te zien, waarbij de continue spline-BR-relatie meer ernstige hinder voorspelt. Het aantal deelnemers binnen deze groepen is wel beperkt. Slechts 1,8 procent van de deelnemers had een blootstelling van >55 dB. Het toepassingsbereik van de BR-relatie voor ernstige hinder voor Schiphol Airport is 30 dB tot 60 dB.

Binnen zowel het categorische model als het logistische regressiemodel met spline is er een afvlakking te zien voor de hoeveelheid hinder bij geluidblootstellingen van 50 dB en hoger. Het percentage ernstige hinder neemt hier minder sterk toe bij toenemende blootstelling. De relatie tussen ernstige hinder en geluidblootstelling lijkt daardoor non-lineair te zijn. En het gebruik van de op het logistische regressiemodel zonder spline gebaseerde BR-relatie voorspelt daardoor meer ernstige hinder bij hogere geluidblootstellingen. Daarom wordt aangeraden om gebruik te maken van de op het spline-model gebaseerde BR-relatie, maar de verschillen tussen de BR-relaties zijn zoals aangegeven beperkt. In **Bijlage 3** zijn beide BR-relaties beschikbaar.

In **Figuur 4.2** is op dezelfde manier de BR-relatie weergegeven voor ernstige slaapverstoring en nachtelijk vliegtuiggeluid (in L_{night}, berekend met het Doc29-model). Het percentage ernstige slaapverstoring neemt duidelijk toe bij een stijging in de blootstelling. **Tabel 4.2** toont de details van het categorische model voor ernstige slaapverstoring en

nachtelijke vliegtuiggeluid. Het voorgestelde toepassingsbereik van de BR-relatie voor ernstig slaapverstoring voor Schiphol Airport is 22-48 dB. De gegevens van beide BR-relaties (op basis van logistisch regressiemodel met en zonder spline) zijn opgenomen in **Bijlage 3** en de formule van BR-relatie in **Bijlage 2** (**Tabel B2.3**).

Figuur 4.1 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met het rekenmodel Doc29 voor Schiphol Airport) rondom Schiphol Airport.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer en is gebaseerd op een logistisch regressiemodel met een spline-functie. Het gekleurde vlak aan weerszijden van deze de lijn representeert het betrouwbaarheidsinterval van de BR-relatie. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van het categorische model. Ze representeren de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (30-60 dB) van de BR-relatie.

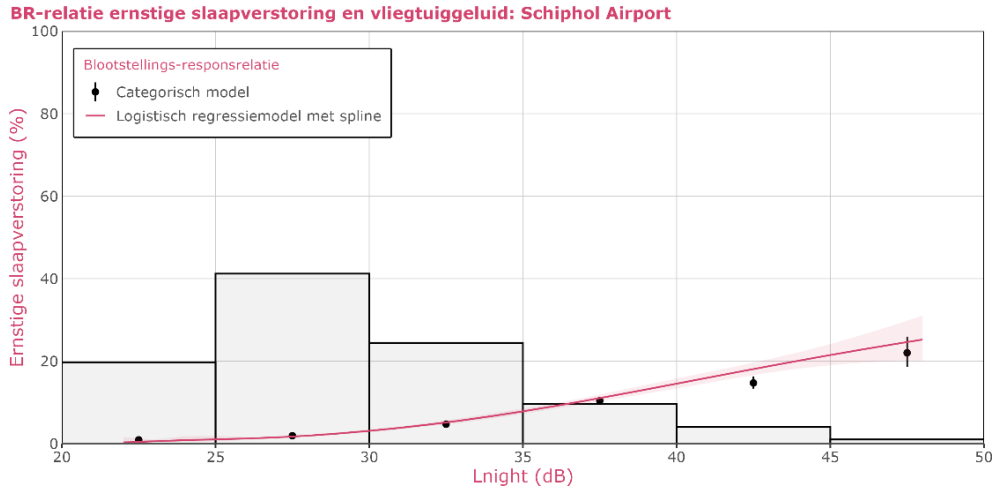
Tabel 4.1 Hinderschatting voor Schiphol Airport op basis van categorisch model

Blootstellingsgroep[1]	**Gemiddelde blootstelling L_{den}[2]**	**Aantal**	**Aandeel in populatie (%)[3]**	**Aantal EH**	**Schatting EH Model (95% BI)**
< 35 dB	32,9	15.426	15,6	276	1,6 (1,4 - 1,9)
35 - 40 dB	38,1	25.421	25,7	957	3,4 (3,0 - 3,8)
40 - 45 dB	42,5	34.429	34,8	2.671	5,9 (5,5 - 6,2)
45 - 50 dB	47,0	16.336	16,5	2.797	13,2 (12,4 - 13,9)
50 - 55 dB	52,1	5.603	5,7	1.844	26,0 (24,3 - 27,7)
55 - 60 dB	56,9	1.575	1,6	747	41,7 (38,1 - 45,5)
> 60 dB	61,4	210	0,2	118	48,0 (37,8 - 58,4)

1. De 5-dB blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB- waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep uitgedrukt als L_{den}.
3. Het aandeel (%) van de groep in de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Figuur 4.2 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige slaapverstoring en blootstelling aan vliegtuiggeluid (Lnight, berekend met het Doc29- rekenmodel) rondom Schiphol Airport.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer en is gebaseerd op een logistisch regressiemodel met een spline-functie. Het gekleurde vlak aan weerszijden van deze lijn representeert het betrouwbaarheidsinterval van de BR-relatie. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van het categorische model. Ze representeren de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (22-48 dB) van de BR-relatie.

Tabel 4.2 Slaapverstoringschatting voor Schiphol Airport op basis van categorisch model

Blootstellingsgroep[1]	**Gemiddelde blootstelling L_{night}[2]**	**Aantal**	**Aandeel in populatie (%)[3]**	**Aantal ES**	**Schatting ES Model (95% BI)**
< 25 dB	23,6	18.462	19,7	158	0,9 (0,7 – 1,1)
25 - 30 dB	27,7	38.599	41,2	955	1,9 (1,7 - 2,1)
30 - 35 dB	32,1	22.886	24,4	1.316	4,7 (4,3 - 5,1)
35 - 40 dB	37,1	8.955	9,6	1.204	10,4 (9,6 - 11,3)
40 - 45 dB	42,0	3.772	4,0	739	14,7 (13,3 - 16,3)
45 - 50 dB	46,8	901	1,0	264	22,0 (18,6 - 25,9)
> 50 dB	51,3	64	0,1	25	39,2 (25,6 - 54,8)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB- waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep uitgedrukt in Lnight.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: ES = ernstige slaapverstoring, 95%BI = 95%- betrouwbaarheidsinterval.

4.1.2 Rotterdam The Hague Airport

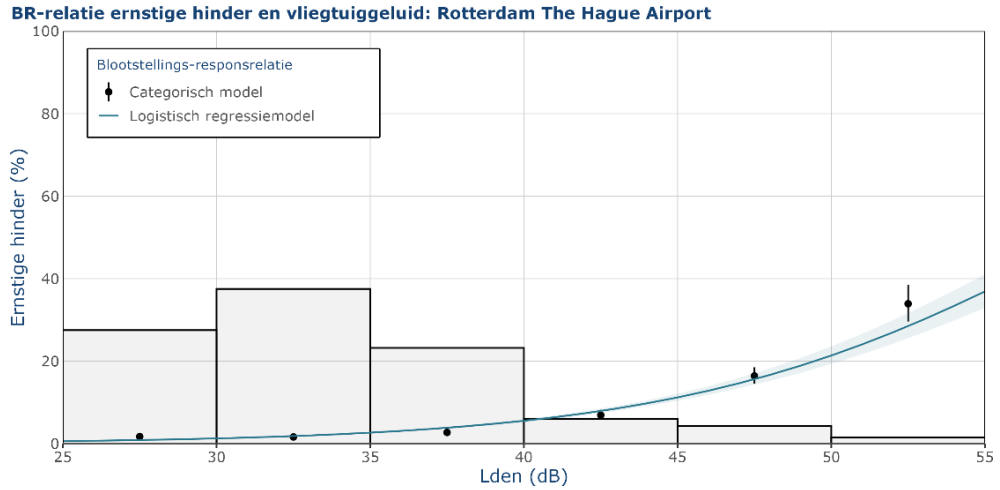
Binnen het vastgestelde studiegebied van Rotterdam The Hague Airport waren er 42.169 deelnemers aan de GMVO 2024. Het percentage ernstige hinder (3,6%) en ernstige slaapverstoring (2,0%) door vliegtuiggeluid was laag. Door het aanzienlijke aantal deelnemers waren er wel genoeg deelnemers met ernstige hinder en/of ernstige slaapverstoring om BR-relaties op te stellen.

Figuur 4.3 laat de BR-relatie zien tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (uitgedrukt in L_{den}, berekend met het NRM) rondom Rotterdam The Hague Airport. De figuur toont zowel een categorisch (met 5-dB-stappen) als een op een logistisch regressiemodel gebaseerde BR-relatie. Het verloop van de op een logistisch regressiemodel met en zonder spline-functie gebaseerde BR-relaties, kwamen zeer sterk met elkaar overeen. Daarom is gekozen om uit te gaan van de BR-relatie op basis van een model zonder spline, ondanks de lagere AIC-waarde (Zie **Tabel B2.3** en **Bijlage 3**). Naast de BR-relatie is ook de blootstellingsverdeling van deelnemers binnen het gebruikte studiegebied weergeven. **Tabel 4.3** toont de voorspellingen op basis van het categorisch model.

De op een categorisch en logistisch regressiemodel gebaseerde BR-relaties komen zeer sterk overeen. Slechts bij de hoogste blootstellingsgroep (> 55 dB) is er een verschil te zien. Dit is echter gebaseerd op een zeer klein aantal deelnemers. Daarom is het toepassingsbereik van de BR-relatie voor Rotterdam The Hague Airport op 25-55 dB gezet. Daarbuiten is de onzekerheid van de voorspelling te groot.

In **Figuur 4.4** is op dezelfde manier de BR-relatie weergegeven voor ernstige slaapverstoring en nachtelijk vliegtuiggeluid (in L_{night}, berekend met het NRM). **Tabel 4.4** toont de details van het categorische model. Vanaf L_{night}-blootstellingen van 25 dB neemt het percentage slaapverstoring duidelijk toe bij toenemende L_{night}-waarden. De onzekerheid in de slaapverstoringschatting neemt echter ook toe. Daarom is het toepassingsbereik van de BR-relatie voor slaapverstoring op 5-43 dB. Dit bereik bevat zeer lage (gemodelleerde) L_{night}-waarden, maar dat heeft geen invloed op de functionaliteit van de relatie. De BR-relatie voorspeelt immers amper slaapverstoring voor deze waarden. Voor blootstellingen boven de 43 dB wordt wel degelijk een hogere mate van slaapverstoring geschat (**Tabel 4.4**). Gezien de lage aantallen kan dit niet nauwkeurig genoeg geschat worden op basis van de BR-relatie.

Figuur 4.3 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) rondom Rotterdam The Hague Airport.



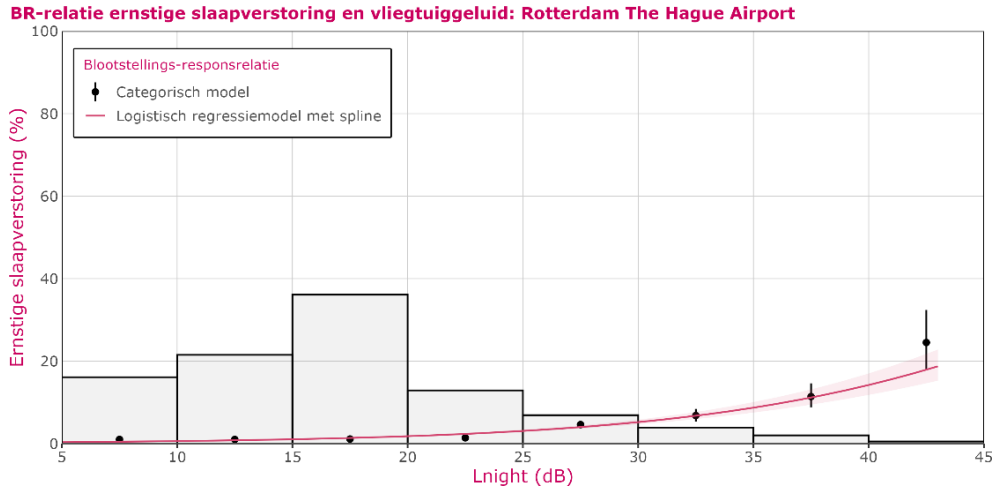
De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer en is gebaseerd op een logistisch regressiemodel. Het gekleurde vlak aan weerszijden van deze de lijn representeert het betrouwbaarheidsinterval van de BR-relatie. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van het categorische model. Ze representeren de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (25-55 dB) van de BR-relatie.

Tabel 4.3 Hinder schatting voor Rotterdam The Hague Airport op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{den}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH	Schatting EH Model (95% BI)
< 30 dB	27,4	10.604	27,5	175	1,7 (1,4 - 2,1)
30 - 35 dB	32,5	14.458	37,5	247	1,6 (1,3 - 1,8)
35 - 40 dB	36,9	8.955	23,2	277	2,7 (2,3 - 3,1)
40 - 45 dB	42,1	2.315	6,0	166	6,9 (5,8 - 8,2)
45 - 50 dB	47,2	1.641	4,3	316	16,4 (14,5 - 18,5)
50 - 55 dB	51,8	573	1,5	211	33,9 (29,6 - 38,5)
> 55 dB	56,4	28	0,1	12	44,1 (25,5 - 64,5)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB- waarde
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep uitgedrukt als L_{den}.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.
   Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Figuur 4.4 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige slaapverstoring en blootstelling aan vliegtuiggeluid ($L_{night,}$ berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) rondom Rotterdam The Hague Airport.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (5-43 dB) van de BR-relatie.

Tabel 4.4 Slaapverstoring schatting voor Rotterdam The Hague Airport op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[1]	**Gemiddelde blootstelling L_{night}[2]**	**Aantal**	**Aandeel in populatie (%)[3]**	**Aantal ES**	**Schatting ES Model (95% BI)**
< 10 dB	8,3	5.625	16,1	44	1,0 (0,7 - 1,4)
10 - 15 dB	12,5	7.522	21,5	66	1,0 (0,7 - 1,3)
15 - 20 dB	17,7	12.636	36,1	153	1,1 (0,9 - 1,3)
20 - 25 dB	21,6	4.527	12,9	73	1,4 (1,1 - 1,9)
25 - 30 dB	27,2	2.427	6,9	127	4,6 (3,7 - 5,5)
30 - 35 dB	32,4	1.382	3,9	103	6,8 (5,4 - 8,4)
35 - 40 dB	37,0	692	2,0	82	11,4 (8,8 - 14,6)
> 40 dB	41,5	187	0,5	47	24,5 (18,0 - 32,4)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB- waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in $L_{night.}$
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: ES = ernstige slaapverstoring, 95%BI = 95%- betrouwbaarheidsinterval.

4.1.3 Groningen Airport Eelde

In het studiegebied rondom Groningen Airport Eelde werd weinig ernstige hinder (1,6%) en ernstige slaapverstoring (0,5%) gerapporteerd. Ook was de blootstelling aan vliegtuiggeluid, uitgedrukt in zowel L_{den} als L_{night}, laag. In combinatie met het beperkt aantal deelnemers (n = 5.020) in het studiegebied, zorgt dit ervoor dat er geen betrouwbare BR-relaties opgesteld konden worden voor Groningen Airport Eelde, voor zowel ernstige hinder als ernstige slaapverstoring. Er worden dan ook geen BR-relaties weergegeven. En **Tabel 4.5** geeft slechts de schattingen weer van het categorische model. Hierbij konden de daadwerkelijk hinder-aantallen per 5 dB-groep niet getoond worden vanwege te lage aantallen (n <10). De hinderschatting van het categorische model geeft aan dat de meeste ernstige hinder te verwachten is in de hoger blootgestelde populaties (>40 dB L_{den}).

Tabel 4.5 Hinderschatting Groningen Airport Eelde op basis van categorisch model

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{den}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH[4]	Schatting EH Model (95% BI)
< 30 dB	27,5	3.254	68,2	-	0,8 (0,4 - 1,6)
30 - 35 dB	32,5	1.056	22,1	-	0,5 (0,2 - 1,3)
35 - 40 dB	37,1	269	5,6	-	2,0 (0,9 - 4,2)
40 - 45 dB	42,4	129	2,7	-	16,3 (10,2 - 25,2)
> 45 dB	47,6	60	1,3	-	10,0 (4,6 - 20,6)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB- waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt als $L_{den.}$
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.
4. De aantallen waren te laag (<10) om vrijgegeven te mogen worden van het CBS.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

4.1.4 Lelystad Airport

Onder de deelnemers binnen het studiegebied van Lelystad Airport is weinig ernstige hinder (1,9%) en ernstige slaapverstoring (0,7%) door vliegtuiggeluid gerapporteerd. De blootstelling aan vliegtuiggeluid was ook laag, waarbij het grootste deel van de deelnemers een L_{den}-blootstelling had onder de 20 dB. Hierdoor was het voor Lelystad Airport niet mogelijk om een BR-relatie op te stellen. Wel laat **Tabel 4.6** zien dat de ernstige hinder pas stijgt bij L_{den}-waardes van boven de 35 dB. Dit heeft slechts impact op een klein gedeelte (8,6% van de studiepopulatie rondom Lelystad Airport) van de deelnemers binnen het studiegebied. Verder laat **Figuur 3.2** zien dat de hoogste blootstelling aan geluid plaatsvindt in de gemeente Almere, die ook binnen de invloed van het studiegebied van Schiphol Airport ligt. Hierdoor is vermoedelijk een deel van de ervaren ernstige hinder toe te schrijven aan deze luchthaven.

Tabel 4.6 Hinder schatting Lelystad Airport, op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{den}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH[4]	Schatting EH Model (95% BI)
< 20 dB	17,5*	10.509	83,2	-	1,4 (1,1 - 1,8)
20 - 25 dB	22,7	556	4,4	-	1,0 (0,4 - 2,2)
25 - 30 dB	27,1	319	2,5	-	1,0 (0,5 - 2,2)
30 - 35 dB	32,1	175	1,4	-	0,6 (0,2 - 1,8)
35 - 40 dB	37,8	816	6,5	-	4,6 (3,0 – 7,0)
> 40 dB	41,5	259	2,1	-	5,5 (2,8 - 10,5)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB- waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt als L_{den}.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.
4. De aantallen waren te laag (<10) om vrijgegeven te mogen worden van het CBS.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

4.2 Civiele/ militaire luchthavens

4.2.1 Vliegbasis Eindhoven

Het studiegebied van Vliegbasis Eindhoven heeft 25.254 deelnemers, waarbij 3.6 procent van de deelnemers ernstige hinder en 2,2 procent ernstige slaapverstoring rapporteerde. Ook was de blootstelling aan nachtelijk vliegtuiggeluid laag onder de deelnemers. Slechts 3,5 procent van de deelnemers had een L_{night}-blootstelling die hoger was dan 20 dB.

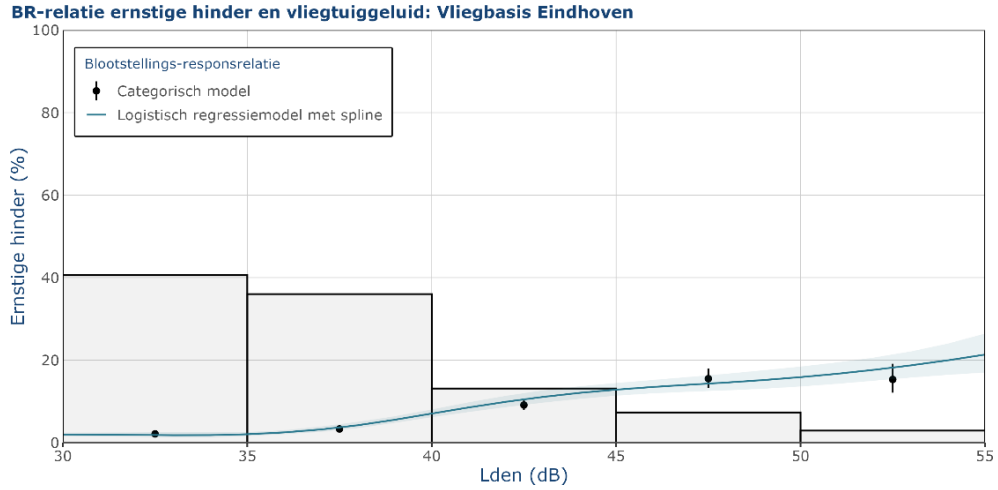
Figuur 4.5 toont de BR-relatie op basis van een logistisch regressiemodel met spline (het model met de beste modelfit) tussen ernstige hinder van vliegtuiggeluid en de blootstelling aan vliegtuiggeluid (in L_{den}) rondom Vliegbasis Eindhoven. **Tabel 4.7** geeft de voorspellingen van het categorische model weer. Het percentage ernstige hinder neemt duidelijk toe bij een stijging in de blootstelling, maar er lijkt wel een plateau op te treden bij de groep deelnemers in de blootstellingcategorieën 45-50 dB en 50-55 dB. Dit omdat binnen deze blootstellingsgroepen vergelijkbare percentages ernstige hinder worden verwacht. De hoogst blootgestelde groep (> 55 dB) heeft wel duidelijk de meeste ernstige hinder, maar ook de grootste onzekerheid. Het betreft hier dan ook een zeer kleine groep deelnemers. Het toepassingsbereik van de BR-relatie voor ernstige hinder rondom Vliegbasis Eindhoven is 30-55 dB.

Aangezien Vliegbasis Eindhoven voor zowel civiele als militaire vliegbewegingen gebruikt wordt, zijn er ook BR-relaties opgesteld op basis van de Kosteneenheid. Deze worden getoond in **Figuur 4.6** en **Tabel 4.8.** De verwachte hinder neemt geleidelijk toe met de blootstelling in Ke. Alleen bij de hoogste blootstellingsgroep (> 30 Ke) wijken de voorspellingen van elkaar af. Dit betreft echter wel een zeer kleine groep deelnemers (n = 23). Het toepassingsbereik van deze BR-relatie is -20 tot 30 Ke.

Rondom Vliegbasis Eindhoven was er sprake van zowel een laag percentage ernstige slaapverstoring als een lage L_{night} belasting. Hierdoor was het niet mogelijk om een betrouwbare BR-relatie op te stellen voor ernstige slaapverstoring. In **Tabel 4.9** wordt wel het aantal ernstig slaapverstoorden per 5 dB L_{night} groep getoond, en de schattingen van

het categorisch model. Hieruit is op te maken dat er wel enige mate van ernstig slaapverstoring wordt gerapporteerd rondom Vliegbasis Eindhoven, maar dat niet direct te relateren valt aan de L_{night} blootstelling van de deelnemers.

Figuur 4.5 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}), berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) in het studiegebied rondom Vliegbasis Eindhoven.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer en is gebaseerd op een logistisch regressiemodel met een spline-functie. Het gekleurde vlak aan weerszijden van deze lijn representeert het betrouwbaarheidsinterval van de BR-relatie. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van het categorische model. Ze representeren de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (30-55 dB) van de BR-relatie.

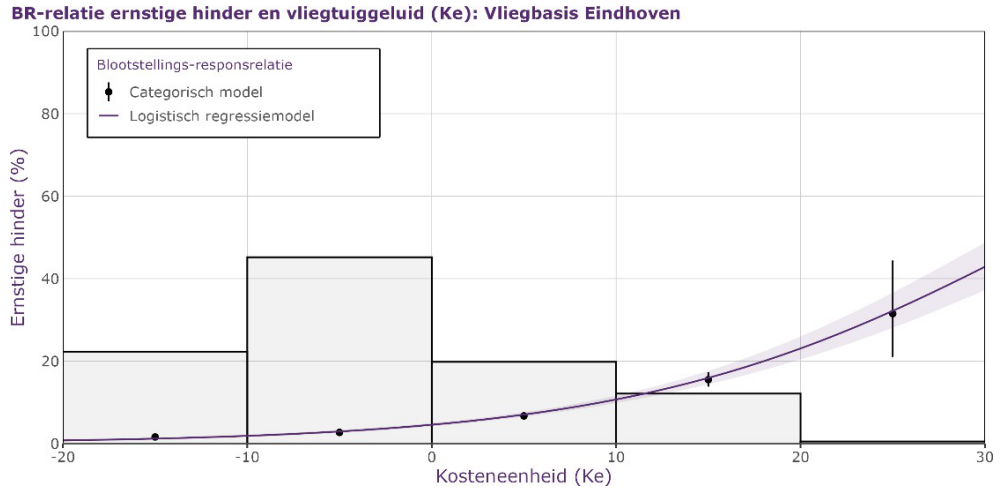
Tabel 4.7 Hinderschatting voor Vliegbasis Eindhoven, op basis van categorisch model, blootstelling in L_{den}.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{den}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH	Schatting EH Model (95% BI)
< 35 dB	33,2	9.357	40,6	234	2,1 (1,7 - 2,5)
35 - 40 dB	37,0	8.289	36,0	332	3,3 (2,9 - 3,9)
40 - 45 dB	42,2	3.026	13,1	355	9,1 (7,9 - 10,4)
45 - 50 dB	47,3	1.692	7,3	308	15,5 (13,2 - 18)
50 - 55 dB	51,1	663	2,9	121	15,3 (12,1 - 19,1)
> 55 dB	58,5	30	0,1	16	43,9 (25,1 - 64,7)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB- waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt als L_{den}.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Figuur 4.6 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (Kosteneenheid, berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) rondom Vliegbasis Eindhoven.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 10 Ke-groep. De laagste en hoogste 10 Ke-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 10 Ke-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 10 Ke-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (-20-30 Ke) van de BR-relatie.

