



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

# Relaties vliegtuiggeluid – **hinder en slaapverstoring 2020**

Civiele en militaire vliegvelden in Nederland



## Colofon

© RIVM 2023

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

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

DOI 10.21945/RIVM-2022-0007

R. van Poll (editor), RIVM  
M. Reedijk (auteur), RIVM  
J. Hoekstra (auteur), RIVM  
W. Swart (auteur), RIVM  
J. van de Kastele (auteur), RIVM  
D. Houthuijs (auteur), RIVM

### Contact:

Ric van Poll  
Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid\Milieukwaliteit en Gezondheid  
[ric.van.poll@rivm.nl](mailto:ric.van.poll@rivm.nl)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), Directoraat Generaal Luchtvaart en Maritiem (DGLM), directie Luchtvaart (LV) in het kader van Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid (PAMV).

Dit is een uitgave van:  
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**  
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
Nederland  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)



## Publiekssamenvatting

### **Relaties vliegtuiggeluid – hinder en slaapverstoring 2020**

Civiele en militaire vliegvelden in Nederland

Het RIVM heeft bij omwonenden van 14 luchthavens onderzocht aan hoeveel geluid ze blootstaan en welke invloed dit had op de (mate van) hinder en slaapverstoring. De relatie tussen de blootstelling aan vliegtuiggeluid en de mate van hinder of slaapverstoring heet een blootstelling-responsrelatie (BR-relatie). De luchthavens waren Schiphol, Groningen, Rotterdam, Lelystad, Eindhoven en Maastricht en 8 militaire luchthavens.

In 2002 deed het RIVM al onderzoek om BR-relaties voor hinder en slaapverstoring te bepalen, maar toen alleen voor de luchthaven Schiphol. De BR-relaties van Schiphol werden daarna ook voor de andere luchthavens gebruikt. In het huidige onderzoek zijn de BR-relaties opnieuw bepaald op basis van gegevens uit 2020. Dit is voor elke luchthaven apart gedaan. De uitkomsten zijn vergeleken met de BR-relaties voor Schiphol uit 2002. Hieruit blijkt dat de blootstelling-respons relatie voor Schiphol uit 2002 geen goede beschrijving meer is voor de huidige relatie tussen vliegtuiggeluid en hinder en slaapverstoring rond Schiphol. Datzelfde geldt ook voor de beschrijving voor de regionale luchthavens. Meer omwonenden van vrijwel alle luchthavens ervaren bij dezelfde hoeveelheid geluid in 2020 ernstige hinder en ernstige slaapverstoring dan in 2002. Uit het onderzoek blijkt dat de relatie tussen de blootstelling aan vliegtuiggeluid en de mate van hinder of slaapverstoring per luchthaven anders is dan die van Schiphol en dat daarom per (regionale) luchthaven een eigen BR-relatie nodig is.

Het RIVM gebruikt voor dit onderzoek gegevens uit de Gezondheidsmonitor 2020 van de GGD. Deze monitor gaat over hoe omwonenden hun gezondheid ervaren. De Gezondheidsmonitor vraagt niet naar andere omstandigheden dan de mate van hinder en slaapverstoring. Meer inzicht in deze omstandigheden is nodig om nauwkeuriger in beeld te brengen waardoor mensen gehinderd of slaapverstoord zijn. Voorbeelden zijn de houding van mensen ten opzichte van de luchthaven en de individuele gevoeligheid voor geluid.

De corona-epidemie heeft mogelijk invloed gehad op de resultaten van het onderzoek uit 2020. Bewoners van de gemeenten rond luchthavens hebben in 2020 meer ernstige hinder ervaren dan in 2016, terwijl er bij de meeste luchthavens minder is gevlogen. Een mogelijke verklaring is dat mensen vanwege de coronamaatregelen meer thuis werkten en daardoor meer of vaker vliegtuiggeluid hebben gehoord.

Het RIVM heeft dit keer ook een andere methode (spline-methode) gebruikt om een BR-relatie te maken. Deze methode is ingewikkelder

om uit te voeren maar laat de relatie tussen de blootstelling en ervaren ernstige hinder preciezer zien.

Het RIVM beveelt aan vaker BR-relaties rondom luchthavens te updaten. Daarnaast beveelt het RIVM aan om voor elke luchthaven een eigen BR-relatie te gebruiken en deze in de toekomst met de spline-methode te bepalen.