Tabel 4.8 Hinderschatting voor Vliegbasis Eindhoven, op basis van categorisch model, blootstelling in Kosteneenheid.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling Ke[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH	Schatting EH Model (95% BI)
< -10 Ke	-12,4	5.132	22,3	102	1,6 (1,2 - 2,1)
-10 - 0 Ke	-5,5	10.430	45,2	345	2,7 (2,3 - 3,2)
0 - 10 Ke	4,6	4.559	19,8	346	6,7 (5,8 - 7,7)
10 - 20 Ke	13,9	2.800	12,1	524	15,5 (13,8 - 17,3)
20 - 30 Ke	23,2	113	0,5	39	31,5 (21 - 44,4)
> 30 Ke	35,0	23	0,1	10	37,7 (18,8 - 61,2)

1. De 10-Ke-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB-waarde
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in Kosteneenheid,
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.
Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Tabel 4.9 Slaapverstoring schatting voor Vliegbasis Eindhoven, op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{night}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal ES	Schatting ES Model (95% BI)
< 5 dB	2,5	13.767	63,8	172	0,9 (0,8 - 1,2)
5 - 10 dB	6,7	3.566	16,5	115	2,5 (2,0 - 3,2)
10 - 15 dB	12,0	1.655	7,7	68	3,6 (2,6 - 4,8)
15 - 20 dB	17,2	1.850	8,6	83	3,3 (2,4 - 4,5)
> 20 dB	22,0	756	3,5	34	4,5 (2,7 - 7,5)

1. De 5-dB blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB- waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{night}
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.
Afkortingen: ES = Ernstige slaapverstoring, 95%BI: 95%- betrouwbaarheidsinterval.

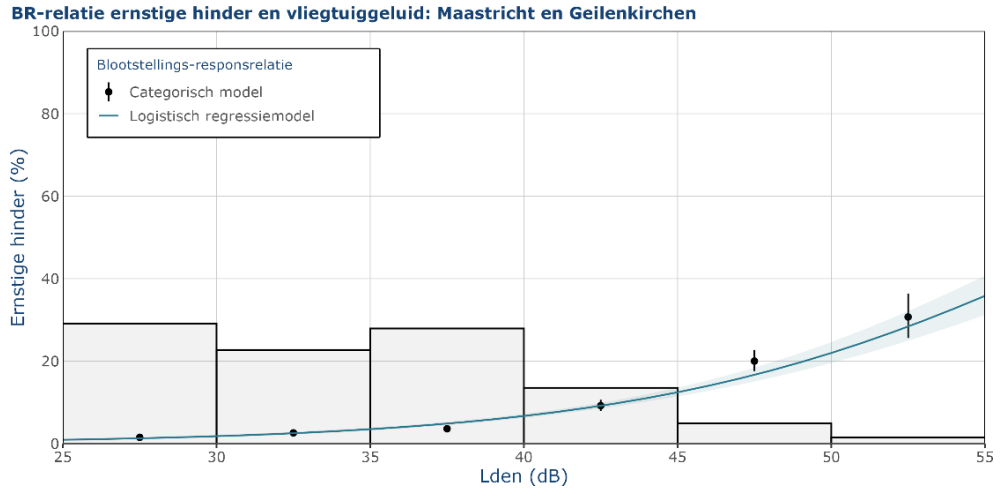
4.2.2 Maastricht & Geilenkirchen

De studiegebieden van Maastricht Aachen Airport en Vliegbasis Geilenkirchen overlapten zoveel, dat er een gecombineerde BR-relatie is opgesteld voor beide luchthavens. Onder de deelnemers (n = 25.389) binnen dit gebied was er 5,5 procent ernstige hinder en 2,1 procent ernstige slaapverstoring.

Figuur 4.7 en **Tabel 4.10** tonen de BR-relatie voor ernstige hinder en vliegtuiggeluid uitgedrukt in L_{den}. Ook hier neemt het percentage ernstige hinder toe bij een stijgende blootstelling aan vliegtuiggeluid. De categorische en logistische regressiemodellen, zowel met als zonder spline, geven vrijwel dezelfde voorspellingen. Daarom er voor de BR-relatie voor Maastricht en Geilenkirchen uitgegaan van het logistisch regressiemodel zonder spline. Het toepassingsbereik van de BR-relatie is 25-55 dB.

De L_{night}-blootstelling in het studiegebied was laag, waarbij slechts 12 procent van de deelnemers een blootstelling had van > 25 dB. Desondanks werd er wel degelijk ernstige slaapverstoring gerapporteerd bij deelnemers met een L_{night}-blootstelling lager dan 25 dB-L_{night}. Zoals te zien in **Tabel 4.11** neemt het percentage ernstige slaapverstoring toe bij een hogere L_{night}-geluidbelasting. Het was echter niet mogelijk om een BR-relatie af te leiden voor ernstige slaapverstoring.

Figuur 4.7 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) in het gecombineerde studiegebied van vliegbasis Geilenkirchen en Maastricht Aachen Airport.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (25-55 dB) van de BR-relatie.

Tabel 4.10 Hinderschatting voor Maastricht & Geilenkirchen, op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{den}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH	Schatting EH Model (95% BI)
< 25 dB	27,5	6.656	29,1	112	1,5 (1,1 - 1,9)
30 - 35 dB	32,8	5.195	22,7	159	2,6 (2,1 - 3,1)
35 - 40 dB	37,6	6.396	27,9	263	3,6 (3,1 - 4,2)
40 - 45 dB	42,0	3.090	13,5	297	9,2 (7,9 - 10,6)
45 - 50 dB	47,2	1.128	4,9	242	20,0 (17,6 - 22,7)
50 - 55 dB	51,8	351	1,5	115	30,7 (25,6 - 36,4)
> 55 dB	56,7	78	0,3	38	48,0 (36,4 - 59,8)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{den}.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Tabel 4.11 Slaapverstoringschatting voor Maastricht & Geilenkirchen, op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{night}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal ES	Schatting ES Model (95% BI)
< 5 dB	1,5	4.204	19,8	42	0,9 (0,6 - 1,3)
5 - 10 dB	7,5	3.788	17,8	44	1,1 (0,8 - 1,5)
10 - 15 dB	12,6	3.099	14,6	34	1,0 (0,6 - 1,6)
15 - 20 dB	17,4	4.213	19,8	111	2,0 (1,6 - 2,5)
20 - 25 dB	22,2	3.463	16,3	79	1,9 (1,5 - 2,5)
25 - 30 dB	27,2	1.395	6,6	50	4,1 (2,7 - 6,1)
30 - 35 dB	31,9	780	3,7	48	5,1 (3,7 - 6,8)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{night}.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: ES = Ernstige slaapverstoring, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

4.2.3 Maritiem Vliegkamp De Kooy

Het studiegebied van Maritiem Vliegkamp De Kooy omvat slechts één gemeente (Den Helder), waardoor er maar een beperkt aantal deelnemers zijn (n = 1.401). Het percentage ernstige hinder (1,1%) en ernstige slaapverstoring (0,7%) onder de deelnemers is laag. Hierdoor was er niet genoeg informatie om een BR-relatie of hinderschattingen op te stellen voor zowel ernstige hinder als ernstige slaapverstoring.

4.3 Militaire luchthavens

4.3.1 Vliegbasis Gilze-Rijen

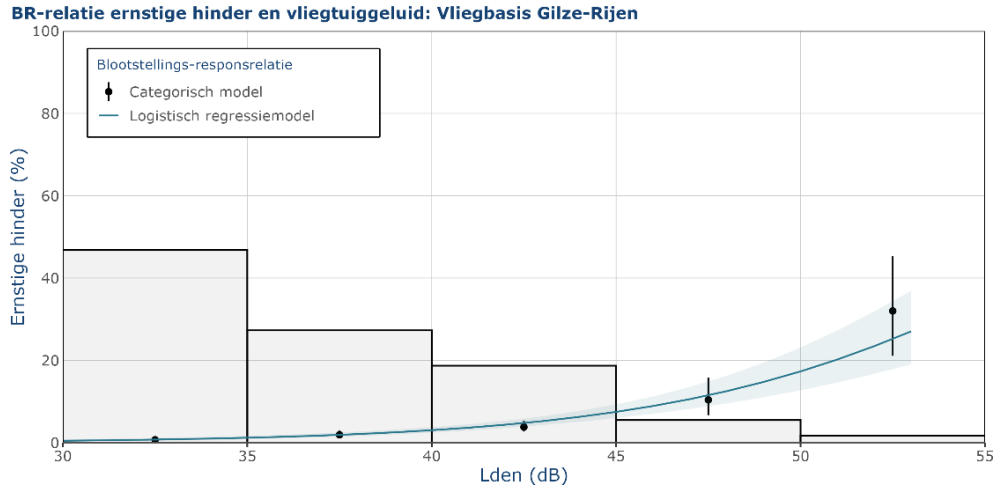
Binnen het studiegebied rondom Vliegbasis Gilze-Rijen ervaarde 2,8 procent van de deelnemers (n= 6.024) ernstige hinder en 1,1 procent ernstige slaapverstoring door het geluid van vliegverkeer.

Figuur 4.8 en **Tabel 4.12** tonen de BR-relaties tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid (in L_{den}) en ernstige hinder rondom Vliegbasis Gilze-Rijen. Beide BR-relaties laten hetzelfde beeld zien: het percentage ernstige hinder neemt toe bij een hogere geluidbelasting. Bij L_{den}-waarden van >45 is er een sterkere toename in de mate van ernstige hinder te zien. Het heeft de voorkeur om de BR-relatie te gebruiken die is gebaseerd op het logistische regressiemodel zonder spline-functie. Er is namelijk geen duidelijk verschil in modelfit en het verloop van de op de logistisch regressiemodellen met en zonder spline gebaseerde BR-relaties.
Het toepassingsbereik van de BR-relatie voor ernstige hinder door vliegtuiggeluid rondom Vliegbasis Gilze-Rijen is 30-53 dB.

Figuur 4.9 en **Tabel 4.13** tonen de BR-relaties voor ernstige hinder en geluidblootstelling, uitgedrukt in de Kosteneenheid. Ook hier is een duidelijke relatie te zien tussen blootstelling en hoeveelheid ernstige hinder. Het toepassingsbereik van deze BR-relatie is -20-20 Ke. Daarbij moet wel de opmerking worden geplaatst dat er boven de 20 Ke ook duidelijk meer hinder voorkomt. Door het lage aantal deelnemers met zulke hoge blootstelling was het echter niet mogelijk om blootstellingen van boven de 20 Ke op te nemen in de BR-relatie vanwege de grote onzekerheid van de voorspelling.

Binnen het studiegebied van Vliegbasis Gilze-Rijen was er weinig ernstige slaapverstoring en ook een lage nachtelijk blootstelling aan vliegtuiggeluid. **Tabel 4.14** toont dat er geen duidelijke relatie is te zien tussen blootstelling en het percentage ernstige slaapverstoring. Alleen in de hoogst L_{night}-blootstellingsgroep (> 25dB L_{night}) is er duidelijk meer ernstige slaapverstoring dan in de overige blootstellingsgroepen.

Figuur 4.8 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}), berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) in studiegebied rondom vliegbasis Gilze-Rijen.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (30-53 dB) van de BR-relatie.

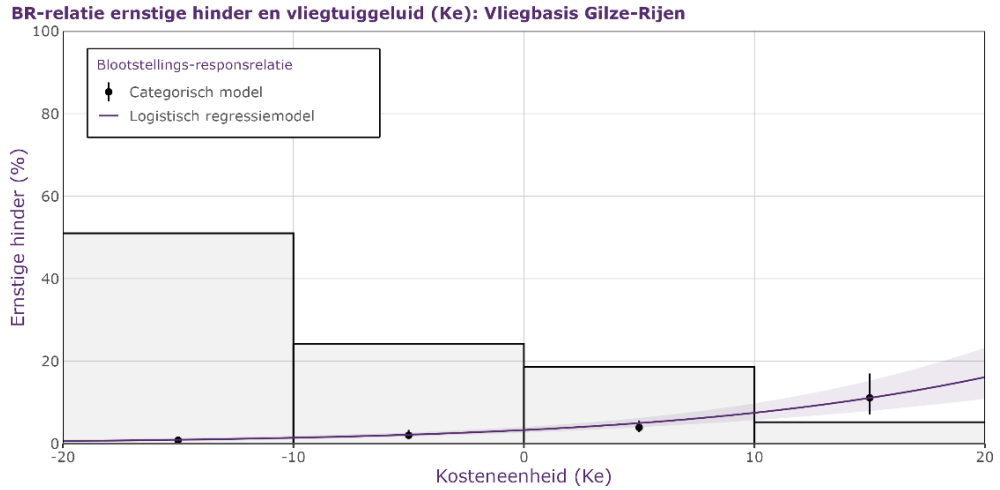
Tabel 4.12 Hinderschatting voor Vliegbasis Gilze-Rijen, op basis van categorisch model, blootstelling in L_{den}.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{den}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH	Schatting EH Model (95% BI)
< 35 dB	31,1	2.568	46,8	25	0,7 (0,4 - 1,1)
35 - 40 dB	37,2	1.497	27,3	31	1,9 (1,2 - 2,9)
40 - 45 dB	42,2	1.025	18,7	39	3,8 (2,7 - 5,4)
45 - 50 dB	47,2	3.04	5,5	30	10,4 (6,7 - 15,8)
> 50 dB	51,7	92	1,7	27	32,0 (21,1 - 45,3)

1. De 5-dB blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB-waarde
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep uitgedrukt in L_{den}.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Figuur 4.9 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (Kosteneenheid, berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) in studiegebied van vliegbasis Gilze-Rijen.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 10 Ke-groep. De laagste en hoogste 10 Ke-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 10 Ke-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 10 Ke-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (-20-20 Ke) van de BR-relatie.

Tabel 4.13 Hinderschatting voor Vliegbasis Gilze-Rijen, op basis van categorisch model, blootstelling in Kosteneenheid.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling Ke[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH	Schatting EH Model (95% BI)
< -10 Ke	-15,0	2.796	51,0	30	0,8 (0,5 - 1,2)
-10 - 0 Ke	-5,6	1.325	24,2	29	2,0 (1,3 - 3,3)
0 - 10 Ke	4,5	1.021	18,6	43	3,9 (2,8 - 5,6)
10 - 20 Ke	13,4	288	5,2	28	11,1 (7,1 – 17,0)
>20 Ke	22,8	56	1,0	22	43,7 (29,1 - 59,5)

1. De 10-Ke-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven Ke-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in Kosteneenheid.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval, Ke=Kosteneenheid.

Tabel 4.14 Slaapverstoringschatting voor Vliegbasis Gilze-Rijen, op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{night}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal ES[4]	Schatting ES Model (95% BI)
< 5 dB	2,5	1.479	29,9	-	0,4 (0,2 - 1)
5 - 10 dB	7,7	690	13,9	-	1,4 (0,6 - 2,8)
10 - 15 dB	12,7	1.063	21,5	-	0,7 (0,3 - 1,7)
15 - 20 dB	17,5	921	18,6	-	1,0 (0,4 - 3)
20 - 25 dB	22,3	518	10,5	-	1,9 (0,8 - 4,6)
> 25 dB	26,3	281	5,7	-	5,4 (2,6 - 10,9)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{night}.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.
4. De aantallen waren te laag (<10) om vrijgegeven te mogen worden van het CBS.

Afkortingen: ES = Ernstige slaapverstoring, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

4.3.2 Vliegbasis Volkel

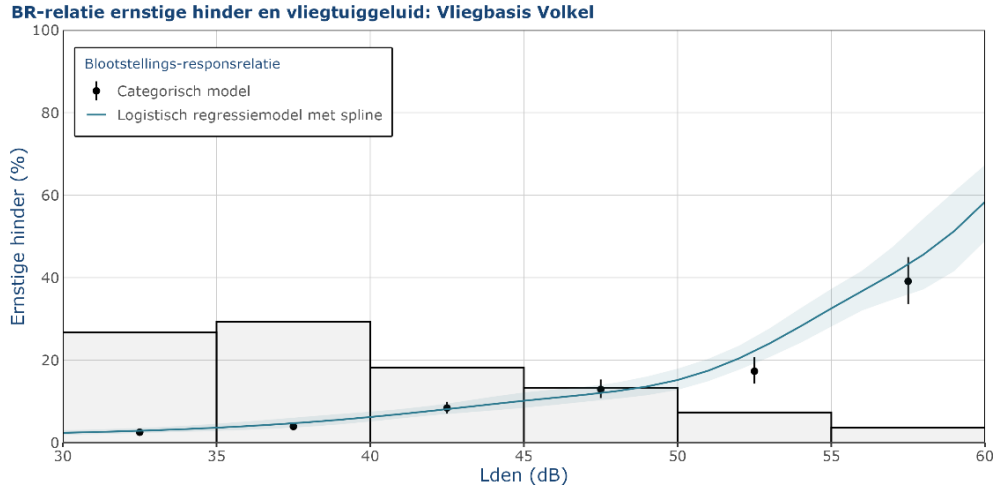
Binnen het studiegebied rondom Vliegbasis Volkel ervaarde 9,8 procent van de deelnemers (n=13.882) ernstige hinder en 1,9 procent ernstige slaapverstoring door het geluid van vliegverkeer.

Figuur 4.10 en **Tabel 4.15** tonen de BR-relaties tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid (in L_{den}) en ernstige hinder rondom Vliegbasis Volkel. Hierin is te zien dat de hinder toeneemt bij een hogere geluidbelasting. De op het logistisch regressiemodel met spline gebaseerde BR-relatie had een betere modelfit en komt beter overeen met het categorische model. Daarom heeft het gebruik van deze BR-relatie de voorkeur. Het toepassingsbereik van deze BR-relatie is 30-60 dB.

Figuur 4.11 en **Tabel 4.16** geven de BR-relaties op basis van de Kosteneenheid weer voor Vliegbasis Volkel. Ook hier is er een duidelijke relatie tussen blootstelling en hinder te zien.

Binnen het studiegebied van Vliegbasis Volkel was er weinig ernstige slaapverstoring en ook een lage nachtelijk blootstelling aan vliegtuiggeluid. **Tabel 4.17** laat de uitkomsten zien van het categorische model. Daarbij was slechts bij de hoogst blootgestelde groep (>30 dB L_{night}) een duidelijk verhoogde kans op ernstige slaapverstoring te zien.

Figuur 4.10 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) in studiegebied van Vliegbasis Volkel.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer en is gebaseerd op een logistisch regressiemodel met een spline-functie. Het gekleurde vlak aan weerszijden van deze de lijn representeert het betrouwbaarheidsinterval van de BR-relatie. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van het categorische model. Ze representeren de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (30-60 dB) van de BR-relatie.

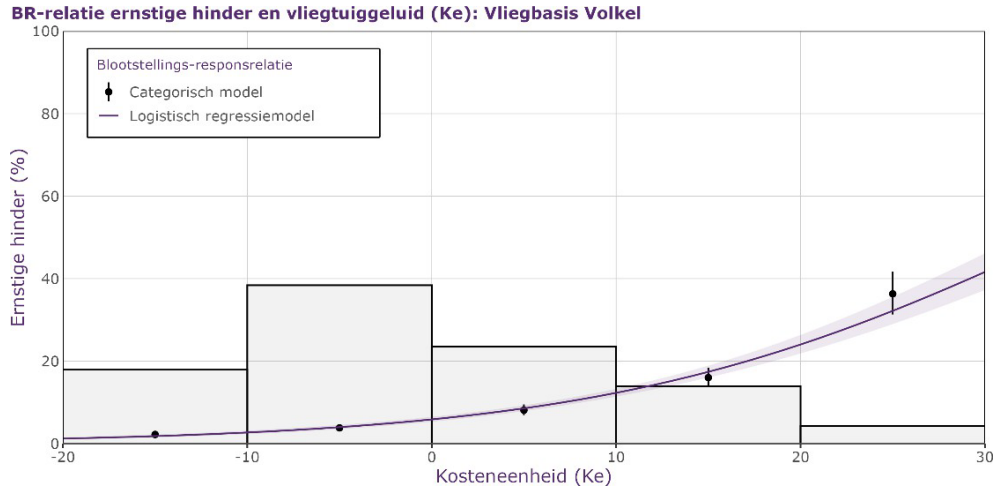
Tabel 4.15 Hinderschatting voor Vliegbasis Volkel op basis van categorisch model, blootstelling in L_{den}.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{den}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH	Schatting EH Model (95% BI)
< 30 dB	30,4	3.358	26,7	89	2,5 (1,9 - 3,2)
35 - 40 dB	37,4	3.682	29,3	183	3,9 (3,3 - 4,8)
40 - 45 dB	42,6	2.293	18,2	212	8,4 (7,0 - 9,9)
45 - 50 dB	47,6	1.675	13,3	226	12,9 (10,8 - 15,3)
50 - 55 dB	51,6	919	7,3	193	17,3 (14,3 - 20,7)
55 - 60 dB	57,1	456	3,6	218	39,1 (33,6 - 45)
> 60 dB	62,4	191	1,5	110	55,5 (46,5 - 64,1)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{den}.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Figuur 4.11 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (Kosteneenheid, met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) in studiegebied van vliegbasis Volkel.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 10 Ke-groep. De laagste en hoogste 10 Ke-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 10 Ke-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 10 Ke-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (-20-40 Ke) van de BR-relatie.

Tabel 4.16 Hinderschatting voor Vliegbasis Volkel, op basis van categorisch model, blootstelling in Kosteneenheid.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling (Ke)[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH	Schatting EH Model (95% BI)
< -10 Ke	-15,0	2.257	17,9	58	2,2 (1,5 - 3,1)
-10 - 0 Ke	-4,9	4.823	38,4	215	3,8 (3,2 - 4,5)
0 - 10 Ke	4,6	2.956	23,5	272	8,1 (6,9 - 9,5)
10 - 20 Ke	13,9	1.753	13,9	312	16,0 (13,8 - 18,4)
20 - 30 Ke	25,1	538	4,3	233	36,3 (31,3 - 41,7)
> 30 Ke	34,5	247	2,0	141	53,8 (46,0 - 61,4)

1. De 10-Ke-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven Ke-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in Kosteneenheid.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Tabel 4.17 Slaapverstoringschatting voor Vliegbasis Volkel, op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{night}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal ES	Schatting ES Model (95% BI)
< 10 dB	7,5	2.149	18,2	20	0,8 (0,5 - 1,4)
10 - 15 dB	13,1	4.274	36,2	35	0,9 (0,6 - 1,5)
15 - 20 dB	16,9	2.988	25,3	70	2,0 (1,5 - 2,7)
20 - 25 dB	22,3	1.485	12,6	41	3,0 (1,9 - 4,8)
25 - 30 dB	26,9	638	5,4	27	1,4 (0,9 - 2,2)
> 30 dB	31,7	266	2,3	34	12,0 (8,2 - 17,1)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in $L_{night.}$
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: ES= Ernstige slaapverstoring, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

4.3.3 Vliegbasis Leeuwarden

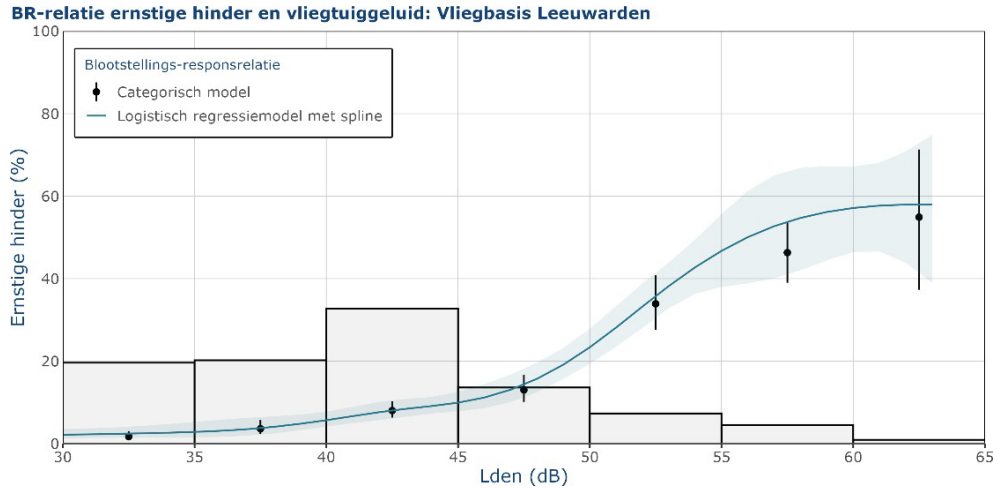
Binnen het studiegebied rondom Vliegbasis Leeuwarden ervaarde 11,6 procent van de deelnemers (n=5.163) ernstige hinder en 2,5 procent ernstige slaapverstoring door het geluid van vliegverkeer. Dit betreft het hoogste percentage ernstige gehinderden van de studiegebieden rondom de Nederlandse luchthavens binnen dit onderzoek.