Dit onderzoek is uitgevoerd als onderdeel van de Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid (PAMV) in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW).

Kernwoorden: Schiphol, luchthavens, hinder, slaapverstoring, vliegtuiggeluid, BR-relatie, co-determinanten

## Synopsis

### **Relationship aircraft sound – annoyance and sleep disturbance 2020**

Civil and military airports in the Netherlands

RIVM has carried out a study among persons living in the direct vicinity of 14 airports regarding the level of their exposure to noise and the effects in terms of annoyance and sleep disturbance. The relationship between exposure to aircraft noise and the degree of annoyance or sleep disturbance is known as an exposure-response (ER) relationship. The airports included in the study were Amsterdam Airport Schiphol, Groningen Airport Eelde, Rotterdam The Hague Airport, Lelystad Airport, Eindhoven Airport, Maastricht Aachen Airport and eight military airfields.

RIVM previously investigated ER relationships for annoyance and sleep disturbance in 2002, but that study was limited to Schiphol. The ER relationships established for Schiphol at that time were applied to other airports as well. This year's study established new ER relationships for each airport individually, based on data from 2020. The newly established ER relationships were compared to the ER relationships for Schiphol from 2002. This shows that the exposure-response relationship for Schiphol from 2002 is no longer a good description for the current relationship between aircraft noise and annoyance and sleep disturbance around Schiphol. The same applies to the description for regional airports. More people living near almost all airports experience severe annoyance and severe sleep disturbance in 2020 with the same amount of noise than in 2002. The research shows that the relationship between exposure to aircraft noise and the degree of annoyance or sleep disturbance per airport is different from that of Schiphol and that therefore a separate BR relationship is needed for each (regional) airport.

For this study, RIVM used data from the 2020 Municipal Public Health Service health monitor, in which persons living in the direct vicinity of airports rated their own health. The health monitor only included the degree of annoyance and sleep disturbance as factors. Further research is needed to gain a clearer understanding of what specifically causes annoyance or sleep disturbance in the ER relationship. Examples of such factors can include personal attitudes to airports and individual noise sensitivity.

The coronavirus pandemic may have influenced the results of the 2020 health monitor. Residents of municipalities in the direct vicinity of airports experienced a greater degree of annoyance in 2020 than in 2016, despite a decline in flights at most airports. A possible explanation is that more people worked from home due to the coronavirus measures and were therefore exposed more frequently or to more or aircraft noise.

In the present study RIVM used a different method, the spline method, to establish ER relationships. The spline method is more complicated to use but yields more accurate results regarding the relationship between aircraft noise exposure and severe annoyance.

RIVM recommends updating the ER relationships for airports more regularly. It also recommends establishing an ER relationship for each airport individually, using the spline method.

This study was carried out on behalf of the Dutch Ministry of Infrastructure and Water Management as part of the Program-Based Approach to Measuring Aircraft Noise (*Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid*, PAMV).

Keywords: Schiphol, airports, annoyance, sleep disturbance, aircraft noise, ER relationship, co-determinants



## Inhoud

### **Samenvatting — 9**

#### **1 Aanleiding — 15**

- 1.1 Inleiding — 15
- 1.2 Doel — 16
- 1.3 Leeswijzer — 17

#### **2 Werkwijze — 19**

- 2.1 Bepaling van de blootstelling — 19
  - 2.1.1 Keuze en ligging van de luchthavens — 19
  - 2.1.2 Afbakening studiegebieden — 21
  - 2.1.3 Berekening vliegtuiggeluid — 22
  - 2.1.4 Geluidindicatoren — 24
- 2.2 Effecten blootstelling aan geluid — 25
  - 2.2.1 Gezondheidsmonitor — 25
  - 2.2.2 Hinder — 26
  - 2.2.3 Slaapverstoring — 26
- 2.3 Relatie: blootstelling - respons — 27
  - 2.3.1 Bestaande BR-relaties — 27
- 2.4 Analyses — 28