Figuur 4.12 toont de BR-relatie tussen ernstige hinder van vliegtuiggeluid en blootstelling aan vliegtuiggeluid (in L_{den}) rondom Vliegbasis Leeuwarden. De getoonde BR-relatie is gebaseerd op een logistisch regressiemodel met spline-functie. Dit model had de betere modelfit en week aanzienlijk af van de BR-relatief op basis van een regulier logistisch regressiemodel. In **Tabel 4.18** staan de voorspellingen van het categorische model. De hinder neemt duidelijk toe bij een stijging in de blootstelling. Het toepassingsbereik van de BR-relatie voor ernstige hinder door vliegtuiggeluid rondom Vliegbasis Leeuwarden is 30-63 dB.

De BR-relaties tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid uitgedrukt in de Kosteneenheid staan in **Figuur 4.13. Tabel 4.19** laat de hinderschattingen op basis van categorische model zien. Ook hier is een duidelijke relatie zichtbaar tussen geluidbelasting en ernstige hinder.

Binnen het studiegebied van Vliegbasis Leeuwarden was er weinig ernstige slaapverstoring (n=113) en ook een lage nachtelijk blootstelling aan vliegtuiggeluid, omdat er niet structureel in de nacht gevlogen wordt. **Tabel 4.20** laat de uitkomsten zien van het categorische model.

Figuur 4.12 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) in het studiegebied van Vliegbasis Leeuwarden.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een spline-blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (30-63 dB) van de BR-relatie.

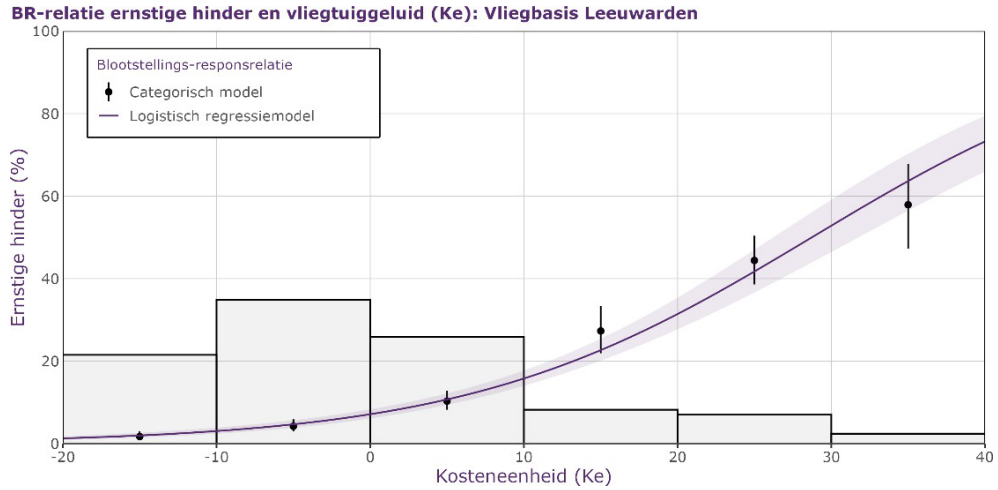
Tabel 4.18 Hinderschatting voor Vliegbasis Leeuwarden, op basis van categorisch model, blootstelling in L_{den}.

Blootstellingsgroep[1]	**Gemiddelde blootstelling[2]**	**Aantal**	**Aandeel in populatie (%)[3]**	**Aantal EH**	**Schatting EH Model (95% BI)**
< 35 dB	30,2	947	19,6	21	1,7 (1,0 – 3,0)
35 - 40 dB	37,6	978	20,2	39	3,6 (2,3 - 5,7)
40 - 45 dB	42,8	1.580	32,7	119	8,0 (6,3 - 10,3)
45 - 50 dB	46,9	656	13,6	97	13,0 (10,1 - 16,7)
50 - 55 dB	52,3	352	7,3	122	33,9 (27,6 - 40,8)
55 - 60 dB	56,7	218	4,5	100	46,3 (39,0 - 53,7)
60 - 65 dB	63,2	42	0,9	24	54,9 (37,3 - 71,3)
> 65 dB	69,3	66	1,4	41	59,0 (45,0 - 71,7)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven dB-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval, Ke=Kosteneenheid.

Figuur 4.13 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (Kosteneenheid, berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) in studiegebied van vliegbasis Leeuwarden.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 10 Ke-groep. De laagste en hoogste 10 Ke-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 10 Ke-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 10 Ke-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (-20-40 Ke) van de BR-relatie.

Tabel 4.19 Hinderschatting voor Vliegbasis Leeuwarden op basis van categorisch model, blootstelling in Kosteneenheid.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling Ke[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH	Schatting EH Model (95% BI)
< -10 Ke	-15,0	1.041	21,5	23	1,7 (1,0 – 3,0)
-10 - 0 Ke	-4,3	1.691	34,9	75	4,2 (3,0 - 5,9)
0 - 10 Ke	3,5	1.254	25,9	125	10,3 (8,2 - 12,8)
10 - 20 Ke	15,3	398	8,2	117	27,3 (21,9 - 33,4)
20 - 30 Ke	23,5	339	7,0	153	44,4 (38,6 - 50,4)
> 30 Ke	42,6	116	2,4	70	57,9 (47,3 - 67,8)

1. De 10-Ke-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven Ke-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in Kosteneenheid.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval, Ke=Kosteneenheid.

Tabel 4.20 Slaapverstoringschatting voor Vliegbasis Leeuwarden, op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{night}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal ES[4]	Schatting ES Model (95% BI)
< 5 dB	2,5	2.132	46,9	-	0,7 (0,4 - 1,3)
5 - 10 dB	7,4	1.020	22,4	-	2,6 (1,6 - 4,2)
10 - 15 dB	12,5	521	11,5	-	2,1 (1,1 - 4,1)
15 - 20 dB	17,4	490	10,8	-	3,7 (1,9 - 7,2)
20 - 25 dB	21,8	311	6,8	-	6,3 (3,1 - 12,1)
> 25 dB	27,7	71	1,6	-	6,3 (1,9 - 18,8)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven 5 dB-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{night}.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.
4. De aantallen waren te laag (<10) om van het CBS vrijgegeven te mogen worden.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

4.3.4 Vliegbasis Woensdrecht

Binnen het studiegebied rondom Vliegbasis Woensdrecht ervaarde 1,5 procent van de deelnemers (n=3.346) ernstige hinder door het geluid van vliegverkeer. Op Vliegbasis Woensdrecht zijn geen nachtvluchten. Het was niet mogelijke om een BR-relatie af te leiden voor ernstige hinder. **Tabel 4.21** geeft de voorspellingen van het categorische model weer. De schatting van ernstig hinder neemt toe bij een stijging in de blootstelling. Het aantal ernstig gehinderden is niet weergegeven per blootstellingsgroep, omdat de aantallen te laag waren.

Tabel 4.21 Hinderschatting voor Vliegbasis Woensdrecht, op basis van categorisch model, blootstelling in L_{den}.

Blootstellingsgroep[1]	Gemiddelde blootstelling L_{den}[2]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[3]	Aantal EH[4]	Schatting EH Model (95% BI)
< 25 dB	27,5	1.922	53,1	-	0,8 (0,5 - 1,4)
30 - 35 dB	32,7	721	19,9	-	1,4 (0,4 - 4,6)
35 - 40 dB	37,8	752	20,8	-	1,1 (0,6 - 2)
> 40 dB	41,8	223	6,2	-	7,1 (4 - 12,2)

1. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven 5 dB-waarde.
2. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{den}.
3. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.
4. De aantallen waren te laag (<10) om van het CBS vrijgegeven te mogen worden.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

4.4 Samengevoegde BR-relaties

De voorgaande BR-relaties waren specifiek per luchthaven, of waren van een toepassing op een gecombineerd studiegebied van twee luchthavens (Maastricht en Geilenkirchen). Het was soms door kleine aantallen en/of te weinig spreiding niet altijd mogelijk om voor een specifieke luchthaven een BR-relatie af te leiden. Daarom hebben we ook de gegevens van de verschillende luchthavens samengevoegd en op basis daarvan een BR-relatie opgesteld. Hierbij is Schiphol Airport is niet meegenomen, omdat: **a)** deze luchthaven qua geluidbelasting zeer afwijkt van de andere burgerluchthavens en: **b)** de geluidbelasting van

deze luchthaven met een ander rekenmodel (Doc29) is bepaald, dan de andere luchthavens. De volgende BR-relaties zijn afgeleid:

1) BR-relaties op basis van de gegevens van deelnemers die rondom Nederlandse burgerluchthavens zijn samengenomen, waarbij de geluidbelasting is berekend met NRM, namelijk: Rotterdam The Hague Airport, Groningen Airport Eelde, Vliegbasis Eindhoven, Maastricht/Geilenkirchen en Lelystad Airport. Vliegbasis Eindhoven wordt hier meegenomen als burgerluchthaven, maar formeel is dit een militaire vliegbasis met civiel medegebruik. Het aandeel civiel vliegverkeer is hier groot en daarom meer vergelijkbaar met de overige burgerluchthavens. Voor Maastricht/ Geilenkirchen is dezelfde afweging gemaakt. Hierbij is alleen gebruikgemaakt van geluidbelasting in L_{den} (ernstige hinder).
2) BR-relaties waarbij de gegevens van deelnemers die rondom alle militaire Nederlandse luchthavens zijn samengenomen, namelijk: Vliegbasis Gilze-Rijen, Maritiem Vliegkamp De Kooy, Vliegbasis Volkel, Vliegbasis Woensdrecht en Vliegbasis Leeuwarden. Op Maritiem Vliegkamp De Kooy is ook sprake van civiel medegebruik.

4.4.1 Burgerluchthavens

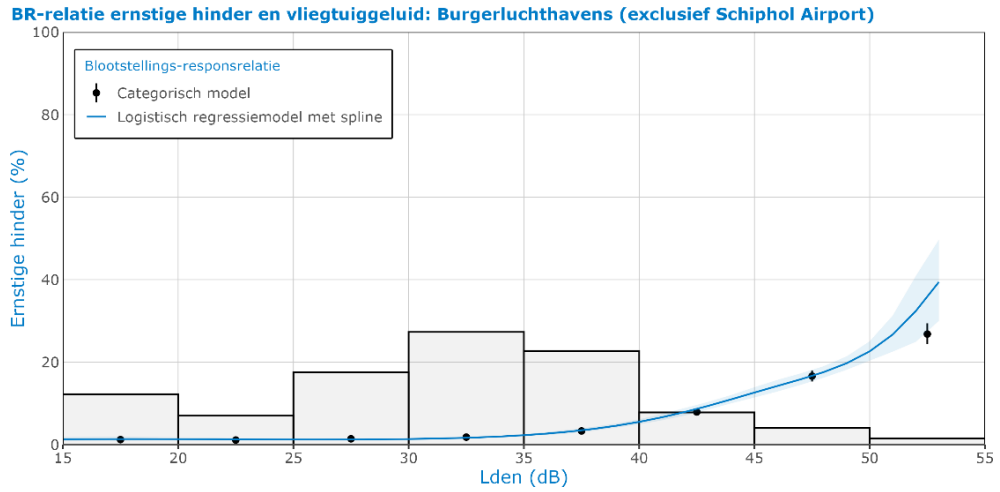
Er zijn BR-relaties opgesteld op basis van alleen de deelnemers die binnen een studiegebied wonen van burgerluchthaven, exclusief Schiphol Airport (n = 113.447, percentage ernstige hinder = 3,9%). Hierbij wordt het studiegebied van Vliegbasis Eindhoven beschouwd als een burgerluchthaven. De BR-relatie wordt getoond in **Figuur 4.14**. Voor deze BR-relatie is de keuze gemaakt om een grotere range van geluidblootstellingen op te nemen als een vertegenwoordiging van burgerluchthavens met een relatief lage geluidbelasting (met name Lelystad Airport en Groningen Eelde Airport). De BR-relatie op basis van het logistische regressiemodel met spline-functie had de betere modelfit en komt beter overeen met de voorspellingen van het categorische model. Pas vanaf blootstellingen van >35 dB is er een toename te zien in hoeveelheid ernstige hinder. Het toepassingsbereik van deze BR-relatie is 15 dB tot 52 dB.

Tabel 4.22 geeft de voorspellingen van ernstige hinder van het categorische model weer voor de burgerluchthavens in dit onderzoek. **Figuur 4.15** maakt een vergelijking tussen de BR-relaties tussen ernstige hinder en L_{den} van de afzonderlijke burgerluchthavens en de gecombineerde BR-relatie. De BR-relaties van de individuele luchthavens komen sterk overeen met de gecombineerde BR-relatie. Alleen de BR-relatie van Vliegbasis Eindhoven wijkt duidelijk af van de andere relaties bij een geluidblootstelling hoger dan 45 dB.

Tabel 4.23 geeft de voorspellingen van het categorische model voor ernstige slaapverstoring weer voor de burgerluchthaven, exclusief Schiphol Airport in dit onderzoek. (n = 103.726, percentage ernstige slaapverstoring = 1,7%). Er kon geen BR-relatie worden opgesteld voor deze groep luchthavens, omdat er weinig nachtvluchten plaatsvonden, en er daardoor een zeer lage L_{night}-geluidblootstelling was. Wel toont het categorisch model dat de meeste ernstige slaapverstoring plaatsvindt bij

de hoogste L_{night}-geluidblootstelling. Ook is vanaf 25 dB L_{night} pas een toename te zien in de het percentage slaapverstoring.

Figuur 4.14 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) binnen de studiegebieden van Nederlandse burgerluchthavens, zonder Schiphol Airport.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (15-52 dB) van de BR-relatie.

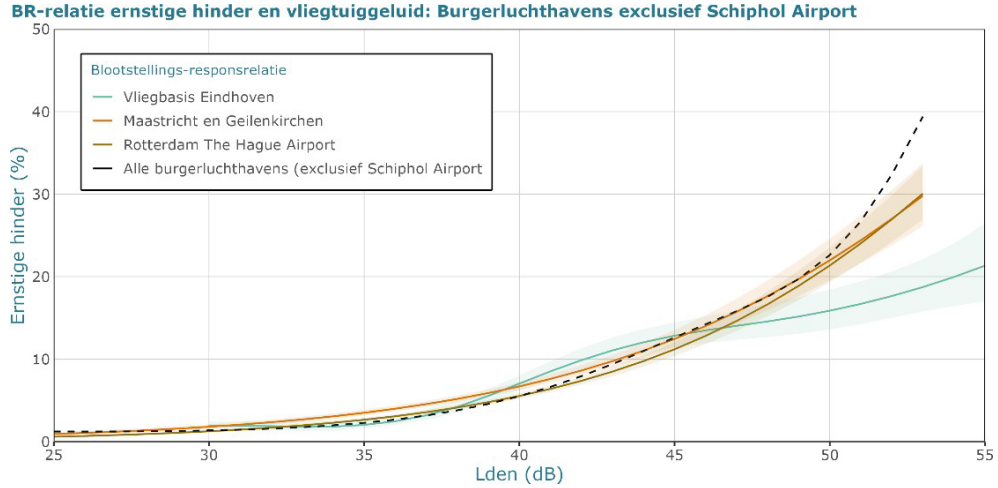
Tabel 4.22 Hinderschatting voor alle burgerluchthavens[1], exclusief Schiphol Airport op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[2]	**Gemiddelde blootstelling L_{den}[3]**	**Aantal**	**Aandeel in populatie (%)[4]**	**Aantal EH**	**Schatting EH Model (%)**
< 20 dB	17,5	13.802	12,2	191	1,2 (0,9-1,6)
20 - 25 dB	23,5	7.963	7	99	1,1 (0,8-1,5)
25 - 30 dB	27,5	19.903	17,5	297	1,4 (1,2-1,6)
30 - 35 dB	32,8	30.967	27,3	665	1,8 (1,6-1,9)
35 - 40 dB	36,9	25.748	22,7	956	3,3 (2,9-3,7)
40 - 45 dB	41,8	88.18	7,8	859	7,9 (7,1-8,8)
45 - 50 dB	47,0	4.515	4	873	16,6 (15,3-18)
>50 dB	51,3	1.731	1,5	514	26,8 (24,4-29,4)

1. Hierbij is Vliegbasis Eindhoven als een burgerluchthavens beschouwd.
2. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven 5 dB-waarde.
3. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{den}.
4. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Figuur 4.15 Blootstelling-responsrelaties (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) voor drie individuele luchthavens (doorgetrokken lijnen) en gecombineerde relatie van Nederlandse burgerluchthavens exclusief Schiphol Airport (onderbroken lijn).



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie van de verschillende civiele luchthavens. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De curves worden alleen getoond voor het toepassingsbereik van de BR-relatie. Voor de BR-relatie van het totale civiele vliegverkeer is er geen betrouwbaarheidsinterval getoond.

Tabel 4.23 Slaapverstoringschatting voor alle burgerluchthavens[1], exclusief Schiphol Airport, op basis van categorisch model.

Blootstellingsgroep[2]	**Gemiddelde blootstelling L_{night}[3]**	**Aantal**	**Aandeel in populatie (%)[4]**	**Aantal ES**	**Schatting ES Model (%)**
< 5 dB	2,5	32.017	30,9	289	0,7 (0,6-0,9)
5 - 10 dB	7,8	16.248	15,7	220	1,2 (1-1,4)
10 - 15 dB	12,6	16.627	16	194	1,1 (0,9-1,3)
15 - 20 dB	17,5	20.788	20	356	1,2 (1,1-1,4)
20 - 25 dB	21,7	9.832	9,5	194	1,5 (1,2-2,0)
25 - 30 dB	26,9	4.718	4,5	198	3,0 (2,5-3,5)
30 - 35 dB	32,0	2.255	2,2	156	6,0 (4,8-7,4)
35 - 40 dB	37,0	1.031	1,0	126	11,2 (9-13,9)
>40 dB	41,2	210	0,2	51	23,5 (17,3-31,0)

1. Hierbij is Vliegbasis Eindhoven als een burgerluchthavens beschouwd.
2. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven 5 dB- waarde.
3. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{den}.
4. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

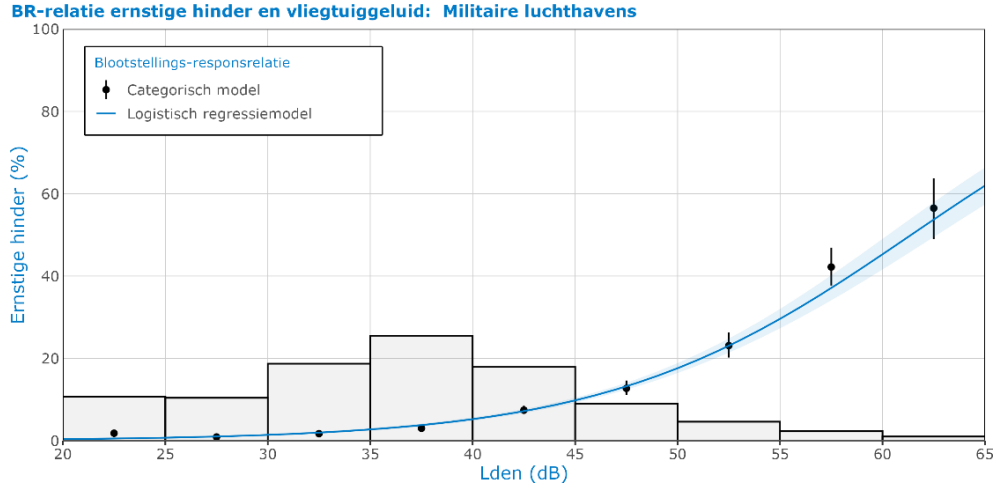
Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

4.4.2 *Militaire luchthavens*

De BR-relatie voor ernstige hinder door vliegtuiggeluid op basis van de deelnemers binnen de studiegebieden van militaire luchthavens (n = 29.685, percentage ernstige hinder = 7,0%) is getoond in **Figuur 4.16**. De gegevens van Vliegbasis Gilze-Rijen, Vliegbasis Leeuwarden, Vliegbasis Volkel, Vliegbasis Woensdrecht en Maritiem Vliegkamp De Kooy zijn hierbij samengenomen. De studiegebieden van Vliegbasis Eindhoven en Geilenkirchen/Maastricht zijn niet meegenomen, omdat het grootste aandeel vliegbewegingen hier civiel vliegverkeer is. In de BR-relatie is duidelijk een hoger percentage ernstig gehinderden te zien als de geluidblootstelling hoger is. **Tabel 4.24** geeft de ernstige hinder voorspellingen van het categorische model weer voor alle militaire luchthavens in dit onderzoek. Een vergelijking van de BR-relaties voor ernstige hinder van de afzonderlijke militaire luchthavens met de samengevoegde BR-relatie is getoond in **Figuur 4.17**. Hierbij wordt per luchthaven de BR-relatie getoond met de modelfit, zoals beschreven in de eerdere paragrafen. De BR-relaties wijken bij hogere geluidblootstelling relatief meer van elkaar af. Er is ook een totale BR-relatie afgeleid op basis van de Kosteneenheid. Deze wordt getoond in **Figuur B2.1** in **Bijlage 2.**

Tabel 4.25 geeft de voorspellingen van het categorische model voor ernstige slaapverstoring weer voor alle militaire luchthavens in dit onderzoek. Daarbij is vooral een stijging is te zien in de hoogste categorie (>30 dB L_{night}). Er is geen BR-relatie afgeleid voor ernstige slaapverstoring en L_{night} voor de militaire luchthavens, omdat er niet structureel in de nacht gevlogen wordt.

Figuur 4.16 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid ($L_{den,}$ berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) binnen de studiegebieden van militaire luchthavens.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 5 dB-groep. De laagste en hoogste 5 dB-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 5 dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (20-65 dB) van de BR-relatie.

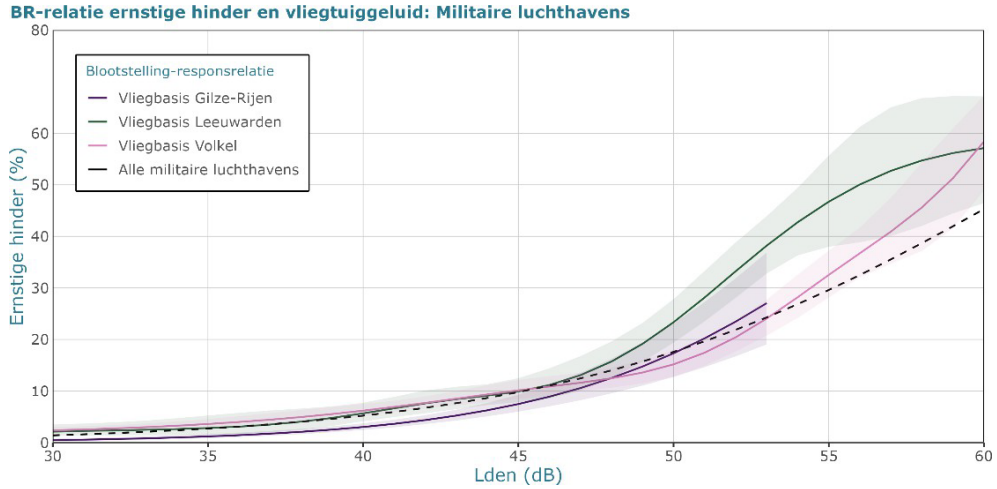
Tabel 4.24 Hinderschatting voor alle militaire luchthavens[1], op basis van categorisch model

Blootstellingsgroep[2]	Gemiddelde blootstelling L_{den}[3]	Aantal	Aandeel in populatie (%)[4]	Aantal EH	Schatting EH Model (%)
< 25 dB	22,5	3.168	10,7	70	1,8 (1,4-2,5)
25 - 30 dB	27,1	3.081	10,4	40	0,9 (0,6-1,5)
30 - 35 dB	32,8	5.561	18,7	106	1,7 (1,3-2,3)
35 - 40 dB	37,4	7.556	25,5	268	3,0 (2,5-3,6)
40 - 45 dB	42,5	5.319	17,9	388	7,4 (6,5-8,5)
45 - 50 dB	47,4	2.657	9,0	355	12,7 (11,1-14,6)
50 - 55 dB	51,8	1.365	4,6	343	23,1 (20,2-26,3)
55 - 60 dB	57,0	678	2,3	319	42,2 (37,7-46,9)
> 60 dB	64,0	300	1,0	175	56,5 (49,0-63,7)

1. Dit bevat de volgende luchthavens: Vliegbasis Gilze-Rijen, Vliegbasis Leeuwarden, Vliegbasis Volkel, Vliegbasis Woensdrecht en Maritiem Vliegkamp De Kooy.
2. De 5-dB-blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven 5 dB-waarde.
3. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{den}.
4. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: EH = Ernstige hinder, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Figuur 4.17 Blootstelling-responsrelaties (BR-relaties) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) voor drie individuele studiegebieden van militaire luchthavens (doorgetrokken lijnen) en gecombineerde relatie van alle militaire Nederlandse luchthavens (gestreepte lijn).



De gekleurde lijnen geven de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. Voor de gecombineerde relatie is er geen betrouwbaarheidsinterval getoond.

Tabel 4.25 Slaapverstoringschatting voor alle militaire luchthavens, op basis van categorisch model.*

Blootstellingsgroep	Gemiddelde blootstelling L_{night}	Aantal	Aandeel in populatie (%)	Aantal ES	Schatting ES Model (%)
< 5 dB	< 5	4.591	19,0	33	0,6 (0,4-0,9)
5 - 10 dB	8,0	4.702	19,4	73	1,5 (1,1-2,1)
10 - 15 dB	13,0	6.461	26,7	58	1,0 (0,7-1,4)
15 - 20 dB	17,1	4.727	19,5	98	2,1 (1,5-2,8)
20 - 25 dB	22,2	2.432	10,1	76	3,5 (2,4-5,1)
25 - 30 dB	26,8	990	4,1	43	3,2 (1,8-5,7)
> 30 dB	31,7	277	1,1	35	10,6 (6,9-16,0)

1. Dit bevat de volgende luchthavens: Vliegbasis Gilze-Rijen, Vliegbasis Leeuwarden, Vliegbasis Volkel, Vliegbasis Woensdrecht en Maritiem Vliegkamp De Kooy.
2. De 5-dB blootstellingsgroep, de laagste en hoogste groep, bevat alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling dan de aangegeven 5 dB-waarde.
3. De gemiddelde blootstelling van alle deelnemers binnen de groep, uitgedrukt in L_{night}.
4. Het procentuele aandeel van de groep aan de totale studiepopulatie.