#### **3 Bevindingen — 31**

- 3.1 Introductie — 31
- 3.2 Civiele luchthavens — 32
  - 3.2.1 Studiepopulatie, ernstige hinder, ernstige slaapverstoring en blootstelling rondom civiele luchthavens — 32
  - 3.2.2 Relatie tussen vliegtuiggeluid en effect per luchthaven — 33
- 3.3 Civiele en militaire luchthavens — 52
  - 3.3.1 Studiepopulatie, ernstige hinder, ernstige slaapverstoring en blootstelling rondom civiele en militaire luchthavens — 52
  - 3.3.2 Relatie blootstelling vliegtuiggeluid en effect per luchthaven — 54
- 3.4 Militaire luchthavens — 70
  - 3.4.1 Studiepopulatie, ernstige hinder, ernstige slaapverstoring en blootstelling rondom militaire luchthavens — 70
  - 3.4.2 Relatie blootstelling vliegtuiggeluid en effect per militaire luchthaven — 72
- 3.5 Samenvatting resultaten — 92

#### **4 Conclusie-discussie — 97**

- 4.1 Beantwoording onderzoeksdoelen — 97
- 4.2 Discussie(punten) — 100
- 4.3 Onderzoeksaanbevelingen — 101
  - 4.3.1 Vervolgonderzoek — 101
  - 4.3.2 Niet lineaire effecten vliegtuiggeluid — 101
  - 4.3.3 Co-determinanten (niet-akoestische factoren) — 102
  - 4.3.4 Gevoeligheidsanalyse — 103
- 4.4 Conclusies en aanbevelingen — 103

### **Afkortingen — 105**



## Samenvatting

*In deze studie hebben we de relatie tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid (civiel en militair) en effect op hinder en slaapverstoring onderzocht. De blootstelling aan vliegtuiggeluid werd berekend door het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR). Hinder en slaapverstoring werd onderzocht met behulp van de Gezondheidsmonitor Volwassen en Ouderen. Het doel was om blootstelling-responsrelaties (BR-relaties) op te stellen.*

### *Wat was de aanleiding van het onderzoek?*

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) zoekt antwoord op de vraag hoe de luchtvaart in Nederland zich kan ontwikkelen in balans met andere belangen zoals veiligheid, duurzaamheid en leefbaarheid. Deze thema's worden onder andere uitgewerkt in de Luchtvaartnota 2020-2050. In 2019 heeft het ministerie van IenW, directie Luchtvaart een aantal kennisinstellingen (NLR, KNMI, RIVM) gevraagd om een verkenning uit te voeren naar de mogelijkheden om, rekening houdend met belevingsaspecten, verbeteringen door te voeren bij het meten en berekenen van vliegtuiggeluid.

Een van deze aanbevelingen uit de verkenning ging over 'Hinder en Gezondheid' en betrof het monitoren van hinder en slaapverstoring rondom luchthavens en het beschrijven van de relatie tussen enerzijds blootstelling aan vliegtuiggeluid en anderzijds de effecten 'ernstige hinder' en 'ernstige slaapverstoring'.

### *Wat was het doel van het onderzoek?*

Doel van dit onderzoek was het afleiden van BR-relaties tussen geluid van (militair) vliegverkeer en ernstige hinder/slaapverstoring voor regionale en nationale luchthavens in Nederland. Een BR-relatie geeft het verband weer tussen blootstelling aan in dit geval vliegtuiggeluid en de kans op bijvoorbeeld ernstige hinder of ernstige slaapverstoring. In het bijzonder ging het om:

- Vaststellen of de Schiphol BR-relatie uit 2002<sup>1</sup> nog steeds een adequate beschrijving van de geluidhinder en slaapverstoring van de omwonenden van Schiphol geeft.
- Afleiden van BR-relaties rond (regionale) luchthavens en vaststellen in welke mate deze overeenkomen/verschillen met de BR-relatie voor luchthaven Schiphol 2002 (die op dit moment ook op deze luchthavens wordt toegepast).

### *Wat is onderzocht?*

Om dit doel te bereiken is informatie uit de GGD Gezondheidsmonitor 2020 gekoppeld aan de door het NLR berekende geluidblootstellingen over 2020 van de onderzochte luchthavens.

<sup>1</sup> Breugelmans ORP, van Wiechen CMAG, van Kamp I, Heisterkamp SH, Houthuijs DJM. Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002. Tussenrapportage Monitoring Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol. RIVM-rapport 630100001/2004.

### De luchthavens

In totaal werden veertien luchthavens onderzocht<sup>2</sup>: vijf burger luchthavens, zeven militaire luchthavens en twee militaire luchthavens met civiel medegebruik.