Afkortingen: ES = Ernstige slaapverstoring, 95%BI: 95%-betrouwbaarheidsinterval.

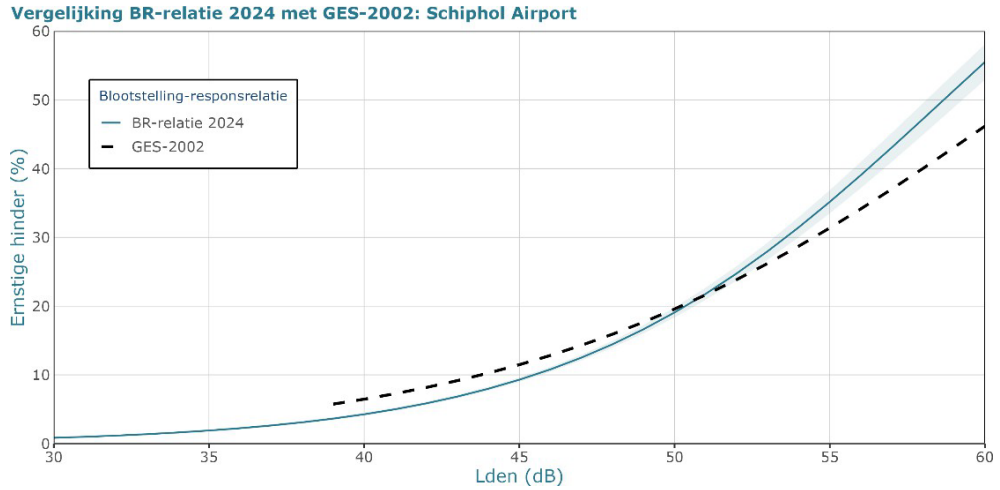
4.5 Vergelijking BR-relatie 2024 met BR-relatie GES 2002 Schiphol Airport

4.5.1 Schiphol Airport

De GES 2002 BR-relatie (Breugelmans *et al*., 2005) voor Schiphol Airport is vergeleken met de nieuw opgestelde BR-relaties in dit rapport voor de burgerluchthavens. Hier wordt de vergelijking alleen gemaakt met de BR-relatie op basis van het logistische regressiemodel met een continue blootstelling zonder spline-functie. Dit omdat de GES 2002-relatie destijds gebaseerd was op hetzelfde type model. Voor de vergelijking met Schiphol Airport is een aangepaste versie van de GES 2002 BR-relatie gebruikt, omdat deze destijds gebruikmaakte van L_{den}-waarden, die gebaseerd zijn op het NRM en niet op het Doc29-model (Heblij en Derei, 2019).

De BR-relatie van Schiphol Airport in 2024 heeft een ander verloop dan de 2002 BR-relatie, zoals te zien is in **Figuur 4.18**. Bij L_{den}-waarden van < 50 dB voorspelt de 2024- minder ernstige hinder dan de 2002-curve. Maar bij blootstellingen hoger dan 50 dB wordt er juist meer ernstige hinder voorspeld.

Figuur 4.18 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid ($L_{den,}$ berekend met het Doc29-rekenmodel) rondom Schiphol Airport.

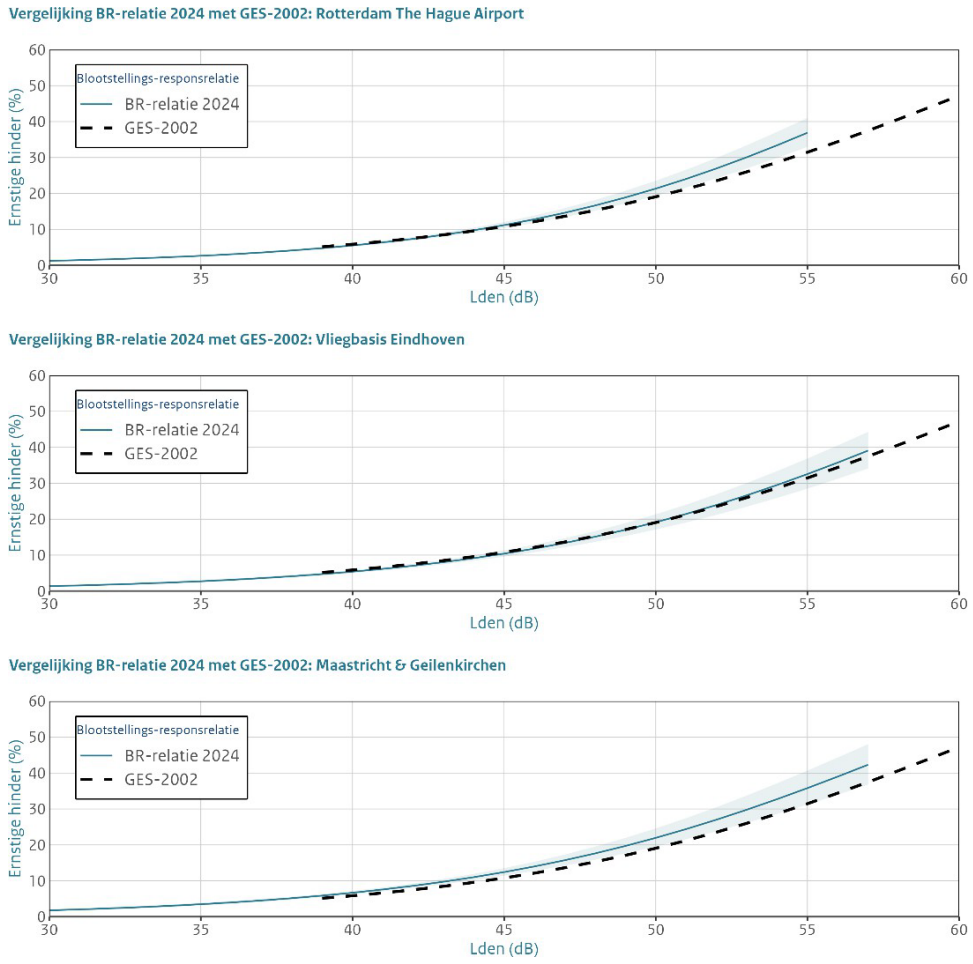


De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De gestreepte lijn geeft de GES 2002 Schiphol-curve weer, omgerekend naar de Doc29-methodiek. De getoonde BR-relatie van 2024 is op basis van het logistisch regressiemodel zonder spline-functie. De Y-as is bewust geschaald tot 60 procent om het verschil tussen beide curves meer inzichtelijk te maken.

4.5.2 Overige burgerluchthavens

Figuur 4.19 vergelijkt de GES 2002 Schiphol Airport BR-relatie ook met de BR-relaties met de overige burgerluchthavens van nationaal belang en ook met Vliegbasis Eindhoven. De nieuwe BR-relaties van Vliegbasis Eindhoven en Rotterdam The Hague Airport zijn bijna identiek aan het verloop van de GES 2002 BR-relatie. De betrouwbaarheidsintervallen van de nieuwe BR-relaties overlappen met de GES 2002-relatie. De curve van de gecombineerde BR-relatie van Maastricht en Geilenkirchen ligt wel hoger dan de GES 2002 BR-relatie.

Figuur 4.19 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid ($L_{den,}$ berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) rondom Rotterdam The Hague Airport, Vliegbasis Eindhoven en Maastricht Aachen Airport/Geilenkirchen.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De Y-as is bewust geschaald tot 60 procent om het verschil tussen beide curves meer inzichtelijk te maken.

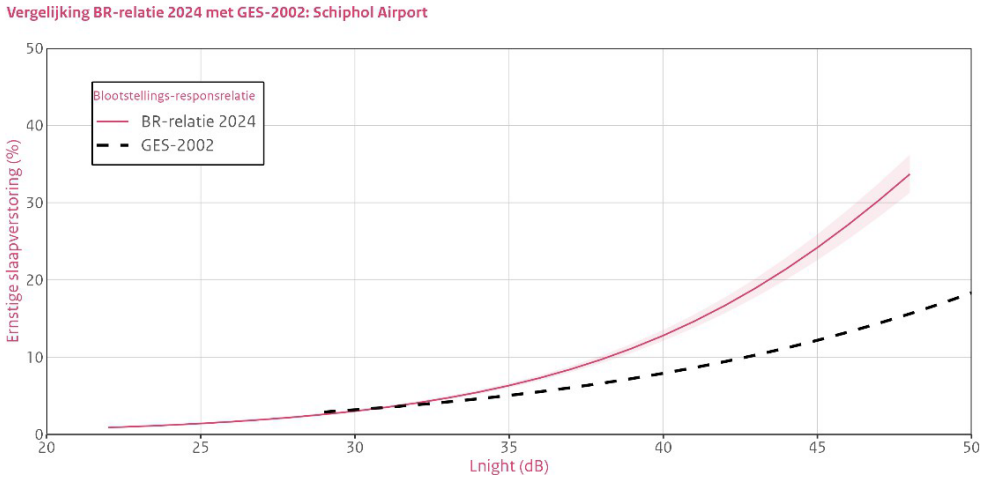
4.5.3 *Slaapverstoring*

De nieuw opgestelde BR-relaties voor ernstige slaapverstoring zijn vergeleken met de GES 2002 BR-relatie (Breugelmans *et al*., 2005) voor Schiphol Airport en Rotterdam The Hague Airport. Hier wordt opnieuw de vergelijking alleen gemaakt met het logistische regressiemodel met een continue blootstelling zonder spline-functie. Dit omdat de GES 2002-relatie destijds ook op basis van eenzelfde type model is opgesteld. Voor de vergelijking met Schiphol Airport is een aangepaste versie van de GES 2002 BR-relatie gebruikt, omdat deze destijds gebruikmaakte van L_{night}-waarden die gebaseerd zijn op het NRM en niet op het Doc29-model (Heblij en Derei, 2019).

De BR-relatie van Schiphol Airport 2024 ligt voor een groot deel boven de 2002 BR-relatie, zoals te zien is in **Figuur 4.20**. **Figuur 4.21** toont dat de BR-relatie van Rotterdam The Hague Airport 2024 boven de GES

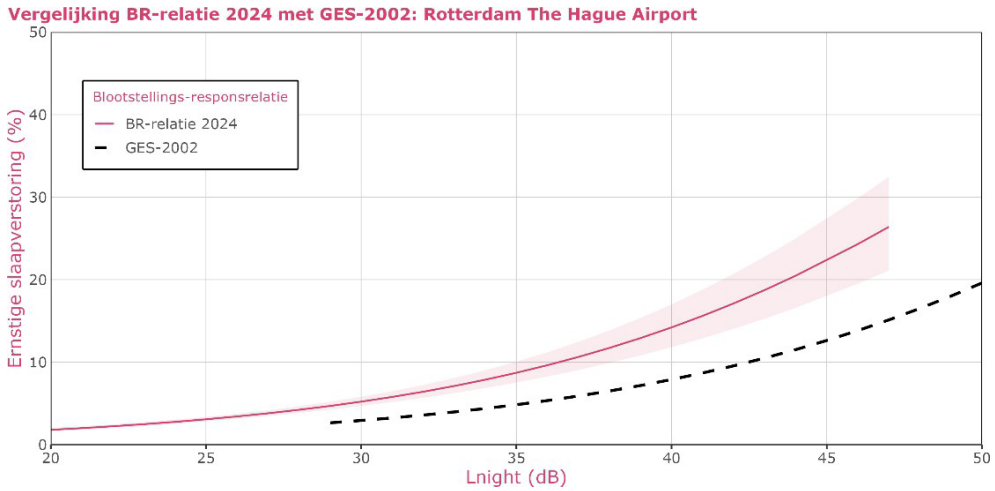
BR-relatie ligt. Op basis van de BR-relaties uit 2024 is er dus meer slaapverstoring te verwachten bij een gelijke L_{night}-geluidbelasting ten opzichte van de GES BR-relatie uit 2002.

Figuur 4.20 Blootstelling-responsrelaties (BR-relaties) tussen ernstige slaapverstoring en blootstelling aan vliegtuiggeluid ($L_{den,}$ berekend met Doc29-rekenmodel) rondom Schiphol Airport).



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De gestreepte lijn geeft de GES 2002 Schiphol curve weer, omgerekend naar de Doc29-methodiek. De Y-as is bewust geschaald tot 50 procent om het verschil tussen beide curves meer inzichtelijk te maken.

Figuur 4.21 Blootstelling-responsrelaties (BR-relaties) tussen ernstige slaapverstoring en blootstelling aan vliegtuiggeluid ($L_{den,}$ berekend met Nederlandse Rekenmodel (NRM)) rondom Rotterdam The Hague Airport.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De gestreepte lijn geeft de GES 2002 Schiphol curve weer. De Y-as is bewust geschaald tot 50 procent om het verschil tussen beide curves meer inzichtelijk te maken.

4.6 Vergelijking BR-relatie 2024 met BR-relatie 2020

Op basis van de GMVO 2020 zijn destijds ook BR-relaties opgesteld tussen ernstige hinder/slaapverstoring en vliegtuiggeluid (Van Poll *et al*., 2023). Door het uitbreken van de coronapandemie in Nederland betrof dit een afwijkend jaar, waarin er van meerdere, vooral civiele, luchthavens aanzienlijk minder werd gevlogen. Tegelijkertijd waren veel mensen relatief meer thuis. Op basis van de GMVO 2024 ervaart 3,4 procent van de Nederlandse volwassen bevolking ernstige hinder van vliegtuiggeluid. Bij de GMVO 2020 was dit 3,7 procent van de bevolking. De verschillen tussen de landelijke percentages van ernstige slaapverstoring zijn kleiner: 1,5 procent in 2024 en 1,6 procent in 2020. Dit had mogelijk een effect op het verloop van de BR-relaties uit 2020. Waar dit mogelijk was zijn voor luchthavens de BR-relaties uit 2024 en 2020 met elkaar vergeleken.

Het verschil tussen de BR-relatie op basis van een logistisch regressiemodel met en zonder spline-functie was voor Schiphol Airport in 2020 aanzienlijk (Van Poll *et al*., 2023). In 2024 waren de verschillen tussen de twee BR-relaties echter minimaal. Hierdoor verschilt het voor de vergelijking tussen de BR-relaties uit 2020 en 2024 sterk of er gekeken wordt naar de relaties op basis van een logistisch regressiemodel met of zonder een spline-functie. Daarom wordt voor Schiphol Airport de vergelijking gemaakt op basis van zowel de BR-relaties met en zonder spline-functie. Voor de overige luchthavens wordt voor beide jaren slechts de vergelijking gemaakt op basis van de BR-relatiemethodiek zoals in deze rapportage (logistische regressie voor Rotterdam The Hague Airport, logistische regressie met spline voor Vliegbasis Volkel). Verder is bij Schiphol Airport uitgegaan van de BR-relatie, gebaseerd op L_{den}-waarden berekend via het Doc29-model.

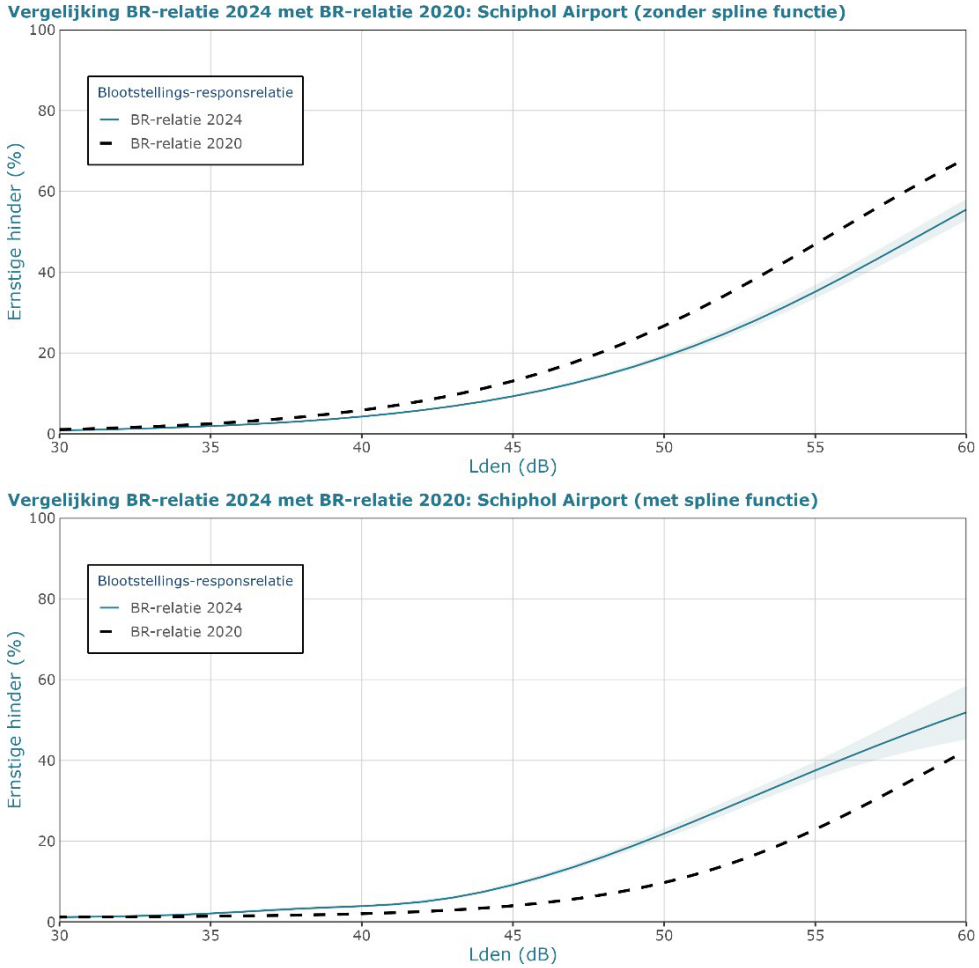
Figuur 4.22 toont de vergelijking van de BR-relatie van Schiphol Airport uit 2020 en 2024 (waarbij de geluidbelasting in beide gevallen is berekend met Doc29) op basis van een logistisch regressiemodel met en zonder spline-functie. Hierbij is voor 2020 gebruik gemaakt van de BR-relatie gebaseerd op Doc29 om tot een betere vergelijking te komen. De originele rapportage over de BR-relatie uit 2020 toont met name de BR-relaties gebaseerd op NRM, en destijds is de BR-relatie voor Schiphol Airport met Doc29 en een spline-functie niet getoond (Van Poll *et al.*, 2023). Zoals verwacht, zijn er hier duidelijke verschillen te zien tussen 2020 en 2024. Bij de vergelijking op BR-relaties gebaseerd logistisch regressiemodellen zonder spline, ligt de 2024 BR-relatie onder de 2020 BR-relatie. Bij de BR-relaties gebaseerd op de logistisch regressiemodellen met spline, ligt de 2024 BR-relatie boven de 2020 BR-relatie.

De BR-relatie uit 2024 ligt voor Rotterdam The Hague Airport onder de BR-relatie uit 2020 (**Figuur 4.23)**. Dit betekent dat er bij een *gelijke* geluidblootstelling, *meer ernstige hinder* wordt verwacht op basis van de 2020 BR-relatie, dan bij gebruik van de 2020 BR-relatie. De BR-relatie 2024 van Vliegbasis Volkel ligt boven de BR-relatie van 2020. De verschillen tussen de BR-relaties zijn hier wel minder groot dan bij Schiphol Airport.

Figuur B2.2 in **Bijlage 2** toont de overige vergelijkingen voor de BR-relaties van het gecombineerde studiegebied van Maastricht en Geilenkirchen, Vliegbasis Gilze-Rijen, Vliegbasis Leeuwarden en Vliegbasis Leeuwarden. Hierin is te zien dat voor Maastricht/Geilenkirchen en Vliegbasis Gilze-Rijen de 2024 BR-relatie onder de BR-relatie uit 2020 ligt. Voor Vliegbasis Eindhoven was dit slechts gedeeltelijk het geval. De BR-relaties van Vliegbasis Leeuwarden op basis van 2020 en 2024 waren zeer gelijk aan elkaar.

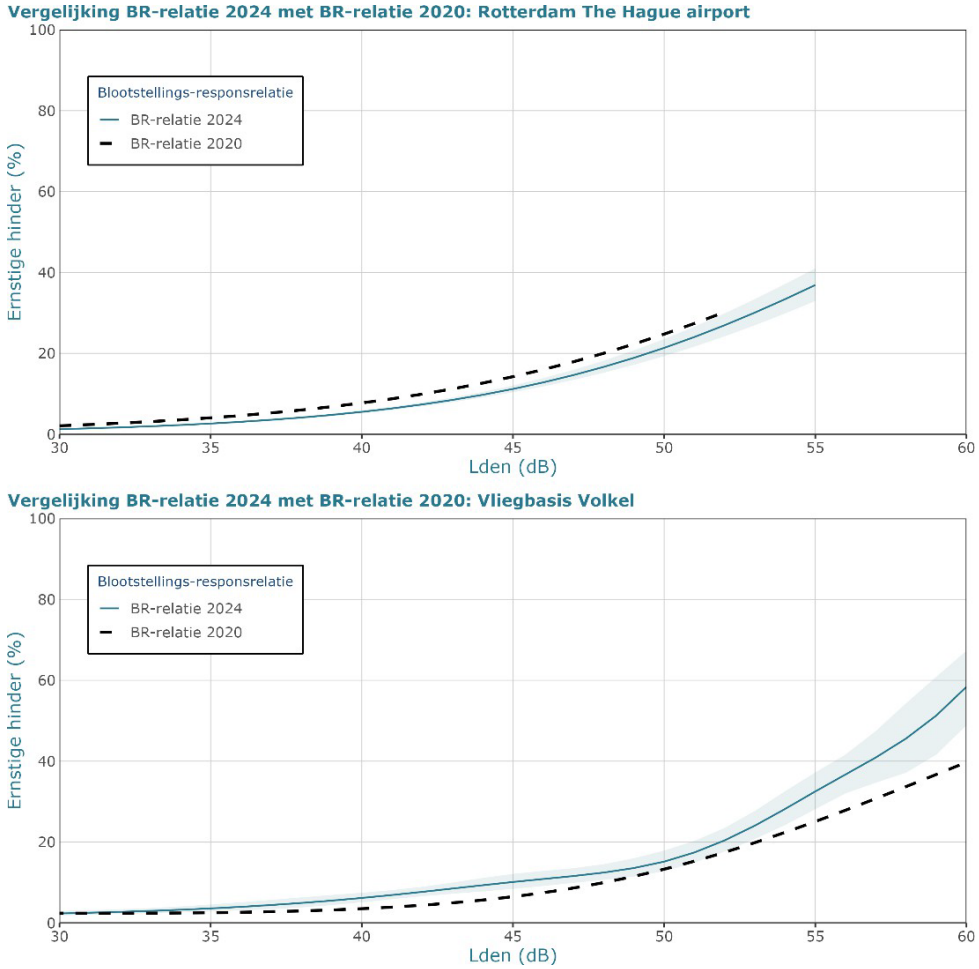
Figuur 4.24 toont de BR-relaties voor ernstige slaapverstoring uit 2024 en 2020 in dezelfde figuur voor Schiphol Airport en Rotterdam The Hague Airport. De BR-relatie van Schiphol Airport uit 2024 ligt voor een groot deel gelijk aan de BR-relatie van 2020. Bij blootstellingen van >35 dB L_{night} voorspelt de BR-relatie uit 2020 meer ernstige slaapverstoring. Kanttekening hierbij is dat de BR-relatie uit 2020 berekend is met NRM, terwijl de BR-relatie in 2024 met Doc29 is berekend. De BR-relatie voor Rotterdam The Hague Airport uit 2024 ligt zeer gelijk aan de BR-relatie van 2020.

Figuur 4.22 Vergelijking blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid ($L_{den,}$ berekend met Doc29) rondom Schiphol Airport, voor 2020 en 2024.