### De geluidblootstelling

De geluidblootstelling rondom de luchthavens is door het NLR berekend met het Nederlandse Reken Model (NMR) voor het jaar 2020<sup>3</sup>. Voor Schiphol is de geluidblootstelling daarnaast ook met het Doc29 model berekend. Voor alle luchthavens zijn de  $L_{den}$  en de  $L_{night}$  geluidindicatoren bepaald, deze laatste voor zover er nachtvluchten waren. Voor de militaire luchthavens is de geluidblootstelling (B) in  $K_e$  berekend.

### De effecten

Gegevens over ernstige hinder en ernstige slaapverstoring zijn verzameld met de GGD Gezondheidsmonitor, editie 2020 (GM2020). De Gezondheidsmonitor is een vragenlijst die door GGD-en wordt gebruikt om elke vier jaar informatie over de zelf-gerapporteerde gezondheid van de bevolking te verzamelen ten behoeve van de advisering van het gemeentelijk gezondheidsbeleid. Aan de GM 2020 namen 530.248 inwoners deel.

### De analyses

Per luchthaven en per indicator ( $L_{den}$ ,  $L_{night}$  en  $K_e$ ) werd de blootstellingsverdeling in categorieën van 5 dB respectievelijk 5  $K_e$  weergegeven (gemiddeld, groepsniveau, stapsgewijs model). Met een weergave in categorieën waren er minder schattingspunten maar werd meer rekenschap gegeven van het aantal respondenten dat bepalend is voor de omvang van de ernstige hinder bij een gegeven blootstelling. Vooral bij hoge blootstellingsniveaus kan de invloed hiervan groot zijn omdat in gebieden met hogere blootstellingsniveaus doorgaans minder mensen wonen. Ook wordt met deze benadering geen aanname gedaan over een verband tussen blootstelling en effect.

Daarnaast is met een statistische analysetechniek die logistische regressie wordt genoemd (lineair model) de relatie tussen geluidblootstelling en effecten onderzocht. Met deze techniek wordt gezocht naar een lijn die het best de samenhang tussen blootstelling en effect beschrijft (fit) op de individuele data. Hiermee kunnen in toekomstige situaties met behulp van beschikbare geluidblootstelling voorspellingen over de omvang van de effecten worden gedaan. Tegenwoordig zijn er ook meer verfijnder technieken beschikbaar om niet lineaire effecten te schatten met behulp van een zogenaamde spline functie. Deze is ook toegepast.

### *Wat zijn de belangrijkste bevindingen?*

De belangrijkste bevindingen uit dit onderzoek zijn de BR-relaties voor de onderzochte luchthavens.

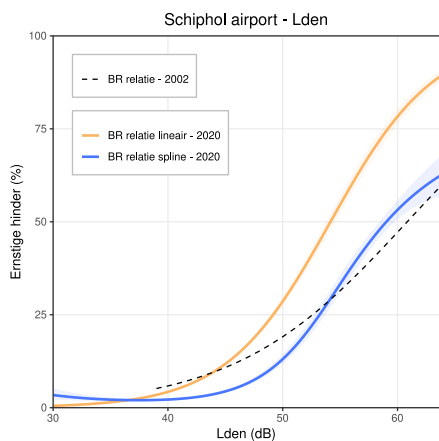
<sup>2</sup> Burgerluchthavens: Luchthaven Schiphol, Maastricht Aachen Airport, Groningen Airport Eelde, Lelystad Airport, Rotterdam The Hague Airport. Militaire luchthavens: Vliegbasis Deelen, Vliegbasis Gilze-Rijen, Vliegbasis Woensdrecht, Vliegbasis Volkel, Vliegbasis Leeuwarden, Vliegbasis De Peel, Vliegbasis Geilenkirchen en luchthavens met burger medegebruik: Eindhoven Airport, Maritiem Vliegveld De Kooy.

<sup>3</sup> Hogenhuis, R. H., et al. (2021). Berekening vliegtuiggeluid 2020 rond civiele en militaire luchthavens. Berekeningen in het kader van de programmatische aanpak meten vliegtuiggeluid. NLR-CR-2021-134.

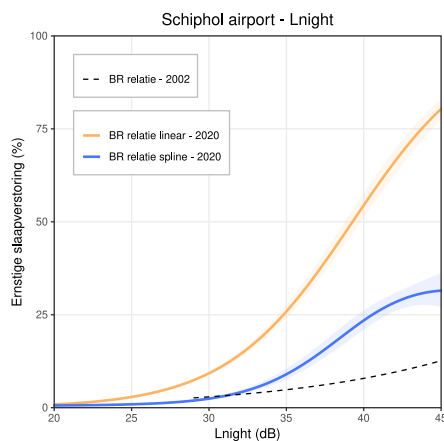
### Blootstelling-responsrelaties Schiphol

In Figuur 0.1 zijn het lineaire en 'spline' model voor de indicator  $L_{den}$  en ernstige hinder weergegeven voor Luchthaven Schiphol, GM2020 en het lineaire model voor Schiphol/GES 2002. Bij lagere blootstelling, <40 dB, volgen beide modellen (lineair GM2020, Ges 20202) elkaar goed. Daarboven lopen de BR-relaties uit elkaar. De lineaire curve loopt door tot 70 dB en leidt tot ruim 90 procent ernstige hinder bij deze waarde van blootstelling. De lineaire curve geeft over de hele blootstellingsrange meer ernstig gehinderden dan de 2002-curve. De 2002-curve begint bij ongeveer 40 dB en loopt door tot ongeveer 65 dB. De lineaire curves lijken vanaf ongeveer 45 dB uit elkaar te lopen.

In Figuur 0.2 zijn het lineaire en 'spline' model voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring weergegeven voor de Luchthaven Schiphol, GM2020 en het lineaire model voor Schiphol/GES 2002. De lineaire curve 2020 ligt over de gezamenlijke range van blootstellingen boven de 2002-curve. De lineaire curve 2020 loopt door tot 50 dB en leidt tot ruim negentig procent ernstige slaapverstoring bij deze waarde van de blootstelling.



*Figuur 0.1 BR-relatie lineair en spline-model (+ betrouwbaarheidsinterval, BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder Schiphol 2020 (GM) en het lineaire model 2002 (Schiphol/GES).*



*Figuur 0.2 BR-relatie lineair en spline-model (+ BI) voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring, Schiphol 2020 (GM) en het lineaire model 2002 (Schiphol/GES).*

### Blootstelling-respons relaties militaire en (regionale) luchthavens

Voor de meeste luchthavens konden BR-relaties worden opgesteld (zie Tabel 39). Voor sommige luchthavens (bijv. Deelen) kon geen BR-relatie worden opgesteld vanwege te grote onzekerheid over de schatting van de omvang van de ernstige hinder of ernstige slaapverstoring.

In vergelijking met de Schiphol BR-relatie uit 2002 laten de meeste BR-relaties uit 2020 meer ernstige hinder en meer ernstige slaapverstoring zien bij dezelfde geluidblootstelling.

### Welke kanttekeningen moeten we plaatsen?

Een eerste kanttekening betreft de veranderingen van de vloot in kwalitatief en kwantitatief opzicht, in de afgelopen 18 jaar. Deze periode

van veranderingen ligt tussen het vaststellen van de Schiphol curves en de GM2020-curves.

Een volgende kanttekening betreft het effect van de Sars-Covid 19 pandemie-maatregelen op het aantal vliegbewegingen. Het onderzoek vond plaats in 2020. In dit jaar werden maatregelen genomen in verband met de pandemie zoals beperking van het aantal vliegbewegingen en thuiswerkadviezen. In 2020 waren er 349.837 vliegbewegingen op de Nederlandse luchthavens voor handelsvliegverkeer tegenover 655.572 vliegbewegingen in 2019. Een aanzienlijk verschil dat ook van invloed zal zijn geweest op de mate van geluidblootstelling. De geluidblootstelling zal voor de meeste luchthavens in 2020 lager zijn geweest dan in 2019. Daarnaast bleek uit een onderzoek op nationaal niveau dat de ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door geluid van vliegverkeer was afgenomen ten opzichte van 2019<sup>4</sup>. Lokaal, op gemeenteniveau bij gemeenten rondom de luchthavens, bleek dat de ernstige hinder en ernstige slaapverstoring was toegenomen ten opzichte van 2016<sup>5</sup>. Een mogelijke verklaring is dat door minder vliegbewegingen de geluidblootstelling wellicht lager was en daardoor ook de intensiteit maar dat door de coronamaatregelen mensen meer thuis waren en daardoor vaker vliegtuigeluid waarnamen.

#### Vergelijkbaarheid

In 2002 registreerde Schiphol ruim 401.000 vliegbewegingen. In 2020 waren dit er ruim 227.000, een afname ten opzicht van 2019 met ongeveer 170.000 als gevolg van de maatregelen rond de Covid-19 pandemie.