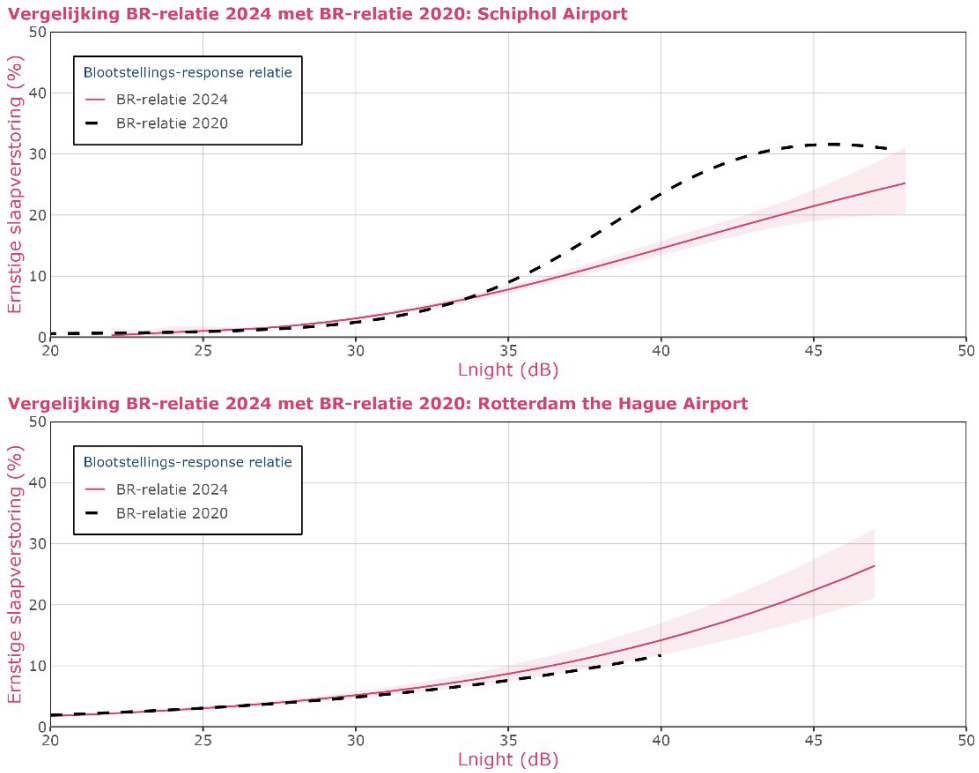
De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op gegevens uit 2024. De gestreepte lijn toont de BR-relatie op basis van de gegevens uit 2020. De bovenste grafiek geeft een vergelijking op basis van logistische regressiemodellen. De onderste grafiek geeft een vergelijking op basis van logistische regressiemodellen met een spline-functie.

Figuur 4.23 Vergelijking blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid ($L_{den,}$ berekend met Nederlands Rekenmodel (NRM)) rondom Rotterdam The Hague Airport en Vliegbasis Volkel, voor 2020 en 2024.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op gegevens uit 2024 en de gestreepte lijn de BR-relatie op basis van de gegevens uit 2020.

Figuur 4.24 Vergelijking Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige slaapverstoring en blootstelling aan vliegtuiggeluid ($L_{night,}$ berekend met NRM) (Rotterdam The Hague Airport en Schiphol Airport 2020) of Doc29 (Schiphol Airport in 2024)) rondom Schiphol Airport en Rotterdam The Hague Airport voor 2020 en 2024.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op gegevens uit 2024. De gestreepte lijn geeft de BR-relatie weer op basis van de gegevens uit 2020. De Y-as is bewust geschaald tot 50 procent om het verschil tussen beide curves meer inzichtelijk te maken.

5 Gevoeligheidsanalyses

Dit hoofdstuk toont de resultaten van enkele gevoeligheidsanalyses die zijn uitgevoerd als onderdeel van de studie. Dit zijn extra analyses die zijn toegevoegd om een duiding te geven aan de uitkomsten en om de mogelijke gevolgen van keuzes binnen de onderzoeksopzet (zoals het gebruik van populatie-weging en afkapwaarden voor ondergrens) in kaart te brengen. De resultaten worden ook bediscussieerd.

5.1 Impact afbakening studiegebied Schiphol Airport 2024

Binnen de studie wordt gebruikgemaakt van jaargemiddelde geluidblootstellingwaarden op basis van rekenmodellen. Het gebruik van gemodelleerde geluidwaarden roept vaak de vraag op tot welke waarde deze berekeningen nog betrouwbaar, dan wel hoorbaar zijn. In de bestaande rekenmodellen is er momenteel geen specifieke drempelwaarde beschikbaar om een duidelijke en harde ondergrens te stellen voor betrouwbare L_{den-} of L_{night}-waarden. Er wordt wel van uitgegaan dat hogere waarden nauwkeuriger zijn. dan lage waarden. Dat pleit ervoor om studies te beperken tot gebieden met hoge geluidwaarden.

Desondanks is het ook mogelijk dat er ook in gebieden met relatief lage geluidbelasting, alsnog hinder optreedt. Inwoners van deze gebieden zouden dan al op voorhand direct buiten de analyses vallen.
Hiermee rekening houdend heeft het RIVM in het opstellen van de BR-relaties een grens voor inclusie in de studie gehanteerd (waar mogelijk, zie **paragraaf 2.1.3**) van een gemiddelde gemeenteblootstelling van 25 dB L_{den}. Dit was een op basis van vorige studies en inzichten gekozen waarde, maar dit roept wel de vraag op of deze drempelwaarde een effect heeft op het verloop van de BR-relaties.

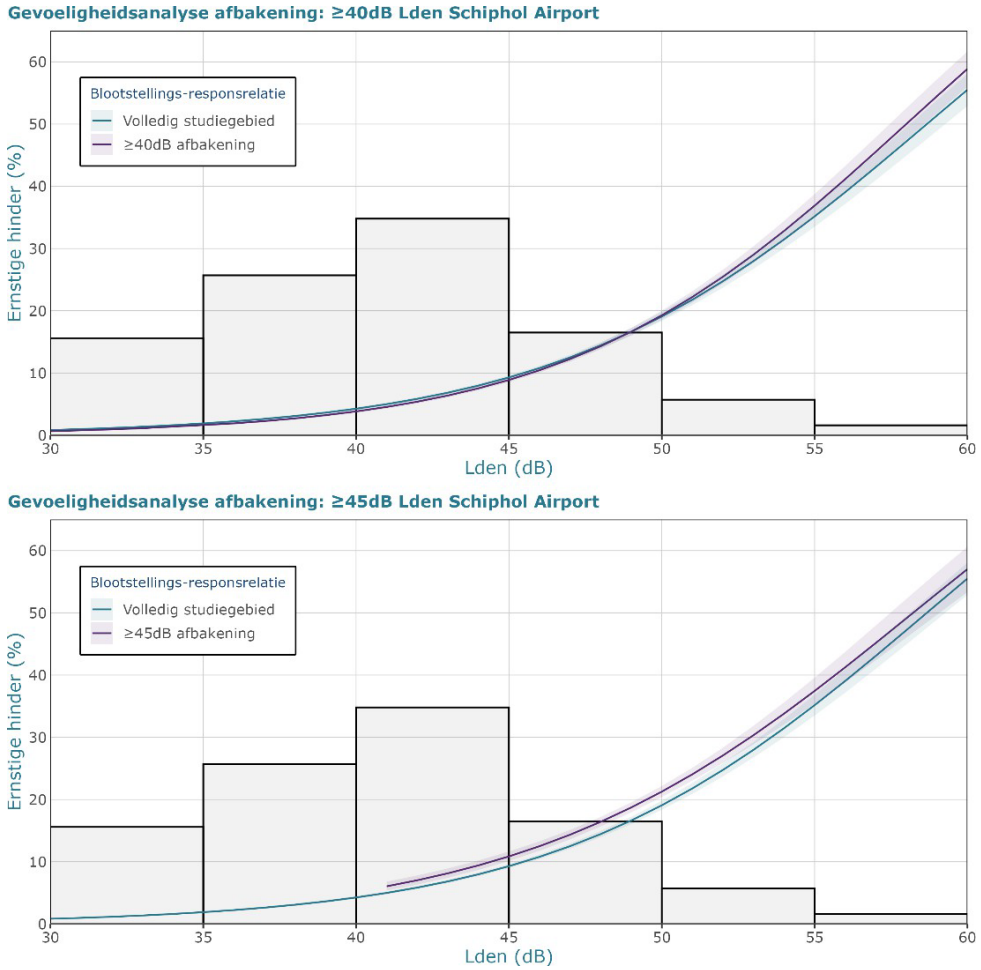
Om dit te bepalen, zijn er dus extra analyses uitgevoerd. Het doel van deze gevoeligheidsanalyses was het inschatten van het effect van de grootte van het studiegebied van Schiphol Airport op de afgeleide BR-relatie. Er is gekozen om dit specifiek te doen voor Schiphol Airport, omdat dit het studiegebied betreft met zowel het hoogste aantal deelnemers, als de hoogste geluidblootstellingen. Hierbij werd er gewerkt met verschillende afbakeningen van het op de gemiddelde L_{den}-blootstelling gebaseerde studiegebied per gemeente. In totaal zijn er drie extra BR-relaties opgesteld, steeds met een kleiner aantal deelnemende gemeenten, en daardoor een relatief hogere L_{den}-blootstelling en ook meer ernstige hinder in de studiepopulatie (**Tabel 5.1**). In **Figuur 5.1** zijn deze BR-relaties, samen met de volledige BR-relatie, weergegeven. Hierbij is gebruikgemaakt van een logistisch regressiemodel zonder spline-functie.

Tabel 5.1 Overzicht studiepopulatie gevoeligheidsanalyse afbakening studiegebied Schiphol Airport voor BR-relatie ernstige hinder.

Afbakening Schiphol Airport	Aantal gemeenten	N deelnemers	N ernstige hinder (%)
Originele studiegebied	65	99.000	9.410 (9,5)
L_{den} ≥35 dB[1]	55	81.400	9.030 (11,1)
L_{den} ≥40 dB	37	60.276	8.108 (13,5)
L_{den} ≥45 dB	12	17.949	4.029 (22,4)

1. Gebaseerd op mediaan blootstelling aan L_{den} van alle deelnemers van Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen binnen gemeente.

Figuur 5.1 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met Doc29) binnen de gevoeligheidsanalyse voor Schiphol Airport.



De blauwe lijn geeft de BR-relatie weer op basis van het volledige studiegebied van Schiphol Airport. De rode lijn toont een BR-relatie waarin alleen gemeentes met een mediaan-blootstelling boven de afkapwaarde (boven = ≥40 dB; onder = ≥ 45 dB) zijn opgenomen. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt op basis van de gehele populatie van het studiegebied.

De curve van de op het afgebakende studiegebied van ≥35 dB gebaseerde BR-relatie was vrijwel identiek aan de BR-relatie van het gehele studiegebied van Schiphol Airport (resultaten niet getoond). Bij een afbakeningsgrens van ≥40 dB wijkt de BR-relatie wel af van de reguliere BR-relatie bij L_{den}-waardes vanaf ≥52 dB. De curve van de 40 dB BR-relatie voorspelt hier namelijk meer ernstige hinder dan de originele curve, maar de betrouwbaarheidsintervallen van twee BR-relaties overlappen elkaar volledig. Daardoor zullen er geen significante verschillen zijn tussen de percentages voorspelde ernstige hinder op basis van deze twee BR-relaties.

Wel zijn er significante verschillen tussen de op een studiegebied met 45 dB als afkapwaarde gebaseerde BR-relaties en de BR-relatie die zijn gebaseerd op het volledige studiegebied. Bij L_{den}-waardes tussen de 40 en 54 dB wijken de betrouwbaarheidsintervallen van de BR-relaties namelijk van elkaar af, waardoor er daadwerkelijk andere percentages worden voorspeld door de twee BR-relaties. Dit verschil is echter wel beperkt. Ter illustratie, bij een blootstelling van 50 dB verwacht de BR-relatie die gebaseerd is op het volledige studiegebied 19,1 procent ernstige hinder. De BR-relatie die gebaseerd is op alleen gemeenten met ≥45 dB verwacht 21,3 procent.

Het effect van de verschillende afkapwaarden op de BR-relatie is ook onderzocht met logistische regressiemodellen met een spline-functie. Ook bij deze methode werd alleen een verschil met de volledige BR-relatie gezien bij de BR-relatie op basis van de ≥45 dB afkapwaarde. Bij L_{den}-waardes tussen de 40 en 45 dB was er een significant verschil tussen de curves, waarbij de ≥45 dB-curve meer ernstige hinder voorspelde dan de volledige BR-relatiecurve (bij 42 dB: 9,9% versus 5,0% ernstige hinder). Bij hogere waardes lopen de twee curves vrijwel parallel aan elkaar en voorspellen ze dezelfde mate van ernstige hinder (resultaten niet getoond).

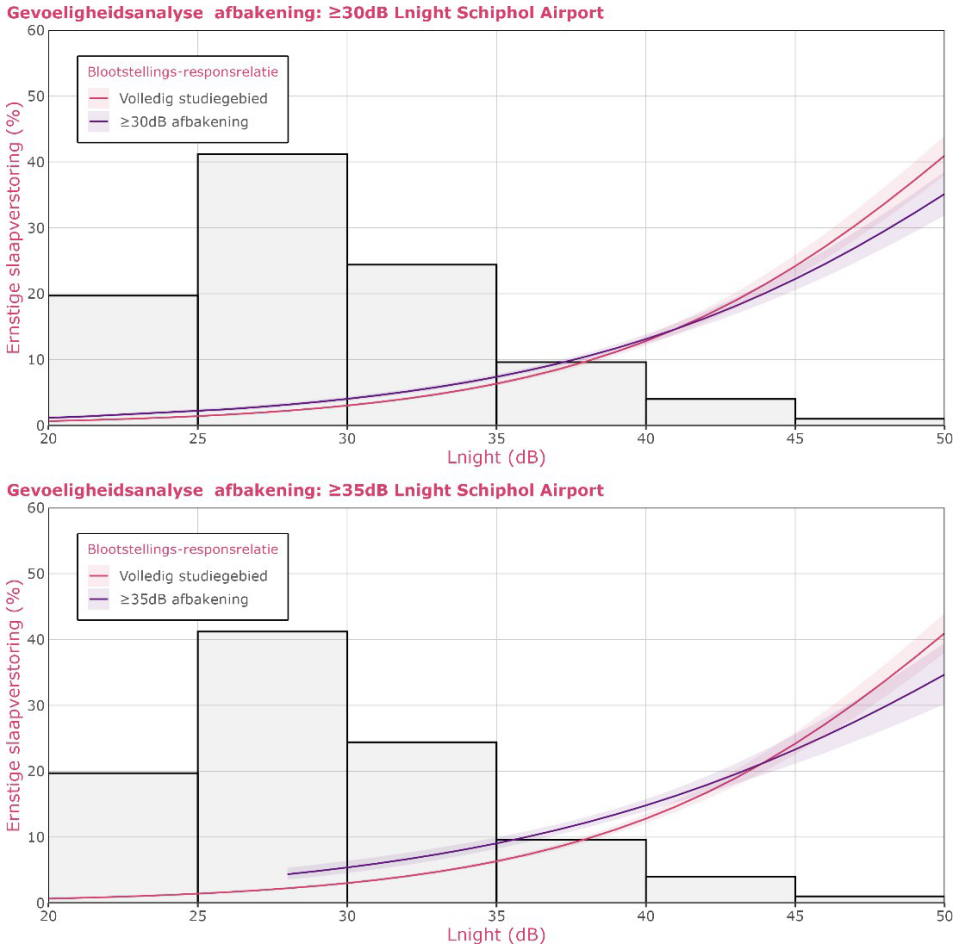
Verder is er ook een vergelijkbare analyse gedaan waarbij is gekeken naar ernstige slaapverstoring en L_{night}-blootstelling rondom Schiphol Airport. Hiervoor zijn er verschillende afkapwaarden gebruikt voor inclusie binnen de studiepopulatie (**Tabel 5.2**). Net als bij de L_{den}, was er geen verschil tussen de BR-relatie op basis van het volledige studiegebied en het studiegebied met de laagste afkapwaarde (≥ 25dB L_{night}). De overige BR-relaties worden getoond in **Figuur 5.2**.

Tabel 5.2 Overzicht studiepopulatie gevoeligheidsanalyse afbakening studiegebied Schiphol Airport voor BR-relatie ernstige slaapverstoring.

Afbakening Schiphol Airport	Aantal gemeenten	N deelnemers	N ernstige slaapverstoring (%)
Originele studiegebied	65	93.639	4.661 (5,0)
L_{night} ≥ 25dB[1]	50	74.380	4.490 (6,0)
L_{night} ≥ 30dB[1]	22	32.596	3.092 (9,5)
L_{night} ≥ 35dB[1]	7	10.788	1.721 (16,0)

1. Gebaseerd op mediaan blootstelling aan L_{night} van alle deelnemers Gezondheidsmonitor binnen gemeente.

Figuur 5.2 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige slaapverstoring en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{night}) binnen de gevoeligheidsanalyse voor Schiphol Airport.



De rode lijn geeft de BR-relatie weer op basis van het volledige studiegebied van Schiphol Airport en de paarse lijn toont een BR-relatie waarin alleen gemeentes met een mediaan-blootstelling boven de afkapwaarde (boven = ≥30 dB; onder = ≥ 35 dB) zijn opgenomen. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 5 dB-groep valt op basis van de gehele populatie van het studiegebied.

De BR-relatie op basis van het studiegebied met de 30 dB-afkapwaarde wijkt af van de volledige BR-relatie bij blootstellingen tussen de 20 en 38 dB, waarbij de BR-relatie gebaseerd op de afkapwaarde meer ernstige slaapverstoring voorspelt. Ter illustratie, bij een blootstelling van 35 dB L_{night} voorspelt de originele BR-relatie 6,3 procent ernstige slaapverstoring en de BR-relatie op basis van de 30 dB afkapwaarde 7,4 procent ernstige slaapverstoring. Ondanks dat dit relatief kleine verschillen zijn, heeft dit wel impact op een groot deel van de studiepopulatie. Daardoor worden er dus wel aanzienlijk meer ernstig slaapverstoorden voorspeld op basis van de andere BR-relatie.

Het effect van de afkapwaarde is nog groter bij 35 dB, waarbij de BR-relatie een hogere curve heeft dan de reguliere BR-relatie bij L_{night}-waardes tot 42 dB. De twee curves liggen hier nog verder uit elkaar. Zo is volgens de BR-relatie op basis van de afkapwaarde bij 35 dB 9,0

procent ernstige slaapverstoring te verwachten, tegenover 6,3 procent bij de reguliere curve.

Het gebruik van afkapwaardes, waardoor het studiegebied kleiner wordt maar de relatieve blootstelling en mate van ernstige hinder/slaapverstoring groter, heeft dus effect op het verloop van de BR-relaties. De significante effecten beperken zich echter wel tot de lager blootgestelde binnen de populatie. De BR-relaties op basis van de afkapwaarden voorspellen meer ernstige hinder/slaapverstoring in deze populatie. Het gebruik van de afkapwaardes heeft een sterker effect op de BR-relaties voor L_{night}/slaapverstoring, dan op de relaties voor L_{den}/hinder.

Oftewel, de gevoeligheidsanalyses laten zien dat het gebruik van een andere afkap/inclusiewaarden voor de geluidbelasting van invloed kan zijn op het verloop van de BR-relaties. Hierbij zijn er wel pas statistisch significante verschillen te zien op basis van de strengste afkapwaarden (45 dB L_{den}, 35 dB L_{night}). Deze BR-relaties voorspellen bij gelijke blootstelling, meer hinder en slaapverstoring, dan de BR-relatie met de standaard inclusiecriteria. Het is wel de discussie of dit verschil opweegt tegenover de hoeveelheid deelnemers (en gehinderden) die buiten de analyse worden gelaten wanneer de strengere afkapwaarden worden toegepast. Voor de L_{den} was er pas sprake van een significant verschil met de totale curve wanneer 45 dB als een afkapwaarde werd gebruikt. En de verschillen in percentage voorspelde ernstige hinder waren beperkt. Tegelijkertijd is een aanzienlijke grote groep ernstig gehinderden (bijna 4.000) die in gemeenten wonen, die buiten de 45 dB-afkapwaarde vallen.

5.2 Impact populatie-weging BR-relaties

Bij het opstellen van de BR-relaties is binnen dit rapport gebruikgemaakt van een populatie-wegingsfactor. Dit omdat de GMVO-deelnemers geen volledig correcte afspiegeling zijn van de gehele Nederlandse populatie. Door de wegingsfactor toe te passen, is de BR-relatie een betere representatie van de gehele populatie binnen de betreffende gemeenten. Deze wegingsfactor is ook gebruikt in de voorgaande BR-relaties die voor vliegtuiggeluid in Nederland zijn opgesteld.

Tegelijkertijd zijn er ook nadelen aan het gebruik van wegingsfactoren. Door het toepassen van de weging komen de uitkomsten verder af te staan van de daadwerkelijk waargenomen gegevens uit de vragenlijst. De extra bewerking van het toepassen van de wegingsfactor zorgt ook voor meer complexiteit, wat de begrijpelijkheid van de relatie vermindert en de interpretatie en communicatie van de uitkomsten ook weer moeilijker maakt (Brink *et al.*, 2025).

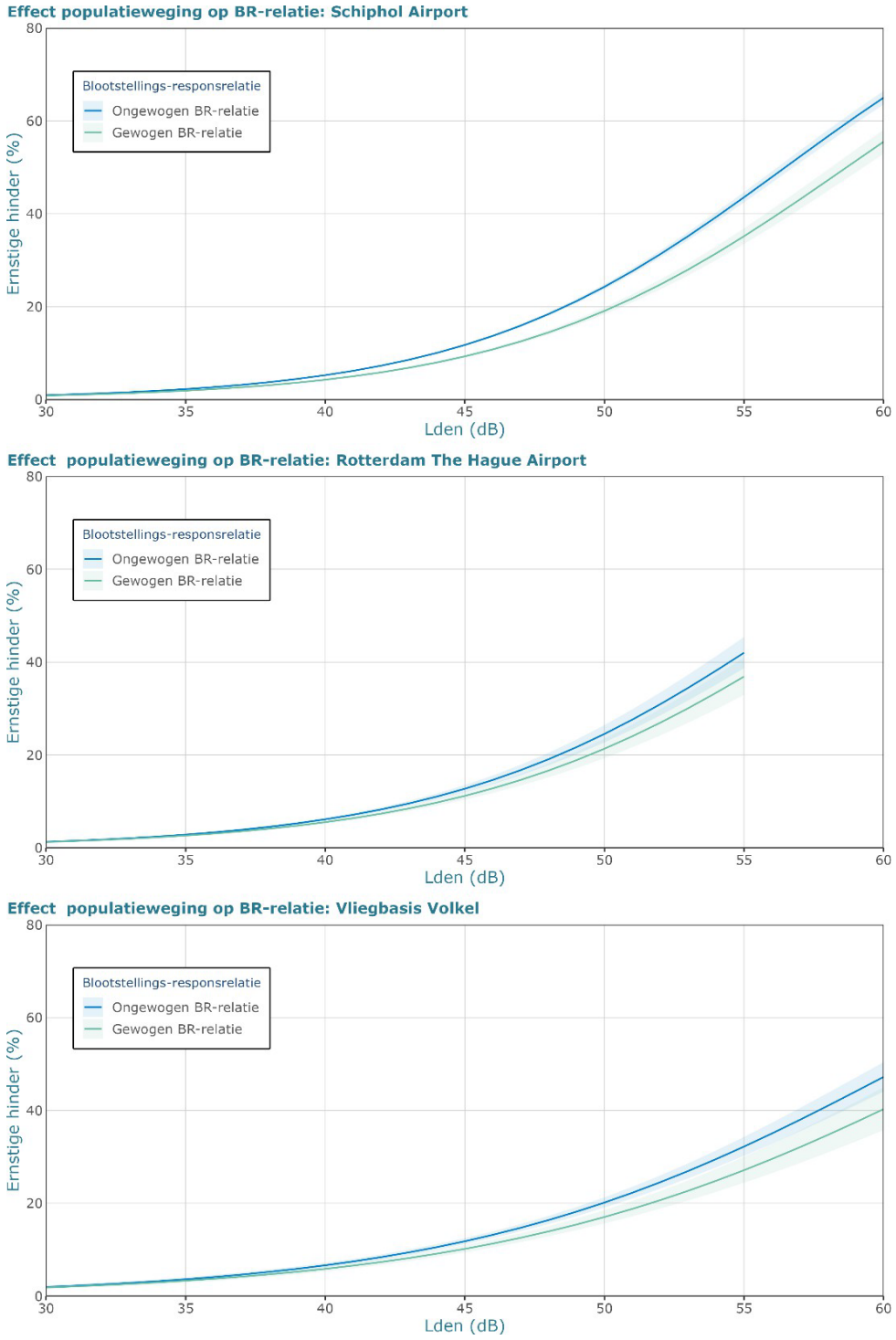
Om de impact van het gebruik van populatie-weging te onderzoeken, zijn er voor de luchthavens Schiphol Airport, Rotterdam The Hague Airport en Vliegbasis Volkel BR-relaties opgesteld, waarbij geen wegingsfactor is toegepast. Deze zijn vervolgens vergeleken met de eerder besproken BR-relaties, waarbij wel gewogen is voor populatie. Hierbij is gebruikgemaakt van logistische regressiemodellen zonder een spline-functie om tot een betere vergelijking te komen.

De uitkomsten van de drie verschillende luchthavens laten een consistent beeld zijn: De populatie-gewogen BR-relatie ligt over vrijwel het hele verloop van de L_{den}-blootstelling onder de BR-relatie zonder de populatie-weging. Bij een *gelijke* blootstelling is er dus meer hinder te verwachten op basis van ongewogen curve. Het verschil tussen de gewogen en ongewogen BR-relatie is het grootste bij Schiphol Airport.

De verschillen tussen de relaties zijn voor een groot deel te verklaren door het effect van het ophogen van de steekproef en de oververtegenwoordiging van bepaalde groepen inwoners binnen de steekproef. Bij een *gelijke* blootstelling en een *hoger* aantal gehinderden, komt een BR-relatie namelijk hoger te liggen.