De waargenomen verschillen kunnen mogelijk ook worden verklaard door verschillen in de onderzoeksopzet: het aantal deelnemers in 2002 bedroeg 5.734 als onderdeel van een luchthaven specifiek onderzoek, in 2020 waren dit er ruim 126.000 in een specifieke regio rond de luchthaven als onderdeel van een landelijk onderzoek (de GM 2020). De zeggingskracht van de GM 2020 data lijkt daarmee op basis van aantallen deelnemers groter dan die van de Schiphol/GES 2002 data. In 2002 is een non-respons onderzoek<sup>6</sup> uitgevoerd om eventueel te controleren en corrigeren voor selectieve non-respons. In GM 2020 is geen non-responsonderzoek uitgevoerd. Wel heeft een weging van de uitkomsten plaatsgevonden zodat de mate van ernstige hinder en ernstige slaapverstoring voor een aantal kenmerken representatief zijn voor de primaire eenheden<sup>7</sup>. Het is dus niet uit te sluiten dat selectieve non-respons heeft plaatsgevonden, hoewel niet heel erg aannemelijk is dat dit de resultaten heeft beïnvloed.

#### Representativiteit

Alhoewel de situatie in 2020 niet goed vergelijkbaar is met de situatie in 2019, lijkt de situatie van 2020 meer representatief voor opvolgende

<sup>4</sup> van Poll, R. en S. Simon (2021). Ernstige hinder en slaapverstoring in Nederland – Onderzoek Beleving Woonomgeving (OBW) 2020 Hinder in tijden van corona. RIVM-rapport 2021-0236.

<sup>5</sup> GGD GHOR Nederland (2022). Belevingsonderzoek geluidhinder en slaapverstoring luchtvaart 2020. Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2020.

<sup>6</sup> Non-responders zijn mensen die zijn uitgenodigd voor deelname aan het onderzoek maar niet hebben meegedaan. Met behulp van non-respons onderzoek gaat men na of deze niet-deelnemers al dan niet systematisch afwijken in hun respons op het onderwerp van belang in casu geluidblootstelling, hinder en slaapverstoring. In geval van systematische afwijken zou men kunnen corrigeren voor systematische non-respons.

<sup>7</sup> Een primaire eenheid in de GezondheidsMonitor is een onderzoeksgebied en kan een gemeente, wijk of buurt, volgens CBS indeling zijn.

jaren (2021-2023; in 2020 waren er ruim 258.000, in 2021 waren er ruim 303.000 vliegbewegingen van handelsvliegverkeer in Nederland) dan de situatie in 2019 (ruim 566.000 vliegbewegingen van handelsverkeer).

*Wat zijn de belangrijkste conclusies?*

De BR-relatie voor Schiphol op basis van de GM 2020 data laat bij gelijke geluidniveaus grotendeels meer ernstige hinder en meer ernstige slaapverstoring zien dan de BR-relatie op basis van Schiphol/GES 2002 data. Daarmee zijn de BR-relaties uit 2002 geen adequate weergave meer van de ernstige hinder en ernstige slaapverstoring van de bewoners rond de luchthaven Schiphol.

De BR-relaties van de andere luchthavens op basis van de GM 2020 data laten doorgaans meer ernstige hinder en slaapverstoring zien bij gelijke geluidblootstelling dan blijkt uit eerdere Nederlandse onderzoeken naar ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door geluid van vliegverkeer.

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat luchthaven specifieke BR-relatie gewenst zijn voor ernstige hinder respectievelijk slaapverstoring van geluid van vliegverkeer.

Het is aan te bevelen om de ontwikkelingen in ernstige hinder en ernstige slaapverstoring rondom de luchthavens over enkele jaren, bijvoorbeeld bij gelegenheid van de Gezondheidsmonitor 2024, te onderzoeken.

*Onderzoeksaanbevelingen*

Het verdient aanbeveling om in de toekomst meer verfijnde technieken zoals 'splines' analyses toe te passen voor het schatten van een BR-relatie van vliegtuiggeluid en hinder respectievelijk slaapverstoring. Deze methode laat de relatie tussen blootstelling en ervaren hinder preciezer zien. Wel is hij ingewikkelder om uit te voeren in de praktijk en om te interpreteren.

De Gezondheidsmonitor biedt, met enkele aanpassing in de uitvoering, een goede manier om op basis van bestaande methoden periodiek blootstelling-respons voor vliegtuiggeluid en hinder/slaapverstoring af te leiden. Voor onderzoek naar co-determinanten (niet-akoestische factoren) om zo mogelijke verschillen in BR-relaties te onderzoeken is de Gezondheidsmonitor niet geschikt.

Om de gevonden variatie tussen de luchthavens nader te verklaren kan vervolgonderzoek naar de invloed van verschillende co-determinanten meer inzicht geven in de gevonden verschillen.





## 1 Aanleiding

### 1.1 Inleiding

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) zoekt antwoord op de vraag hoe de luchtvaart in Nederland zich kan ontwikkelen in balans met andere belangen zoals veiligheid, duurzaamheid en leefbaarheid. Deze thema's worden onder andere uitgewerkt in de luchtvaartnota 2020-2050<sup>8</sup> en de Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid (PAMV)<sup>9</sup>. Het verminderen van de geluidhinder die omwonenden van de Nederlandse luchthavens ondervinden is een onderdeel van de aanpak. Daarnaast heeft de minister van IenW aangegeven dat Schiphol alleen verder kan groeien als het aantal mensen dat ernstige hinder ondervindt, daalt<sup>10</sup>. Dit betekent dat sturing op de hinder die omwonenden van luchthavens ondervinden een belangrijke pijler onder het luchtvaartbeleid wordt. In 2019 heeft het ministerie van IenW, directie Luchtvaart, aan de kennisinstututen Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) en Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) gevraagd om een verkenning uit te voeren naar de mogelijkheden om, rekening houdend met belevingsaspecten, verbeteringen door te voeren bij het meten en berekenen van vliegtuiggeluid. De resultaten van de verkenning en de daarop gebaseerde aanbevelingen, zijn in december 2019 gerapporteerd<sup>11</sup>. In een beleidsreactie aan de Tweede Kamer (d.d. 19 december 2019<sup>12</sup>) heeft de minister van IenW aangegeven dat alle aanbevelingen zullen worden opgevolgd.

Een van deze aanbevelingen gaat over 'Hinder en Gezondheid' en betreft onder andere het monitoren van hinder en slaapverstoring rondom luchthavens en het beschrijven van de relatie tussen enerzijds blootstelling aan vliegtuiggeluid en anderzijds de effecten 'ernstige hinder' en 'ernstige slaapverstoring'. Ook is aanbevolen om deze gegevens te gebruiken voor onderzoeken naar aanvullende geluidindicatoren die, naast  $L_{den}$  en  $L_{night}$ , mogelijk beter aansluiten bij de manier waarop omwonenden de effecten van vliegtuiggeluid ervaren.

#### 2020 en de Covid-19 pandemie

Aan het einde van 2019 kreeg de Chinese stad Wuhan te maken met de eerste besmettingen van de ziekte COVID-19, ook wel corona genoemd, die veroorzaakt wordt door het virus SARS-CoV-2. Sindsdien heeft dit virus zich over de hele wereld verspreid. Vanaf dat moment sprak men van een pandemie. Het veldwerk van Gezondheidsmonitor (GM) 2020 vond plaats gedurende de tweede coronabesmettingsgolf (najaar 2020) in Nederland. Op 14 oktober 2020 kondigde de regering een sluiting van

<sup>8</sup> Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). Luchtvaartnota. Verantwoord vliegen naar 2050.

<sup>9</sup> Smetsers, R., et al. (2019). Vliegtuiggeluid: meten, berekenen en beleven: Een verkenning van wensen en ontwikkelopties. Bilthoven, RIVM. RIVM Rapport 2019-0201.

<sup>10</sup> Inmiddels heeft het huidige kabinet besloten het maximum aantal vliegbewegingen op Schiphol terug te brengen van 500.000 naar 440.000 vliegbewegingen per jaar voor een periode van vijf jaar. <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/kamerstukken/2022/06/24/hoofdlijnenbrief-schiphol/hoofdlijnenbrief-schiphol.pdf>.

<sup>11</sup> Idem 9.