Binnen de steekproef zijn er door de deelnemende GGD'en extra steekproeven uitgezet in wijken/gemeentes met een hoge geluidbelasting of waar signalen waren van geluidoverlast van vliegverkeer (n = 4.900 rondom Schiphol Airport; n = 3.000 rondom Rotterdam The Hague Airport; n = 3.000 rondom Vliegbasis Volkel) (zie **Tabel B2.1**). Dit is gedaan om voldoende deelnemers te hebben in gebieden met een hogere geluidbelasting. Naar verwachting zal dit geresulteerd hebben in meer deelnemers met een hoge geluidbelasting, en daardoor meer ernstige hinder, binnen de totale studiepopulatie van de luchthavens. Daarnaast wordt de steekproef relatief vaker ingevuld door bepaalde leeftijdsgroepen. Aangezien andere factoren (zoals demografische, situationele, persoonlijke) van invloed kunnen zijn op het ervaren van hinder, is er een ander percentage hinder te verwachten wanneer je kijkt naar puur het aantal deelnemers of het populatie-gewogen aantal deelnemers. Ter illustratie, het absolute percentage (zonder weging) van het aantal deelnemers met ernstige hinder in het studiegebied van Schiphol is 9,5 procent, maar het populatie-gewogen percentage van ernstige hinder is 6,8 procent. Voor Rotterdam The Hague Airport is hetzelfde patroon te zien (3,6% ernstige hinder zonder weging, 3,1% met weging), net als voor Vliegbasis Volkel (9,8% ernstige hinder zonder weging, 7,3% met weging).

Figuur 5.3 Vergelijking ongewogen en gewogen Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met Doc29 of Nederlands Rekenmodel (NRM)) rondom Schiphol Airport, Rotterdam The Hague Airport en Vliegbasis Volkel.



De blauwe lijn geeft de BR-relatie weer op basis van het ongewogen BR-relatie. De groene lijn toont een BR-relatie met populatieweging (gewogen). Rekenmodel Schiphol is Doc29. Rekenmodel Rotterdam en Volkel is NRM.

6 Discussie

Dit rapport onderzocht de relatie tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid en het effect op hinder en slaapverstoring voor verschillende burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland. De blootstelling aan vliegtuiggeluid werd gemodelleerd door het NLR voor het jaar 2024. Hinder en slaapverstoring zijn onderzocht met behulp van de GMVO 2024. Er zijn verschillende BR-relaties opgesteld tussen ernstige hinder, ernstige slaapverstoring en drie verschillende indicatoren van blootstelling aan (nachtelijk) vliegtuiggeluid (L_{den}, L_{night} en Kosteneenheid) rondom burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland. De onderstaande paragrafen bespreken de belangrijkste uitkomsten en de sterke en zwakke onderzoekspunten.

Het percentage ernstig gehinderden door geluid van vliegverkeer verschilt per studiegebied van de luchthavens. Het hoogste percentage ernstige hinder wordt gerapporteerd rond het studiegebied van Vliegbasis Leeuwarden (11,6%), gevolgd door Vliegbasis Volkel (9,8%) en Schiphol Airport (9,5%). Maritiem Vliegkamp De Kooy heeft het laagste percentage ernstig gehinderden (1,1%). Het percentage ernstige slaapverstoorden is het hoogst in het studiegebied van Schiphol Airport (5,0%).

6.1 Beantwoording van de onderzoeksvragen

Deze paragraaf beantwoordt de onderzoeksvragen.

1. *Wat is de BR-relatie voor geluid van vliegverkeer en ernstige hinder/ernstige slaapverstoring voor Nederlandse burgerluchthavens en militaire luchthavens?*

Tabel 6.1 geeft aan voor welke luchthavens er BR-relaties zijn afgeleid op basis van in 2024 verzamelde gegevens. Dit betreft zowel BR-relaties van individuele luchthavens als van verschillende luchthavens gecombineerd. Hieronder beschrijven we de resultaten voor hinder en slaapverstoring verder.

Tabel 6.1 Overzicht BR-relaties afgeleid op basis van gegevens van 2024 data

Luchthavens	**EH & L_{den}**	**EH & Ke**	**ES & L_{night}**
Individuele BR-relaties			
Schiphol Airport	x	n.v.t.	x
Rotterdam The Hague Airport	x	n.v.t.	x
Groningen Airport Eelde	-	n.v.t.	-
Lelystad Airport	-	n.v.t.	-
Maastricht & Geilenkirchen	x	n.v.t.	-
Vliegbasis Eindhoven	x	x	-
Vliegbasis Gilze-Rijen	x	x	-
Vliegbasis Volkel	x	x	-
Vliegbasis Leeuwarden	x	x	-
Vliegbasis Woensdrecht	-	-	-
Vliegbasis De Kooy	-	-	-
Gecombineerde BR-relaties			
Burgerluchthavens exclusief Schiphol Airport	x	n.v.t.	-
Militaire luchthavens	x	x	-

EH=ernstige hinder, ES=ernstige slaapverstoring, Ke=Kosteneenheid

Hinder
Voor de meeste luchthavens is het mogelijk om een BR-relatie op te stellen tussen ernstige hinder door geluid van vliegverkeer en de blootstelling aan vliegtuiggeluid, berekend in L_{den}, op basis van data die in 2024 waren verzameld. De meeste BR-relaties laten zien dat het percentage ernstige hinder toeneemt, naarmate de geluidbelasting toeneemt. Voor alle luchthavens is te zien dat er bij hogere geluidbelasting meer onzekerheid is over het verwachte percentage ernstige gehinderden. De 95 procent-betrouwbaarheidsintervallen zijn hier breder, doordat hier minder mensen aan het onderzoek deelnamen.

Voor de luchthavens Maritiem Vliegbasis De Kooy, Vliegbasis Woensdrecht, Lelystad Airport en Groningen Airport Eelde is het niet mogelijk om BR-relaties af te leiden tussen vliegtuiggeluid en ernstige hinder. De reden is een te lage geluidblootstelling (of te weinig variatie in de geluidblootstelling), en/of weinig deelnemers aan de GMVO rondom deze luchthavens. Omdat het niet mogelijk is om voor elke aparte luchthaven een BR-relatie af te leiden, hebben we ook een BR-relatie afgeleid voor alle burgerluchthavens (exclusief Schiphol Airport) en alle militaire luchthavens. Deze gecombineerde BR-relaties laten hetzelfde patroon zien als de luchthaven-specifieke BR-relaties: een hoger percentage ernstig gehinderden bij een hogere geluidbelasting.

Net als in het vorige onderzoek (Van Poll *et al.,* 2023) waar BR-relaties opgesteld zijn op basis van de 2020-data, zien we op basis van de GMVO 2024-data ook verschillen tussen de onderlinge luchthaven-specifieke BR-relaties (zie **Figuur 4.15** en **Figuur 4.17**). De verschillen tussen de verschillende luchthavens zijn wel minder groot dan in 2020.

Voor de militaire luchthavens hebben we naast geluidblootstelling berekend in L_{den} ook gekeken naar BR-relaties met Kosteneenheid als

geluidmaat. Het is mogelijk om voor Vliegbasis Eindhoven, Vliegbasis Gilze-Rijen, Vliegbasis Volkel en Vliegbasis Leeuwarden een BR-relatie op te stellen tussen ernstige hinder en vliegtuiggeluid (gemeten in Kosteneenheid). Hierbij zien we ook dat hoe hoger de Kosteneenheid hoe hoger het percentage ernstige hinder is.

Slaapverstoring
De nachtelijke geluidbelasting en spreiding is rondom meerdere luchthavens te laag om BR-relaties af te leiden tussen ernstige slaapverstoring en nachtelijk vliegtuiggeluid (berekend in L_{night}). Dit komt omdat op veel luchthavens geen of weinig nachtvluchten worden uitgevoerd. Voor de luchthavens Schiphol Airport en Rotterdam The Hague Airport zijn BR-relaties afgeleid tussen nachtelijk vliegtuiggeluid en ernstige slaapverstoring. De BR-relatie voor Schiphol Airport en Rotterdam The Hague Airport laten een toename van het percentage ernstige slaapverstoring zien bij een hogere geluidbelasting. Net als bij ernstige hinder zien we meer onzekerheid (grotere betrouwbaarheidsintervallen) bij hogere nachtelijke geluidbelasting. Bij Maastricht Aachen Airport/Geilenkirchen, Vliegbasis Eindhoven, Vliegbasis Leeuwarden, Vliegbasis Gilze-Rijen en Vliegbasis Volkel komt ook ernstige slaapverstoring voor, maar was geen BR-relatie af te leiden. Voor deze luchthavens zien we met name bij de hoogste blootstellingscategorie een toename in het percentage ernstige slaapverstoorden.

2. *Hoe verhouden deze BR-relaties zich tot de BR-relatie voor de luchthaven Schiphol Airport uit 2002 (GES 2002)?*

We hebben de onderzoeksresultaten vergeleken met de BR-relatie uit 2002 voor Schiphol Airport (Breugelmans *et al.*, 2005) en de BR-relaties uit 2020 voor verschillende civiele en militaire luchthavens (Van Poll *et al.*, 2023).

Vergelijking met 2002 BR-relatie
De BR-relatie van Schiphol Airport 2024 verschilt van die van 2002: bij L_{den}-waarden onder de 50 dB voorspelt de BR-relatie uit 2024 minder ernstige hinder, terwijl bij waarden boven de 50 dB juist meer ernstige hinder wordt voorspeld dan de BR-relatie uit 2002. De nieuwe BR-relaties voor Vliegbasis Eindhoven en Rotterdam The Hague Airport lijken sterk op de BR-relatie GES 2002 Schiphol. De gecombineerde BR-relatie voor Maastricht en Geilenkirchen ligt iets hoger dan de BR-relatie uit 2002.

De BR-relaties voor ernstige slaapverstoring liggen voor zowel Schiphol Airport als Rotterdam The Hague Airport boven de BR-relatie voor Schiphol uit 2002. Bij dezelfde geluidbelasting voorspelt de BR-relatie uit 2024 dus meer ernstige slaapverstoring dan de 2002-relatie.

Vergelijking met 2020 BR-relatie
Bij de vergelijking met de 2020 BR-relaties blijkt dat de op een logistisch regressiemodel gebaseerde BR-relatie van Schiphol Airport uit 2024 onder de op een vergelijkbaar model gebaseerde BR-relatie ligt van Schiphol Airport uit 2020. Wanneer de BR-relaties vergeleken worden op basis van logistisch regressiemodel met een spline-functie,

dan ligt de BR-relatie uit 2024 boven die uit 2020. Dit komt doordat er in 2020 een aanzienlijk verschil zat tussen de BR-relaties die gebaseerd zijn op modellen met en zonder spline-functie, maar dit niet zo sterk het geval is bij de BR-relaties van Schiphol Airport in 2024.

Voor het gecombineerde studiegebied van Maastricht en Geilenkirchen, Rotterdam The Hague Airport, Vliegbasis Gilze-Rijnen en Vliegbasis Eindhoven ligt de BR-relatie voor 2024 (grotendeels) onder de BR-relatie uit 2020. Voor Vliegbasis Leeuwarden was er amper verschil. En bij Vliegbasis Volkel ligt de BR-relatie uit 2024 boven de BR-relatie uit 2020. Voor ernstige slaapverstoring ligt de nieuwe BR-relatie voor Schiphol Airport bij een geluidsblootstelling hoger dan 35 dB L_{night} onder de BR-relatie uit 2020. Bij deze vergelijking moet wel de kanttekening geplaatst worden dat deze BR-relaties gebaseerd zijn op verschillende rekenmodellen om de L_{night} mee vast te stellen (2020: NRM, 2024: Doc29 voor Schiphol Airport). Voor Rotterdam The Hague Airport ligt de BR-relatie uit 2024 zeer gelijk aan de BR-relatie van 2020.

De BR-relaties uit 2024 wijken dus grotendeels af van de BR-relaties uit 2024, waarbij in de meeste gevallen en vooral bij de burgerluchthavens de BR-relatie uit 2024 onder die uit 2020 ligt. Daar wordt dan bij gelijke geluidblootstelling minder hinder verwacht op basis van de nieuwe BR-relatie.

Veranderingen in BR-relaties
Een veranderende BR-relatie zegt niet direct iets over een mogelijk toe- of afname van ernstige hinder in een studiegebied. Het verloop van een BR-relatie hangt namelijk van zowel de blootstelling als de mate van ernstige hinder af. Er zijn verschillende factoren die verschillen tussen de vergeleken BR-relaties (GES 2002, 2020 en 2024) voor vliegtuiggeluid kunnen verklaren.

Bij de vergelijking met de BR-relaties GES 2002 moet rekening gehouden worden dat verschillen ook mogelijk door een andere onderzoeksopzet zijn te verklaren. Zo was het onderzoek in 2002 specifiek gericht op luchtvaart terwijl de GMVO dit niet specifiek benoemt.

Ondanks dat de onderzoeksopzet grotendeels in 2020 hetzelfde was als in het huidige onderzoek, zijn er wel verschillen. Voortschrijdend inzicht heeft geleid tot een andere afbakening van de studiegebieden in 2024, waarbij gemeenten worden geselecteerd op de gemiddelde L_{den}-blootstelling van alle woningen in de gemeente. Wanneer deze te laag is (25 dB), wordt de gemeente niet meegenomen in het studiegebied. Hierdoor zijn de studiegebieden kleiner geworden (Gilze-Rijen uitgezonderd), waardoor er relatief meer deelnemers zijn met een hogere blootstelling en daardoor ook (te verwachten) meer ernstige hinder. De GMVO is in 2020 door meer mensen ingevuld, dan in 2024. Het totale respons percentage lag in 2020 met 39,2 procent behoorlijk wat hoger dan het responspercentage uit 2024 (30,3%). In 2024 waren de vragen over hinder en slaapverstoring verplicht in zowel de volwassen- als ouderenvragenlijst. In 2020 was dit alleen het geval voor de volwassen-vragenlijst. Een aantal GGD'en heeft destijds de vraag niet gesteld in de ouderen-vragenlijst (zoals bij Vliegbasis Volkel).

Helaas is er in de GMVO geen informatie beschikbaar over specifiek voor vliegtuiggeluid verklarende factoren (zoals houding, verwachtingen, angst en geluidgevoeligheid), waardoor geen verklaring is te geven voor verschillen met de BR-relaties uit 2020 en tussen de verschillende luchthavens in dit onderzoek. Van de gegevens uit 2020 weten we wel dat er minder is gevlogen op de civiele luchthavens, en dat deelnemers waarschijnlijk meer thuis waren vanwege de coronapandemie. Hier was dus mogelijk sprake van een grote verstoring. Landelijk was er op basis van de GMVO minder ernstige hinder van vliegtuiggeluid onder volwassenen in 2024 (3,4%) dan in 2020 (3,7%). Dit was ook het geval voor slaapverstoring, met landelijk 1,5 procent slaapverstoring in 2024 en 1,6 procent in 2020.

6.2 Sterke en zwakke punten van het onderzoek

Zoals bij elk (milieu)epidemiologisch onderzoek kent ook dit onderzoek sterke en zwakke punten en onzekerheden. In de volgende paragraaf bespreken we verschillende aspecten rondom de blootstelling, effecten en analyses.

6.2.1 Aspecten rondom de blootstelling

In het huidige onderzoek is gebruikgemaakt van door het NLR berekende jaargemiddelde geluidbelasting, die gekoppeld is aan het adres van de deelnemers. Aan deze berekeningen zitten onzekerheden. Meer details over de onzekerheden van de geluidberekeningen staat beschreven in de rapportage "*Berekening vliegtuiggeluid 2024 rond civiele en militaire luchthavens'* (Hoekerswever, 2025).

Rekenmodel

In het algemeen geldt dat de onzekerheden in berekeningen voor de militaire luchthavens naar verwachting groter zijn dan die voor de meeste burgerluchthavens. Dit komt met name door het gebruik van gemodelleerde vliegroutes, in plaats van radargegevens voor de militaire luchthavens. Geilenkirchen is hierop een uitzondering. Daar worden ook radargegevens gebruikt. Daarnaast beschikken militaire toestellen, waaronder helikopters, over ruimere technische mogelijkheden en operationele vrijheden dan civiele passagiersvliegtuigen. Hierdoor is het vlieggedrag van militaire toestellen minder voorspelbaar en treden er vaker afwijkingen op ten opzichte van de modellering. Deze afwijkingen doen zich vooral voor op grotere afstand van de vliegbases, maar kunnen in mindere mate ook op korte afstand van deze luchthavens voorkomen (Hoekerswever, 2025).

Voor de regionale burgerluchthavens wordt momenteel gewerkt aan het opstellen van rekenmodellen volgens het rekenvoorschrift dat in Bijlage 1 van de 'Regeling burgerluchthavens' staat, dat verwijst naar Doc29. Een rekenmodel dat voldoet aan het rekenvoorschrift (en daarmee Doc29) wordt opgesteld op het moment dat een luchthavenbesluit wordt voorbereid en daarna wordt vastgesteld. Dit proces is voor de meeste regionale burgerluchthavens nog niet afgerond. De benodigde rekenmodellen waren daarom nog niet beschikbaar tijdens de geluidberekeningen voor dit onderzoek. Als dit proces is afgerond, wordt aanbevolen om de BR-relaties voor de betreffende luchthavens opnieuw af te leiden met de Doc29-implementatie van regionale luchthavens

(Rotterdam The Hague Airport, Maastricht Airport Aachen, Groningen Airport Eelde, Lelystad Airport). De vergelijking tussen BR-relaties afgeleid met Doc29 en het NRM voor de luchthaven Schiphol lieten verschillen zien (Van Poll *et al*., 2023). Tot ongeveer 47 dB toonde het Doc29-model een hoger percentage ernstig gehinderden dan het NRM. Boven de 47 dB laat het NRM juist meer ernstige gehinderden zien dan het Doc29-rekenmodel.

Onderschatting vliegtuiggeluid
In het gemodelleerde geluid door het NLR worden niet alle vliegtuigbewegingen meegenomen. Zo worden in de meeste gevallen kleinere vliegtuigen (<6.000 Kg) op militaire luchthavens niet meegenomen. Helikoptervluchten die in het algemeen maatschappelijk belang worden uitgevoerd (politie en traumahelikopters), worden wel meegenomen. Maar vanwege de specifieke kenmerken van deze vluchten kan de werkelijke blootstelling op lokaal niveau sterk afwijken van wat in de berekeningen is aangenomen (Hoekerswever, 2025). Daarnaast missen ook gegevens van buitenlandse luchthavens in België en Duitsland, zoals Luik en Niederhein. Deze kunnen lokaal ook in Nederland geluid veroorzaken en daarmee mogelijk tot hinder en/of slaapverstoring leiden. Dit kan leiden tot een onderschatting van de daadwerkelijke vliegtuiggeluidbelasting.

Afkapwaarden
We hebben in dit rapport gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om te onderzoeken welk effect het gebruik van verschillende afkapwaarden (minimale geluidniveaus per gemeente) voor de studiepopulatie heeft op de BR-relaties voor ernstige hinder en slaapverstoring rond Schiphol Airport. De resultaten laten zien dat het uitmaakt waar de afkapwaarden in het onderzoek worden getrokken. Uit de analyses blijkt dat op studiepopulaties met hogere afkapwaarden (zoals ≥45 dB L_{den} of ≥35 dB L_{night}) gebaseerde BR-relaties tot hogere voorspelde percentages ernstige hinder en slaapverstoring leiden, vooral bij lagere blootstellingsniveaus. Er was echter slechts sprake van significant andere voorspellingen wanneer de strengste afkapwaarden voor inclusie (en dus het kleinste aantal deelnemers) werden toegepast. Door het gebruik van strengere afkapwaarden kunnen veel mensen buiten de analyse vallen, waaronder een aanzienlijke groep ernstig gehinderden of slaapverstoorden. Het effect van afkapwaarden is groter voor slaapverstoring (L_{night}), dan voor hinder (L_{den}). Het is echter nog niet duidelijk wat de beste aanpak is bij het gebruik van afkapwaarden. Het gebruik van een relatief kleiner studiegebied rondom de luchthaven geeft een studiepopulatie met een gemiddeld hogere geluidblootstelling en een hoger percentage ernstige hinder of slaapverstoring. Tegelijkertijd zijn er ook nog veel deelnemers buiten dit kleinere studiegebied, met een lager percentage hinder, maar toch een aanzienlijk aantal gehinderden. Er moet daarom dus een zekere afweging gemaakt worden om niet te veel deelnemers op voorhand al uit te sluiten. De gevoeligheidsanalyse in dit onderzoek kan voor toekomstige studies worden uitgebreid (bijvoorbeeld ook andere luchthavens) om tot meer inzichten te komen hoe het beste om te gaan met de afkapwaarden.

Geluidbelasting kan ook op grotere afstand van een luchthaven worden berekend. De nauwkeurigheid van de rekenmodellen neemt echter af, naarmate de afstand vanaf de luchthaven of vliegroutes toeneemt. Het is nog onduidelijk waar een ondergrens voor een betrouwbare geluidbelasting gelegd moet worden en dit kan ook per luchthaven verschillen. Het validatie-onderzoek rondom Schiphol Airport heeft laten zien dat er een sterke correlatie is tussen metingen en berekeningen voor het Doc29-model (Sahai, 2024a). In het algemeen werd geconcludeerd dat de gemeten geluidbelasting meestal hoger is dan berekend, met relatief kleine verschillen bij hoge geluidbelasting (ongeveer 1,5 dB), oplopend tot 2,5 dB bij lage geluidbelasting (Sahai, 2024a). Uit het onderzoek naar het toepassingsbereik van metingen en berekeningen van vliegtuiggeluid (Sahai, 2024b) blijkt dat voor Schiphol Airport vanaf ongeveer 50 dB L_{den} en hoger met relatief grote zekerheid is te zeggen dat de berekeningen betrouwbaar zijn. Onder de 50 dB is het onduidelijk of de berekeningen betrouwbaar zijn, omdat er niet genoeg metingen waren met lage geluidniveaus en er dus geen vergelijking was te maken. De meerderheid van deelnemers binnen deze studie had een geluidbelasting lager dan 50 dB. Ook bij lagere geluidbelasting zien we ernstige hinder en slaapverstoring door geluid van vliegverkeer. De onderzoeksresultaten laten duidelijk zien dat er bij 40 dB meer ernstige hinder is dan bij 30 dB.

De gebieden waarin vliegtuigverkeer rond de verschillende Nederlandse luchthavens tot ernstige hinder en ernstige slaapverstoring kan leiden, zijn waarschijnlijk groter dan de nu in dit onderzoek meegenomen rekengebieden, zoals de vliegroutes (**Figuur 3.1**). Dit betekent dat het werkelijke aantal mensen dat ernstige hinder en/of ernstige slaapverstoring van vliegverkeer ondervindt, mogelijk hoger ligt dan in het onderzoek wordt vastgesteld. Het voornaamste onderzoeksdoel was echter het opstellen van BR-relaties voor vliegtuiggeluid en ernstige hinder, dan wel slaapverstoring. Daarop heeft het niet meenemen van alle mogelijk gehinderden of slaapverstoorden zeer vermoedelijk geen effect gehad. Dit is terug te zien in de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse.

Geluid van andere bronnen
Omwonenden van luchthavens worden niet alleen blootgesteld aan geluid van vliegverkeer, maar ook aan andere bronnen van omgevingsgeluid, zoals wegverkeer en railverkeer. Al dit geluid samen wordt ook wel ‘gecumuleerd geluid’ genoemd. Voor de regels rondom cumulatie van geluid en hinder van dit geluid is het belangrijk om zoveel mogelijk de meest recente BR-relaties (Sahai *et al*., 2026) te gebruiken. De BR-relaties in dit rapport zijn hiervoor te gebruiken. In een nog uit te brengen rapport worden ook nationale BR-relaties bepaald voor ernstige hinder en slaapverstoring en geluid van weg-, rail- en vliegverkeer. Daarnaast is het goed om onderzoek uit te voeren naar gezondheidseffecten van gecumuleerde blootstelling, omdat kijken naar alleen één bron dus waarschijnlijk een onderschatting geeft van de hinder die mensen van omgevingsgeluid ondervinden.

Naast geluid van vliegverkeer worden omwonenden ook blootgesteld aan andere milieufactoren, zoals luchtverontreinigende stoffen in hun woonomgeving. Deze andere milieufactoren kunnen (gestapelde)

gezondheidsrisico's met zich meebrengen. Dit rapport geeft dus alleen een beperkt beeld van de luchtvaarteffecten op de gezondheid van omwonenden. Recent is verkend wat nodig is om gecumuleerde gezondheidsrisico's rondom Schiphol Airport in beeld te brengen (Houthuijs en Janssen, 2025).

6.2.2 *Aspecten rondom de meting van hinder en slaapverstoring*

We hebben in dit onderzoek verder alleen gekeken naar langetermijnhinder en slaapverstoring in de volwassen populatie (18 jaar en ouder). Er is niet naar kortetermijnhinder en/of slaapverstoring gekeken, zoals dat door Devilee (2024) is gedaan.

Slaapverstoring routing

Voor slaapverstoring hebben de GGD'en een zogenoemde doorlusoptie binnen de digitale vragenlijst toegepast. Een doorlusoptie houdt in dat sommige vragen uit de digitale vragenlijst niet gesteld worden aan bepaalde deelnemers, afhankelijk van eerdere antwoorden op andere vragen binnen de vragenlijst. Wanneer deelnemers bij de vraag over hinder door vliegtuiggeluid het antwoord "niet hoorbaar" gaven, werd de vraag over slaapverstoring door vliegtuiggeluid overgeslagen. Personen die in de digitale vragenlijst bij de hindervraag een score 0 tot 10 hebben ingevuld, kregen wel de vraag over slaapverstoring. Deelnemers die een papierenvragenlijst hebben ingevuld, kregen wel beide vragen, ongeacht het antwoord op de hindervraag.

In dit onderzoek kozen we ervoor om in de analyses alleen de mensen mee te nemen die daadwerkelijk de vraag hebben ingevuld. Dit heeft als nadeel dat je een deel van de populatie niet meeneemt. Deze populatie is wellicht selectief. In een gevoeligheidsanalyse keken we of dit invloed had op de resultaten (resultaten niet getoond). Doordat de meeste mensen als ze wel waren meegenomen in de categorie 'niet gehinderd' waren terechtgekomen, geven de gepresenteerde getallen een kleine overschatting. In een nog uit te brengen rapport over nationale BR-relatie van omgevingsgeluid (weg-, rail- en vliegverkeer) en ernstige hinder en slaapverstoring wordt uitgebreider hiernaar gekeken.

6.2.3 *Aspecten rondom de analyses*

Populatieweging

Bij het opstellen van de BR-relaties in dit rapport is gebruikgemaakt van een wegingsfactor. Dit is gedaan omdat de deelnemers van de GMVO niet volledig representatief zijn voor de Nederlandse populatie: sommige groepen en mensen zijn oververtegenwoordigd. Het responspercentage op de vragenlijst onder ouderen was bijvoorbeeld hoger. Door te wegen, sluiten de BR-relaties beter aan bij de werkelijke bevolkingssamenstelling in de betreffende gemeenten. Het gebruik van populatie-weging heeft effect op het verloop van de BR-relaties. De gewogen BR-relaties liggen vrijwel over de hele blootstelling lager dan de ongewogen curves. Dit betekent dat bij dezelfde geluidbelasting zonder weging meer ernstige hinder wordt voorspeld. Een nadeel van populatie-weging is dat de resultaten verder van de daadwerkelijk verzamelde gegevens komen af te staan en de analyse complexer wordt. Dat maakt de interpretatie en communicatie van de resultaten lastiger. Toch zorgt het gebruik van weging voor een betere inschatting van het aantal ernstig gehinderden in het studiegebied. De relatie zet

immers iets over *alle* volwassen inwoners van het gebied, in plaats van over alleen de studiedeelnemers in het gebied.

Meerdere analyses per luchthavens
Voor het afleiden van BR-relaties voor vliegtuiggeluid zijn in dit onderzoek verschillende modellen toegepast. Hieruit blijkt dat de relatie tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid en de respons van omwonenden niet altijd monotoon stijgend verloopt. De gekozen analysemethode heeft dus invloed op het uiteindelijke verloop van de BR-relatie. In dit onderzoek gaven we per luchthaven aan welke analyse de beste modelfit had met de onderliggende gegevens. Voor toekomstig onderzoek raden we om net als in het huidige onderzoek analysetechnieken te gebruiken die rekening houden met het mogelijk niet-monotone karakter van BR-relaties bij vliegtuiggeluid, om zo te kijken welke model het beste is.

Ondanks dat een BR-relatie op basis van een logistisch regressiemodel met een spline-functie zowel stijgende als dalende verbanden kan beschrijven, levert deze relatie geen gebruiksvriendelijke formule op waarmee derde partijen in de praktijk kunnen rekenen. Om het voor deze BR-relaties toch mogelijk te maken de verwachte hoeveelheid hinder/slaapverstoring bij specifieke geluidwaarden te schatten, is er bij de rapportage een tabel meegeleverd (in de vorm van een Excel-spreadsheet) met de schattingen per dB per BR-relatie. Hiermee kan dan zelf gerekend worden. Dit betreft zowel de schattingen op basis van het model met en zonder spline-functie. Waar mogelijk, zijn er ook formules beschikbaar.
Hiervoor is het van belang dat er bij eigen toepassingen binnen het toepassingsbereik van de BR-relatie wordt gerekend. Bij hogere geluidbelasting dan het toepassingsbereik, is ervoor te kiezen om het percentage ernstige hinder van het eind van toepassingsbereik te gebruiken.

Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen
De GMVO-gegevens geven een goed beeld van de huidige situatie rond hinder en slaapverstoring door geluid van vliegverkeer in Nederland. De gegevens zijn beschikbaar voor een grote populatie rondom verschillende luchthavens in Nederland, waarbij de vragen op een uniforme manier zijn vastgesteld. Doordat de vraag in 2016 (deels), 2020 (grotendeels) en 2024 (compleet) in de basisvragenlijst is opgenomen, kunnen er vergelijkingen gemaakt worden over de tijd.

De GMVO als instrument om onderzoek te doen naar BR-relaties kent ook nadelen. Omdat het primaire doel van de monitor niet is om onderzoek te doen naar effecten van vliegverkeer, is er geen informatie over andere specifieke factoren beschikbaar die mogelijk een rol kunnen spelen, zoals verwachtingen, houding ten opzichte van de luchthaven en geluidgevoeligheid (Van Kempen en Simon, 2019). Verder is het responspercentage in de afgelopen editie van de GMVO teruggelopen. In 2024 was het totale responspercentage 30,3 procent. In 2020 was het responspercentage 39,2 procent en in 2016 was het responspercentage 41,1 procent. Absoluut was het aantal deelnemers in de verschillende jaren nog steeds hoog: 450.146 in 2016, 529.754 in 2020 en 446.587 in 2024. Voor het afleiden van BR-relaties van vliegverkeer heeft er een

ophoging plaatsgevonden in gemeenten dicht bij de luchthavens. Het ophogen van de steekproef is lastig in verband met de eisen die GGD'en en CBS aan steekproeffracties stellen. In combinatie met een teruglopend responspercentage is het daardoor een uitdaging om voldoende deelnemers te krijgen met een hoge geluidbelasting.

6.3 Aanbevelingen

Op basis van het huidige onderzoek komen we tot de volgende aanbevelingen:

Gebruik zoveel mogelijk recente en luchthaven-specifieke BR-relaties

In dit onderzoek zijn per luchthaven verschillende BR-relaties afgeleid, op basis van verschillende modellen. In principe kunnen op beide methodes gebaseerde BR-relaties gebruikt worden om een schatting te maken van de omvang van de ernstige hinder en slaapverstoring. Uit dit onderzoek is gebleken dat voor sommige luchthavens de BR-relatie die gebaseerd is op een logistisch regressiemodel met een spline-functie een duidelijke betere modelfit had dan het logistisch regressiemodel. En dus een betere vertegenwoordig is van de relatie tussen geluidblootstelling en ernstige hinder of slaapverstoring. Het verdient in die gevallen de voorkeur om de BR-relaties te gebruiken, die zijn afgeleid met methode met de beste modelfit.

Het onderzoek laat zien dat er verschillen zijn met BR-relaties uit eerdere jaren (2002 en 2020). Ondanks dat de verschillen soms klein lijken, kunnen de effecten op schattingen wel groter zijn, omdat het ook afhangt van de blootstellingsverdeling van de populatie.

Van Kempen (2021) heeft laten zien dat berekeningen van het aantal ernstig gehinderden aanzienlijk kunnen verschillen bij gebruik van verschillende BR-relaties of vragenlijsten. Hiervoor zijn meerdere oorzaken aan te wijzen, zoals de manier waarop blootstelling aan vliegtuiggeluid wordt geschat, het gekozen toepassingsbereik van de BR-relaties, en de wijze waarop hinder wordt gemeten. De effecten bij blootstelling aan een geluidbron hangen verder niet alleen puur af van het niveau van de geluidblootstelling, maar worden ook bepaald door niet-akoestische factoren.

Het is daarom belangrijk om zoveel mogelijk recente BR-relaties te gebruiken bij toepassingen voor beleid en schattingen van de hoeveelheid hinder of slaapverstoring, omdat deze de actuele situatie het beste beschrijft.

Daarnaast zagen we in dit onderzoek ook verschillen tussen de verschillende luchthavens, zowel in de BR-relatie als in het toepassingsbereik. Het is daarom naast het gebruik van recente BR-relaties ook belangrijk om waar mogelijk luchthaven-specifieke BR-relaties te gebruiken. Als er geen luchthaven-specifieke BR-relatie is afgeleid, kan gekozen worden om de gecombineerde BR-relatie voor burger dan wel militaire luchthavens te gebruiken, of een BR-relatie van een vergelijkbare luchthaven.

Blijf hinder en slaapverstoring rondom luchthavens monitoren

BR-relaties zijn van groot belang voor het Nederlandse beleid. Ze worden onder andere gebruikt om in te schatten hoeveel mensen ernstig gehinderd of slaapverstoord worden door vliegverkeer in een bepaald gebied, zoals in milieueffectrapportages en gebruiksprognoses. Omdat lokale omstandigheden rond luchthavens en de beleving van mensen die rondom luchthavens wonen kunnen veranderen en er voortdurend nieuwe inzichten ontstaan, zoals stillere vliegtuigen en isolatie van woningen, is het belangrijk dat deze kennis actueel blijft. Om te voorkomen dat aanpassingen in beleid en regelgeving te lang op zich laten wachten, adviseren we periodiek (bijvoorbeeld minimaal elke vier of vijf jaar) de BR-relaties voor vliegtuiggeluid te actualiseren en gezondheidseffecten zoals hinder en slaapverstoring rondom luchthavens te blijven monitoren. De GMVO blijft voor monitoring een geschikt instrument. Wel is het hierbij van belang om de steekproef rond de luchthavens op te hogen als men hiervoor blootstelling-responsrelaties wil afleiden. We bevelen aan de slaapverstoringsvraag voor iedereen uit te vragen, zodat geen aannames hoeven worden te gedaan, of deelnemers niet meegenomen hoeven te worden.

De rol van andere factoren (co-determinanten) op hinder en slaapverstoring

Doordat BR-relaties inzicht geven in het aantal mensen dat ernstig gehinderd of slaapverstoord wordt door vliegverkeer in een bepaald gebied, biedt dit de overheid kennis om afwegingen te maken. Uit onderzoek is bekend dat, behalve het geluid, ook andere factoren een rol kunnen spelen bij ernstige hinder of ernstige slaapverstoring (Van Kempen & Simon, 2019). Dan gaat het onder meer om persoonlijke en contextuele factoren (co-determinanten), zoals geluidgevoeligheid, verwachtingen over toekomstige geluidniveaus, angst, bezorgdheid, houding en de mate waarin omwonenden zich betrokken voelen bij besluitvorming door de overheid (procedurele rechtvaardigheid), die invloed kunnen hebben op de ervaren hinder (Van Kempen & Simon, 2019). Door deze factoren in kaart te brengen, ontstaat inzicht in welke aanvullende maatregelen mogelijk ingezet kunnen worden om hinder en slaapverstoring door vliegverkeer te beperken, naast het terugbrengen van de geluidbelasting. Als de overheid ook (meer) wil inzetten op dit soort aanvullende maatregelen, wordt aanbevolen om nader te onderzoeken hoe deze factoren bij onderhavige luchthavens samenhangen en in hoeverre ze te beïnvloeden zijn.

De GMVO is hiervoor geen geschikte methode omdat het primaire doel niet is om onderzoek te doen naar effecten van vliegverkeer. Hierdoor is er maar beperkt ruimte voor vragen over andere factoren die van invloed kunnen zijn. Een voorbeeld van een geschikt onderzoek is het belevingsonderzoek rondom Eindhoven Airport (Van Ballegooij *et al.*, 2024).

Onderzoek ook andere effecten van vliegverkeer en de rol van hinder en slaapverstoring hierin

Hinder door omgevingsgeluid, zoals van vliegverkeer, wordt beschouwd als een chronische stressbron, die op de lange termijn kan bijdragen aan het ontstaan van gezondheidseffecten. Vanuit de internationale literatuur weten we dat blootstelling aan vliegverkeer ook andere

gezondheidseffecten kan veroorzaken (WHO, 2018). Sinds het uitkomen van de WHO-richtlijnen voor omgevingsgeluid is er ook naar andere gezondheidseffecten gekeken dan hart- en vaatziekten, zoals onder andere kanker, dementie, depressie (*European Environmental Agenc*y, 2025). In Nederland is weinig onderzoek hiernaar gedaan. Het RIVM heeft toegang tot verschillende gezondheidsregistraties (databases) met landelijke dekking, zoals gebruikt in onderzoek naar effecten van ultrafijnstof rond Schiphol Airport (Janssen *et al*., 2022). Daarnaast kan met de over hinder en slaapverstoring uit de Gezondheidsmonitor verzamelde gegevens, de mogelijke rol van deze effecten onderzocht worden op andere effecten zoals hart- en vaat ziekten, zoals gedaan is in Zweden (Hadad *et al*., 2024).

Onzekerheden in de blootstellingkarakterisering
Geluidbelasting kan op grotere afstand van een luchthaven worden berekend, maar de nauwkeurigheid van rekenmodellen neemt af met de afstand. Ook bij lagere geluidbelasting zien we ernstige hinder en slaapverstoring door vliegverkeer. Bij het interpreteren van lagere blootstellingsniveaus moet rekening worden gehouden met een mate van onzekerheid, maar hoe groot deze onzekerheid is nog niet vast te stellen. Voor epidemiologisch onderzoek is het belangrijk om meer duidelijkheid te krijgen over de betrouwbaarheid van de gemodelleerde lage geluidbelasting per luchthaven. Dit kan helpen met het bepalen van toepassingsbereik van een BR-relatie. Bij implementatie van Doc29 voor regionale luchthavens is het aan te bevelen om de BR-relaties voor de burgerluchthavens opnieuw af te leiden met dit nieuwe rekenmodel, omdat we in 2020 verschillen zagen voor de luchthaven Schiphol Airport (Van Poll *et al*., 2023). Hierop aansluitend kan ook verder onderzoek gedaan worden naar wat geschikte afkapwaarden van de geluidblootstelling zijn voor inclusie van onderzoeksdeelname naar BR-relaties. In het huidige onderzoek was dit gebaseerd op de gemiddelde geluidbelasting per gemeente, waarbij de gevoeligheidsanalyse aantoonde dat deze keuze een beperkt, maar duidelijk effect kan hebben op de BR-relatie. Voor toekomstige afleidingen van BR-relaties wordt daarom aangeraden om daarnaar ook verder onderzoek te doen.

BR-relaties op basis van Doc29 rekenmodel
Tijdens het uitvoeren van de geluidberekeningen was de implementatie van Doc29 voor de regionale burgerluchthavens (Rotterdam The Hague Airport, Maastricht Aachen Airport, Groningen Airport Eelde en Lelystad Airport) nog niet voltooid. Daarom is voor de bepaling van de geluidblootstelling, en dus voor het opstellen van de BR-relaties, gebruik gemaakt van het NRM. Zodra Doc29 voor deze luchthavens beschikbaar is, wordt aanbevolen om de BR-relaties voor deze luchthavens opnieuw te bepalen.

6.4 Conclusie

Het huidige onderzoek laat zien dat rondom de meeste luchthavens in Nederland ernstige geluidhinder en slaapverstoring door vliegverkeer voorkomt. Voor de meeste onderzochten luchthavens is voor ernstige hinder en vliegtuiggeluid een BR-relatie af te leiden. De BR-relaties laten een stijging van het percentage ernstig gehinderden zien bij een toename van de geluidbelasting. Voor ernstige slaapverstoring zijn voor

Schiphol Airport en Rotterdam The Hague Airport BR-relaties bepaald. Hierbij is ook een hoger percentage ernstig slaapverstoorden bij een hogere nachtelijke geluidbelasting.

Bij het schatten van de omvang van het aantal mensen dat ernstig wordt gehinderd of slaapverstoord door geluid van vliegverkeer, zou zoveel mogelijk gebruikgemaakt moeten worden van een luchthaven-specifieke BR-relatie, omdat we in dit onderzoek verschillen zagen tussen luchthavens.

In vergelijking met de BR-relaties uit 2002 and 2020, laten de nieuwe BR-relaties in dit onderzoek verschillen zien. Het is daarom belangrijk om de meest recente BR-relaties te gebruiken voor beleid en in berekeningen van ernstige hinder en slaapverstoring.

Referenties

Aho K., Derryberry D, Peterson T. (2014). Model selection for ecologists: The worldviews of AIC and BIC. Ecology. 95. 631-6. 10.1890/13-1452.1.

Van Ballegooij M, Van Gestel, A en Blous, L. (2024) Beleving Leefomgeving Rond Luchthaven Eindhoven – meting 2023. GGD Brabant-Zuidoost en GGD Hart voor Brabant. Rapport-Beleving-leefomgeving-rond-luchthaven-Eindhoven-2023.pdf

Basner, Mathias, and McGuire. (2018) WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. International journal of environmental research and public health vol. 15,3 519. 14 Mar. 2018, doi:10.3390/ijerph15030519.

Breugelmans ORP, Van Wiechen CMAG, Van Kamp I, Heisterkamp SH, Houthuijs DJM (2005). Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002. Tussenrapportage Monitoring Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 630100001/2004.

Breugelmans O., Houthuijs D., Poll R. van. (2016) Inventarisatie van gezondheids- en belevingsonderzoeken (1996- 2015) rondom (regionale) luchthavens van nationale betekenis. Bilthoven, RIVM. RIVM-briefrapport 2016-0101.

Breugelmans O, Houthuijs D, Van Kempen E. (2019) Geluidhinder rond Nederlandse luchthavens Monitoring, enquêtes en blootstelling-responsrelaties. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 2019-0110

Brink M, Schäffer B, Schreckenberg D. (2025) Key aspects for survey data processing and statistical analysis when modelling exposure-annoyance relationships. Congres paper Forum Acusticum Euronoise.

Devilee J, Mabjaia N, Volten H, Haaima M, Sahai A, Reedijk M, Van Kempen E, Schipper M (2024). Samen meten aan geluid en beleving rond de luchthaven Schiphol. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 2024-0057.

European Enviromental Agency (2025). Environmental Noise in Europe 2025, EEA report 05/2025. doi: 10.2800/9200716

Guski R., Schreckenberg D., Schuemer R. (2017) WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and annoyance. Int J Environ Res Public Health. 14(12). pii:1539.

Hahad, O., Gilan, D., Michal, M. *et al.* (2024) Noise annoyance and cardiovascular disease risk: results from a 10-year follow-up study. *Sci Rep* **14**, 5619. https://doi.org/10.1038/s41598-024-56250-8

Heblij S.J. en Derei J. (2019) Methodenrapport Doc29. NLR-CR-2019-076.

Hoekerswever B.J. (2025). Berekening vliegtuiggeluid 2024 rond civiele en militaire luchthavens. NLR-CR-2025-227.

Hoekstra J., Van Poll R, Reedijk M. (2024). Blootstelling-Responsrelaties vliegtuiggeluid. Geluidhinder en slaapverstoring rond Eindhoven Airport. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 2024-0153.

Houthuijs D, Janssen N.A.H. (2025). Verkenning van de mogelijkheden om gecumuleerde gezondheidsrisico's door milieubelasting rond Schiphol in beeld te brengen. Bilthoven, RIVM. RIVM Rapport 2025-0128.

ISO, 2021 Acoustics — Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. International Organization for Standardization.

Janssen P.H.M., Slob W., and Rotmans J., Gevoeligheidsanalyse en onzekerheidsanalyse: een inventarisatie van ideeen, methoden en technieken. 1990, Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 958805001

Janssen N.A.H., Houthuijs D., Dusseldorp, A. (2022). Gezondheidseffecten van ultrafijn stof van vliegverkeer rond Schiphol. Integraal rapport. Bilthoven, RIVM RIVM-rapport 2022-0069

Van Kempen, E.E.M.M & Simon, S.N. (2019). Kennisscan hinder door luchtvaartgeluid: Effecten van woningisolatie en niet-akoestische factoren. Bilthoven, RIVM. RIVM-briefrapport 2019-0096

Van Kempen, E. (2021). Nieuwe gezondheidskundige richtlijnen voor omgevingsgeluid. Nadere gezondheidskundige analyses. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 2020-0148.

Kriekels A., Weegrapport GM2020, CBS, 20 april 2021.

Lemstra D. (2025). De geluidbelasting rondom de vliegbasis Deelen voor het jaar 2024. NLR. NLR-CR-2025-004. https://www.defensie.nl/documenten/2025/03/07/geluidbelasting-deelen-2024

Lumley T., "survey: analysis of complex survey samples", R package version 4.4., 2024

Van Poll R., Reedijk M., Hoekstra J., Swart W., Van de Kassteele J., Houthuijs D. (2023). Relaties vliegtuiggeluid - Hinder en slaapverstoring 2020. Civiele en militaire vliegvelden in Nederland. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 2022-0007

R Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing, 2025, https://www.R-project.org/

Sahai A., Wartenberg T., Mabija N., Hogenhuis R., Heblij S., Vinkx K. (2024a). Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid (PAMV): Validatie Doc.29-model voor Schiphol. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 2023-0429.

Sahai A., Mabija N., Wartenberg T., Heblij S., Hogenhuis R., Vinkx K. (2024b). Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid (PAMV): Toepassingsbereik metingen en berekeningen van vliegtuiggeluid. Bilthoven, RIVM, RIVM-rapport 2023-0366.

Sahai A., Wartenberg T., Van Kempen E., Kok A. (2026) Methoden voor gecombineerde blootstelling aan geluid en het effect op hinder. Het geheel is groter dan de som der delen. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 2025-0156.

Schober P., Vetter P. (2021) Logistic Regression in Medical Research, Anesth Analg. 2021 Jan 14;132(2):365–366. doi: 10.1213/ANE.0000000000005247

Smetsers, R., *et al*. (2019). Vliegtuiggeluid: meten, berekenen en beleven: Een verkenning van wensen en ontwikkelopties. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 2019-0201.

Smith M.G., Cordoza M., Basner M. Environmental Noise and Effects on Sleep: An Update to the WHO Systematic Review and Meta-Analysis. Environ Health Perspect. 2022 Jul;130(7):76001. doi: 10.1289/EHP10197. Epub 2022 Jul 11. PMID: 35857401; PMCID: PMC9272916.

Sperandei S. (2014). Understanding logistic regression analysis. Biochem Med (Zagreb). 2014 Feb 15;24(1):12–18. doi: 10.11613/BM.2014.003

Welkers D., Van Kempen E., Helder R., Verheijen E., Van Poll R. (2020) Motie Schonis en de WHO-richtlijnen voor omgevingsgeluid (2018): het doel heiligt de middelen. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 2019-0227.

Welkers D., Sahai A., \ban Kempen E., Helder R. (2021) Analyse gelijkwaardigheidscriteria Schiphol. Bilthoven, RIVM. RIVM-briefrapport 2020-0219

World Health Organization. Regional Office for Europe. (2018). Environmental noise guidelines for the European Region: executive summary (WHO/EURO:2018-3287-43046-60243, Issue. https://www.who.int/publications/i/item/9789289053563

Afkortingen

AIC: Akaike information criterion

BI: Betrouwbaarheidsinterval

BAG: Basisregistratie Adressen en Gebouwen

BR-relatie: Blootstelling-responsrelatie. Dit geeft de samenhang weer tussen de blootstelling aan bijvoorbeeld geluid en de kans of waarschijnlijkheid dat een bepaald effect, bijvoorbeeld hinder, optreedt.

CBS: Centraal Bureau voor de Statistiek

dB(A): Decibel met geluidweging A. In dit rapport korten we dit af naar dB, omdat er geen andere geluidwegingen in dit rapport terugkomen.

Doc29: ECAC Doc29 3rd Edition Report on Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, kortweg: Doc29 ECAC European Civil Aviation Conference

EH: Ernstig gehinderden

ES: Ernstig slaapvestoorden

GES: Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol

GGD: Gemeentelijke of Gemeenschappelijke Gezondheidsdienst

GMVO: Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen

ISO: International Organization for Standardization

Ke: Kosteneenheid.

L_{den}: Level-day-evening-night. Jaargemiddelde maat voor geluid in het gehele etmaal, met een weging naar dag, avond en nacht.

L_{night}: Jaargemiddelde maat voor geluid in de nacht.

NLR: Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

NRM: Nederlands Reken Model

PAMV: Programmatische Aanpak Meten en Reken Vliegtuiggeluid

RIVM: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

WHO: World Health Organization (Wereld Gezondheid Organisatie)

Bijlage 1 beschrijving van luchthavens, geluidmaten en effecten

Beschrijving van luchthavens

Schiphol Airport
De luchthaven Schiphol Airport heeft zes start- en landingsbanen, waarvandaan passagiers, vracht en zakelijke/privé-vluchten plaatsvinden. In 2024 waren er 489.336 vliegbewegingen[10]. In totaal waren er 24.941 nachtvluchten door handelsverkeer (ILT, Handhavingsrapportage Schiphol, 2023-2024)[11].

Groningen Airport Eelde
De Luchthaven Groningen Airport Eelde heeft één start- en landingsbaan en een heliport. De luchthaven wordt voornamelijk gebruikt voor passagiers en lesvluchten. In 2024 waren er 10.169 vliegbewegingen[12]. In totaal waren er 385 nachtvluchten voor reddingsacties, hulpverlening of medische vluchten (ILT, Handhavingsrapportage Groningen Airport Eelde 2024-2025)[13].

Rotterdam The Hague Airport
De luchthaven Rotterdam The Hague Airport heeft één start- en landingsbanen, waarvandaan met name passagiersvluchten plaatsvinden. In 2024 waren er 30.729 vliegbewegingen[14]. In totaal waren er 1.262 nachtvluchten door handelsverkeer (ILT, Handhavingsrapportage Rotterdam The Hague Airport 2024)[15].

Lelystad Airport
De luchthaven Lelystad Airport heeft één start- en landingsbaan. In 2024 waren ruim 75.000 vliegtuigbewegingen voornamelijk algemeen vliegverkeer (waarvan 61% les – en oefenvluchten)[16]. Er was één nachtvlucht (ILT, Handhavingsrapportage Lelystad Airport, 2024)[17].

Maastricht Aachen Airport
Maastricht Aachen Airport heeft één start-/landingsbaan. In 2024 waren er 7.485 passagiers- en vrachtvluchten[18]. In totaal waren er zeven nachtvluchten.[19]

[10] CBS, Statline, Luchtvaart, maandcijfers Nederlandse luchthavens van nationaal belang. Geraadpleegd op 22 april 2026.
[11] Handhavingsrapportage Schiphol 2024 | Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT)
[12] CBS, Statline, Luchtvaart, maandcijfers Nederlandse luchthavens van nationaal belang. Geraadpleegd op 22 april 2026.
[13] Handhavingsrapportage Groningen Airport Eelde 2024-2025 | Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT)
[14] CBS, Statline, Luchtvaart, maandcijfers Nederlandse luchthavens van nationaal belang. Geraadpleegd op 22 april 2026.
[15] https://www.ilent.nl/documenten/luchtvaart/luchthavens/rapporten/handhavingsrapportage-rotterdam-the-hague-airport-2024
[16] Hoeveel vliegbewegingen zijn er van en naar Nederland? | CBS. Geraadpleegd in maart 2026.
[17] https://www.ilent.nl/documenten/luchtvaart/luchthavens/rapporten/handhavingsrapportage-lelystad-airport-2024
[18] CBS, Statline, Luchtvaart, maandcijfers Nederlandse luchthavens van nationaal belang. Geraadpleegd op 22 april 2026.
[19] https://www.ilent.nl/documenten/luchtvaart/luchthavens/rapporten/handhavingsrapportage-maastricht-aachen-airport-2024

Vliegbasis Geilenkirchen
In dit onderzoek is Maastricht Aachen Airport samengenomen met militaire NAVO-Vliegbasis Geilenkirchen, gelegen in Duitsland. Dit vanwege de grote overlap in gemeenten. Deze vliegbasis heeft één start- en landingsbaan. In 2024 waren hier 1.577 vliegbewegingen[20].

Maritiem Vliegkamp De Kooy
Maritiem Vliegkamp De Kooy heeft één start- en landingsbaan, waarvandaan zowel civiel als militaire vluchten vertrekken. In 2024 er 15.778 civiele vliegbewegingen en 6.972 militaire vliegbewegingen[21].

Vliegbasis Eindhoven
Vliegbasis Eindhoven heeft één start- en landingsbaan, waarvandaan zowel militaire als civiele vluchten vertrekken. In totaal waren er in 2024 45.325 vliegbewegingen. Hiervan was het grootste deel civiel met 40.827 bewegingen. In totaal waren er 4.498 militaire vliegbewegingen[22].

Vliegbasis Volkel
Vliegbasis Volkel heeft één start- en landingsbaan met een parallelbaan. De luchthaven wordt voornamelijk gebruikt voor jachtvliegtuigen en helikopters. In 2024 waren er 9.369 vliegbewegingen waarvan 2.304 door F35, 2534 door F16, 4.275 AMB-helikopters, 72 door andere jachtvliegtuigen, 164 door overige vliegtuigen en 20 door andere helikopters[23].

Vliegbasis Gilze-Rijen
Vliegbasis Gilze-Rijen heeft een heli-square en twee start- en landingsbanen. In 2024 waren er 29.048 vliegbewegingen, waarvan het grootste gedeelte door helikopters. Aantal bewegingen naar vliegtuigtype: 12.374 door Chinook, 9.137 door Apache, 5.467 door Cougar, 134 door NH90, 1.015 door overige helikopters, 662 door lichte propellervliegtuigen en 259 door overige vliegtuigen[24].

Vliegbasis Leeuwarden
Vliegbasis Leeuwarden heeft een heli-square en twee start- en landingsbanen. De vliegbewegingen zijn vooral militair (voornamelijk jachtvliegtuigen) en spoedvluchten vanuit Waddeneilanden. In 2024 waren er 7.592 bewegingen waarvan:4.339 met F35, 771 met F16, 1.379 met AMB-helikopters 316 door andere jachtvliegtuigen, 699 door overig vliegtuigen en 88 door overig helikopters[25].

[20] Reinders, O. (2025). Halfjaarrapportage vliegbaanbewaking vliegbasis Geilenkirchen, tweede halfjaar 2024. NLR. NLR-CR-2025-523.
[21] Lemstra, D. (2026). De geluidbelasting rondom het Maritiem Vliegkamp De Kooy voor het jaar 2025. NLR. NLR-CR-2026-168.
[22] Lemstra, D. (2025). De geluidbelasting rondom de militaire luchthaven Eindhoven voor het jaar 2024. NLR. NLR-CR-2025-005. https://www.defensie.nl/documenten/2025/03/07/geluidbelasting-eindhoven-2024
[23] Reinders O. (2025). De Geluidbelasting rondom de vliegbasis Volkel voor het jaar 2024. NLR. NLR-CR-2025-008. https://www.defensie.nl/documenten/2025/03/07/geluidbelasting-volkel-2024
[24] Reinders O. (2025). De geluidbelasting rondom de vliegbasis Gilze-Rijen voor het jaar 2024. NLR. NLR-CR-2025-006. https://www.defensie.nl/documenten/2025/03/17/geluidbelasting-gilze-rijen-2024
[25] Lemstra, D. (2025). De geluidbelasting rondom de vliegbasis Leeuwarden voor het jaar 2024. NLR. NLR-CR-2025-007. https://www.defensie.nl/documenten/2025/03/07/geluidbelasting-leeuwarden-2024

Vliegbasis Woensdrecht
Vliegbasis Woensdrecht heeft één start- en landingsbaan en een heli-square. In 2024 waren er 9.103 vliegbewegingen, waarvan het grootste deel met Pilatus PC-7 (n=7.556), 80 door jachtvliegtuigen, 1.033 door helikopters, 74 door propellervliegtuigen en 365 door overige vliegtuigen[26].

Vliegbasis Deelen
In 2024 waren er 1.502 vliegbewegingen van Vliegbasis Deelen. Hiervan waren er 759 door Chinook, 65 door Apache, 383 door Cougar, 23 door NH90, 260 door overige helikopters en 12 door andere vliegtuigen.[27]

Beschrijving van geluidmaten

Dit onderzoek neemt drie geluidmaten mee: L_{den}, L_{night} en Kosteneenheid. De Kosteneenheid wordt alleen meegenomen voor de militaire luchthavens.

L_{den}
De L_{den} is een maat van geluidbelasting voor het hele etmaal en vaak gebruikt in regelgeving. De 'den' is een afkorting van '*day-evening-night*'. De L_{den}, zoals toegepast binnen dit onderzoek, is een jaargemiddelde van de 24-uurs-waarde waarin verschillende wegingen worden toegepast voor blootstelling gedurende de dagperiode (7-19 uur), de avondperiode (19-23 uur) en de nachtperiode (23-7 uur). Binnen de L_{den} wordt het verloop van het geluidniveau gedurende de gehele vliegbeweging meegenomen.

L_{night}
De L_{night} is vergelijkbaar gedefinieerd als de L_{den}, maar bevat alleen de nachtelijk periode (23-7 uur). Er worden geen extra wegingsfactoren toegepast.

Kosteneenheid
De Kosteneenheid (Ke) is een geluidmaat, die gebaseerd is op het vliegverkeer gedurende een jaar. Deze wordt bepaald door maximale geluidniveaus (LAmax) van individuele vliegtuigbewegingen bij elkaar op te tellen. Aan vliegtuigbewegingen gedurende de avond en nacht wordt een extra weging gegeven. Hierdoor wegen deze zwaarder mee. Zie rapportage NLR (Hoekerswever, 2024) voor de exacte straffactoren per tijdsperiode. De maat Kosteneenheid wordt toegepast voor handhavingsberekeningen voor Nederlandse militaire luchthavens. Deze wordt niet meer gebruikt voor civiel vliegverkeer in Nederland (wel als civiel vliegverkeer op een militaire basis plaatsvindt zoals Eindhoven Airport en De Kooy).

Beschrijving effecten hinder en slaapverstoring

Hinder
Hinder is een verzamelterm voor uiteenlopende negatieve gevoelens, zoals ergernis, ontevredenheid, boosheid, teleurstelling, zich

[26] Reinders O. (2025). De geluidbelasting rondom de vliegbasis Woensdrecht voor het jaar 2024. NLR. NLR-CR-2025-009. https://www.defensie.nl/documenten/2025/03/07/geluidbelasting-woensdrecht-2024
[27] Lemstra D.(2025). De geluidbelasting rondom de vliegbasis Deelen voor het jaar 2024. NLR. NLR-CR-2025-004. https://www.defensie.nl/documenten/2025/03/07/geluidbelasting-deelen-2024

teruggetrokken voelen, hulpeloosheid, neerslachtigheid, ongerustheid, verwarring, het zich uitgeput voelen en agitatie (WHO, 2011). Of iemand iets als hinderlijk ervaart, verschilt per persoon. Dit komt doordat hinder niet alleen wordt bepaald door de mate van geluidblootstelling, maar ook door diverse andere factoren. Denk hierbij aan situationele, contextuele en persoonsgebonden factoren, ook wel niet-akoestische factoren of co-determinanten genoemd. Voorbeelden van niet-akoestische factoren zijn: gevoeligheid voor geluid, verwachtingen over toekomstige veranderingen, angstreacties en de houding ten opzichte van de bron van hinder (geluid van vliegtuigen). Omdat mensen hierin verschillen, is het niet mogelijk om exact te voorspellen wie in welke mate hinder ondervindt. Wel is op groepsniveau aan te geven hoeveel hinder er gemiddeld voorkomt.

Slaapverstoring
Naast hinder kijkt dit onderzoek naar slaapverstoring door nachtelijk geluid van vliegverkeer. Slaap is voor de mens een belangrijk herstelmechanisme. Als mens hebben we voldoende slaap nodig om goed te kunnen functioneren. Het zorgt ervoor dat we overdag alert zijn, dat we beter kunnen omgaan met stress, en dat onze concentratie en geheugenfuncties goed werken. Een (chronisch) verstoorde slaap kan negatieve gevolgen hebben voor de gezondheid, zoals een verhoogde hartslag, toegenomen bewegingen tijdens de slaap, verandering in slaapritme, nachtelijk ontwaken en slapeloosheid.

De vragen zoals ze in de basisvragenlijst zitten van de GMVO 2024 staan in **Figuur B1.1**. Het gaat hier dus om zelf-gerapporteerde gezondheidseffecten van de deelnemers. De deelnemers aan de GMVO 2024 hadden geen toegang tot de berekende geluidsbelasting op hun woonadres.

Figuur B1.1 De vragen over geluidhinder en slaapverstoring uit de basisvragenlijst Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2024.

L. GELUIDHINDER

L1. **Denk bij deze vraag aan de laatste 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate geluid van de onderstaande bronnen u hindert, stoort of ergert wanneer u thuis bent?** *Als een geluid bij u thuis niet hoorbaar is, kunt u dit in de laatste kolom aangeven.*

	Ik ben helemaal niet gehinderd										Ik ben extreem gehinderd	Niet hoorbaar
Geef op iedere regel uw antwoord.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Verkeer op wegen waar je harder mag dan 50 km/uur	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Verkeer op wegen waar je niet harder mag dan 50 km/uur	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Treinverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Vliegverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Brommers / scooters	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Buren	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bedrijven / industrie	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Windturbines / windmolens	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Warmtepompen / airco's	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

M. SLAAPVERSTORING

M1. **Denk bij deze vraag aan de laatste 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate geluid van de onderstaande bronnen uw slaap verstoort wanneer u thuis bent?**
Als een geluid bij u thuis niet hoorbaar is, kunt u dit in de laatste kolom aangeven.

	Mijn slaap is helemaal niet verstoord										Mijn slaap is extreem verstoord	Niet hoorbaar
Geef op iedere regel uw antwoord.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Verkeer op wegen waar je harder mag dan 50 km/uur	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Verkeer op wegen waar je niet harder mag dan 50 km/uur	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Treinverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Vliegverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Brommers / scooters	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Buren	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bedrijven / industrie	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Windturbines / windmolens	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Warmtepompen / airco's	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Bijlage 2 Extra Tabellen en Figuren

Tabel B2.1 Aantal extra vragenlijsten uitgezet per GGD-regio

GGD	Luchthaven	Aantal vragenlijsten
Amsterdam	Schiphol Airport	3.500
Zaanstreek/Waterland	Schiphol Airport	300
Hollands-Noorden	Schiphol Airport	500
Kennemerland	Schiphol Airport	600
Brabant-Zuidoost	Vliegbasis Eindhoven	1.030
Hart voor Brabant	Vliegbasis Eindhoven	2.120
Brabant-Zuidoost	Vliegbasis De Peel	1.000
Limburg-Noord	Vliegbasis De Peel	500
Hart voor Brabant	Vliegbasis De Peel	500
Groningen	Groningen Airport Eelde	950
Drenthe	Groningen Airport Eelde	1.550
Flevoland	Lelystad Airport	2.000
Friesland	Leeuwarden	3.000
Hart voor Brabant	Vliegbasis Gilze-Rijen	3.000
Hart voor Brabant	Vliegbasis Volkel	3.000
Hollands-Noorden	Maritiem Vliegkamp De Kooy	2.000
Rotterdam-Rijnmond	Rotterdam The Hague Airport	3.500
West-Brabant	Vliegbasis Woensdrecht	1.000
Zuid-Limburg	Maastricht Aachen Airport	1.500
Zuid-Limburg	Vliegbasis Geilenkirchen	1.500

Tabel B2.2 ΔAIC per logistische regressiemodel voor elke luchthaven waar BR-relaties voor zijn afgeleid op basis van L_{den} of L_{night}.

Luchthaven	BR-relatie	Model	ΔAIC[1]
Schiphol Airport	EH-L_{den}	LR	28
Schiphol Airport	EH-L_{den}	LRS*	0
Schiphol Airport	ES-L_{night}	LR	137
Schiphol Airport	ES-L_{night}	LRS*	0
Rotterdam The Hague Airport	EH-L_{den}	LR	104
Rotterdam The Hague Airport	EH-L_{den}	LRS*	0
Rotterdam The Hague Airport	ES-L_{night}	LR	51
Rotterdam The Hague Airport	ES-L_{night}	LRS*	0
Vliegbasis Eindhoven	EH-L_{den}	LR	35
Vliegbasis Eindhoven	EH-L_{den}	LRS*	0
Maastricht-Geilenkirchen	EH-L_{den}	LR	63
Maastricht-Geilenkirchen	EH-L_{den}	LRS*	0
Vliegbasis Gilze-Rijen	EH-L_{den}	LR*	0
Vliegbasis Gilze-Rijen	EH-L_{den}	LRS*	10
Vliegbasis Leeuwarden	EH-L_{den}	LR*	4
Vliegbasis Leeuwarden	EH-L_{den}	LRS*	0
Vliegbasis Volkel	EH-L_{den}	LR	23
Vliegbasis Volkel	EH-L_{den}	LRS*	0
Burgerluchthavens exclusief Schiphol Airport	EH-Lden	LR	535
Burgerluchthavens exclusief Schiphol Airport	EH-Lden	LRS*	0
Militaire luchthavens	EH-L_{den}	LR	72
Militair luchthavens	EH-L_{den}	LRS*	0

1. De delta AIC (Akaike Information Criterion) is het verschil tussen de AIC-waarde van een model met het beste fittende model (het model met de laagste AIC)). Het beste fittende model heeft een delta AIC van 0, wanneer de delta AIC van een model groter dan 10 is, wordt ervan uitgegaan dat het model een slechtere modelfit heeft dan het model met de laagste AIC.

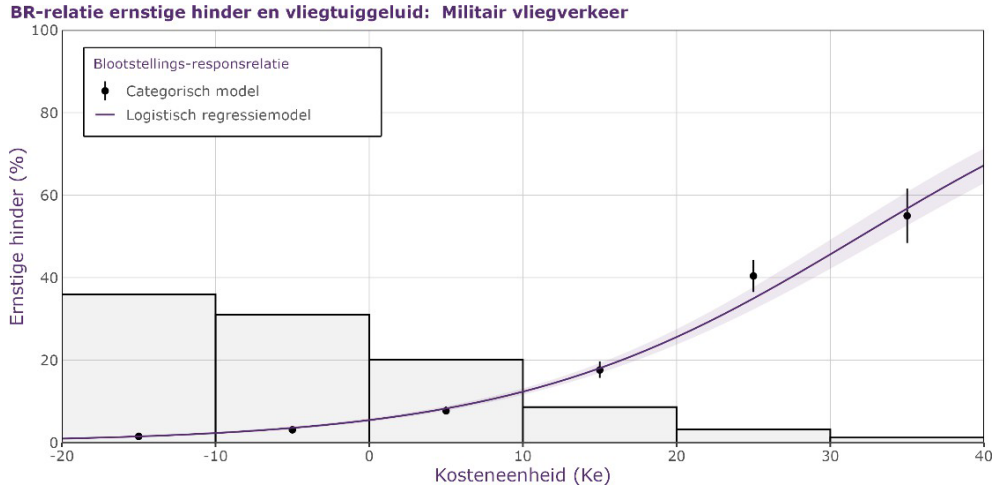
EH=ernstige hinder, ES=ernstige slaapverstoring, LR = Logistisch regressiemodel, LRS = Logistisch regressiemodel met spline-functie. * = Het model met de beste modelfit op basis van de AIC.

Tabel B2.3 Formules continue BR-relaties per luchthaven

Naam	Formule	Toepassings bereik
L_{den} - EH		
Schiphol Airport	%EH = (1 / (1 + e-(-9,78067 + 0,16671*L_{den}))) * 100	30 – 60 dB
Rotterdam The Hague Airport	%EH = (1 / (1 + e-(-8,97671 + 0,15345*L_{den}))) * 100	25 – 55 dB
Vliegbasis Eindhoven	%EH = (1 / (1 + e-(-8,55874 + 0,14236*L_{den}))) * 100	30 – 55 dB
Maastricht & Geilenkirchen	%EH = (1 / (1 + e-(-8,10735 + 0,13679*L_{den}))) * 100	25 – 55 dB
Vliegbasis Gilze-Rijen	%EH = (1 / (1 + e-(-11,08465 + 0,19042*L_{den}))) * 100	30 – 53 dB
Vliegbasis Volkel	%EH = (1 / (1 + e-(-7,52602 + 0,11888*L_{den}))) * 100	30 – 60 dB
Vliegbasis Leeuwarden	%EH = (1 / (1 + e-(-8,580 + 0,14441*L_{den}))) * 100	30 – 63 dB
Civiele luchthavens exl. Schiphol	%EH = (1 / (1 + e-(-7,50673 + 0,11720*L_{den}))) * 100	15 – 60 dB
Militaire luchthavens	%EH = (1 / (1 + e-(-8,31665 + 0,13546*L_{den}))) * 100	0 – 65 dB
L_{night} - ES		
Schiphol Airport	%ES = (1 / (1 + e-(-8,13131 + 0,15531*L_{night}))) * 100	22 – 48 dB
Rotterdam The Hague Airport	%ES = (1 / (1 + e-(-6,21491 + 0,11041*L_{night}))) * 100	5 – 43 dB
Kosteneenheid - EH		
Vliegbasis Eindhoven	%EH = (1 / (1 + e-(-3,04121 + 0,09182*Ke))) * 100	-20 – 30 Ke
Vliegbasis Gilze-Rijen	%EH = (1 / (1 + e-(-3,38497 + 0,0867*Ke))) * 100	-20 – 20 Ke
Vliegbasis Volkel	%EH = (1 / (1 + e-(-2,77723 + 0,08128*Ke))) * 100	-20 – 40 Ke
Vliegbasis Leeuwarden	%EH = (1 / (1 + e-(-2,56948 + 0,08942*Ke))) * 100	-20 – 40 Ke

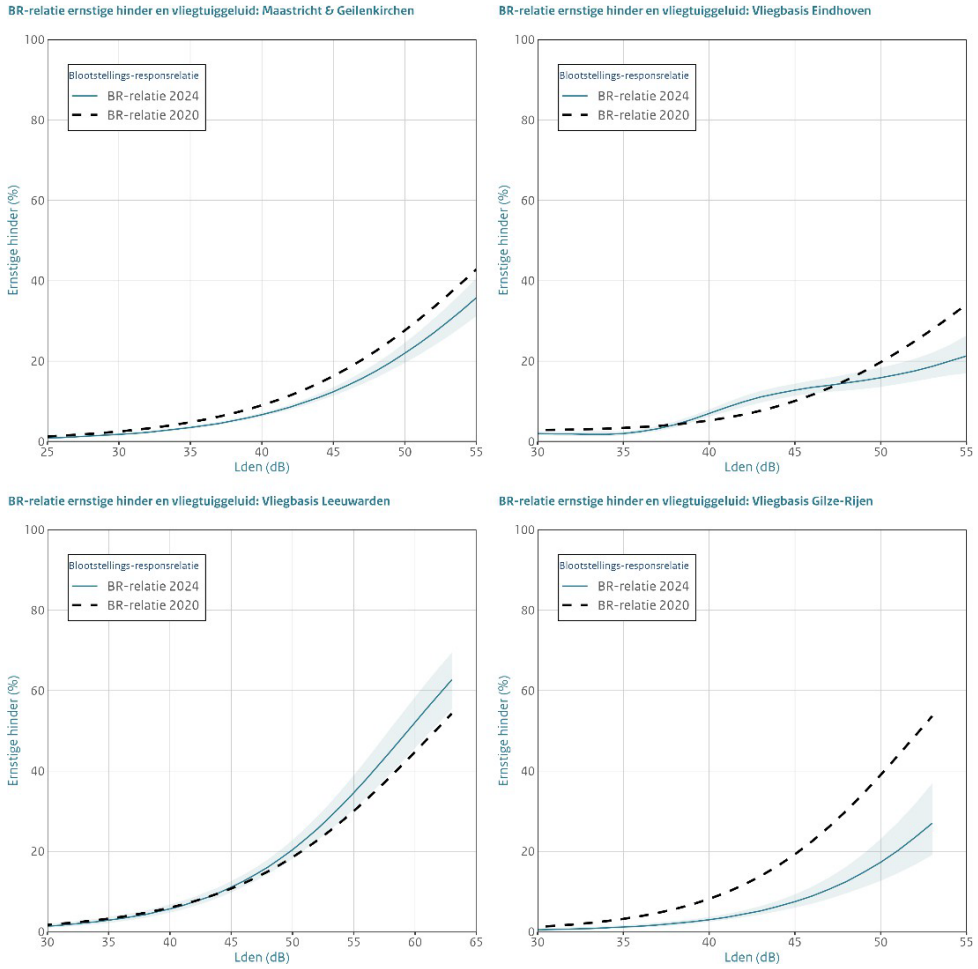
EH= ernstige hinder, ES=ernstige slaapverstoring, Ke=kosteneenheid, dB=decibel.
* Excel met daarin percentage ernstige ernstig en slaapverstoring per 1 dB voor zowel continue als spline-BR-relaties.

Figuur B2.1 Blootstelling-responsrelatie (BR-relatie) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (Kosteneenheid, berekend met NRM binnen de studiegebieden van militaire luchthavens.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer, gebaseerd op een model met een continue blootstelling. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de curve. De verticale zwarte lijnen en punten geven de uitkomsten weer van de categorische BR-relatie. Ze vertegenwoordigen de kans op ernstige hinder (plus betrouwbaarheidsinterval) van de desbetreffende 10 Ke-groep. De laagste en hoogste 10 Ke-groep bevat ook alle deelnemers met een respectievelijk lagere of hogere blootstelling van de 10 Ke-dB-groep. De grijze vlakken geven weer welke percentage van de totale studiepopulatie binnen welke 10 Ke-groep valt. De curve is slechts getoond over het toepassingsbereik (-20-40 Ke) van de BR-relatie.

Figuur B2.2 Vergelijking van blootstelling-responsrelatie (BR-relaties) tussen ernstige hinder en blootstelling aan vliegtuiggeluid (L_{den}, berekend met Nederlands Rekenmodel (NRM)) uit 2024 en 2020 van vier verschillende luchthavens.



De gekleurde lijn geeft de BR-relatie weer van 2024. De gekleurde vlakken rondom de lijn vertegenwoordigen het betrouwbaarheidsinterval van de BR-relatie van 2024. De gestreepte lijn geeft de BR-relatie van 2020 weer. De getoonde BR-relaties zijn gebaseerd op een zelfde type logistisch regressiemodel (Maastricht en Geilenkirchen, Vliegbasis Volkel en Vliegbasis Leeuwarden: een logistisch regressiemodel zonder spline, Vliegbasis Eindhoven: een logistisch regressiemodel met spline.

Bijlage 3 Gegevens van blootstelling-responserelaties tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid en ernstige hinder/slaapverstoring rondom burgerluchthavens en militaire luchthavens in Nederland met gegevens van 2024

Zie de bijlage https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2026-0054.xlsx

Zie sheet B3.1 (Blootstelling-responserelaties tussen vliegtuigtuiggeluid (Lden) en ernstige hinder).

Zie sheet B3.2 (Blootstelling-responserelaties tussen vliegtuigtuiggeluid (Lnight) en ernstige slaapverstoring).

Zie sheet B3.3 (Blootstelling-responserelaties tussen vliegtuigtuiggeluid (Kosteneenheid) en ernstige hinder).

Dit is een uitgave van:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

juni 2026

De zorg voor morgen begint vandaag