<sup>12</sup> kst-31936-711 / IENW/BSK-2019/264240 betreffende Rapport verkenningfase 'programmatische aanpak meten vliegtuiggeluid' en monitoring- en evaluatieprogramma Lelystad

de horeca aan en vanaf 15 december 2020 gold een lockdown voor het hele land. Eveneens van belang is dat in de maanden voorafgaand aan het veldwerk (de periode waar in de vragenlijst voor een groot deel naar wordt verwezen) maatregelen van kracht waren, zoals thuiswerken indien mogelijk, afgelaste evenementen en sluiting van scholen/dagopvang, eet- en drinkgelegden, sportclubs en coffeeshops (tot juni). Het vliegverkeer was gedurende een deel van 2020 ook anders dan het jaar ervoor. Voor de meeste luchthavens was het aantal vliegbewegingen minder dan in 2019 door een negatief reisadvies, voor enkele luchthavens waren dit er juist meer. Ook is het aannemelijk dat mensen gedurende de pandemie meer op hun woonadres verbleven dan te doen gebruikelijk. Het is daarom goed mogelijk dat de coronacrisis en de getroffen maatregelen invloed hebben gehad op de beleving en de antwoorden van respondenten van de Gezondheidsmonitor 2020. Dit kan de resultaten van GM 2020 hebben beïnvloed. De wijze waarop en de mate waarin dit is gebeurd, is echter niet te duiden.

## 1.2 Doel

Doel van dit onderzoek is het afleiden van blootstelling–respons relaties (BR-relaties) tussen geluid van (militair) vliegverkeer en ernstige hinder/slaapverstoring voor regionale en nationale luchthavens in Nederland. Een BR-relatie geeft het verband weer tussen blootstelling aan in dit geval vliegtuiggeluid en de kans op bijvoorbeeld ernstige hinder of ernstige slaapverstoring. Hiervoor wordt de informatie uit de GGD Gezondheidsmonitor 2020 gekoppeld aan de door het NLR berekende geluidblootstellingen over 2020.

Meer specifiek:

1. Vaststellen of de blootstelling-respons (BR-) relatie uit 2002, die gebruikt wordt om het aandeel ernstig gehinderden en slaapverstoorden te berekenen op basis van de geluidblootstelling uitgedrukt in  $L_{den}$  en  $L_{night}$ , nog steeds een adequate beschrijving van de ervaren geluidhinder en slaapverstoring van de omwonenden van Schiphol geeft.
2. Afleiden van BR-relaties rond (regionale) luchthavens en vaststellen in welke mate deze BR-relaties rond de (regionale) luchthavens overeenkomen/verschillen met de BR-relatie voor luchthaven Schiphol (GES 2002).
3. Nagaan in hoeverre aanvullende geluidmaten, naast  $L_{den}$  en  $L_{night}$ , beter aansluiten bij de manier waarop omwonenden de effecten van vliegtuiggeluid ervaren, zodat in de toekomst de voorspelling van hinder en slaapverstoring verbeterd kan worden.

De derde vraagstelling wordt niet in deze rapportage uitgewerkt. Uitwerking van deze vraagstelling volgt later.

De omvang van de ernstige hinder en slaapverstoring rondom luchthavens wordt in meer detail beschreven in 'Belevingsonderzoek geluidhinder en slaapverstoring luchtvaart 2020'<sup>13</sup>, een rapportage van de GGD-GHOR-Nederland<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> GGD GHOR Nederland, GGD Brabant-Zuidoost en werkgroep luchtvaart, 2022. Belevingsonderzoek geluidhinder en slaapverstoring luchtvaart 2020. 25 feb 2022.

<sup>14</sup> GGD GHOR Nederland is een overkoepelende brancheorganisatie van de 25 Gemeentelijke Gezondheidsdiensten (GGD-en) en Geneeskundige Hulpverleningsorganisaties in de Regio (GHOR) in Nederland.

De geluidberekeningen van vliegtuiggeluid<sup>15</sup> rondom de onderzochte luchthavens is uitgevoerd door het NLR<sup>16</sup>.

### **1.3 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze besproken waarbij de blootstelling, gezondheidseffecten en gebruikte statistische analyses worden besproken. In hoofdstuk 3 beantwoorden we de vragen 1, afleiden van BR-relaties en vergelijken met BR-relatie voor luchthaven Schiphol per luchthaven, en vraag 2, vaststellen of de BR-relatie voor luchthaven Schiphol nog steeds adequaat is per luchthaven. In hoofdstuk 4 volgen de discussie en conclusie.

Een eerdere versie van dit rapport is van commentaar voorzien door een Expertgroep. Dit in navolging van aanbeveling 7 uit het rapport van het RIVM over de verkenningsfase van PAMV<sup>17</sup>. De reactie van de expertgroep en de wijze waarop de auteurs hiermee zijn omgegaan is na te lezen in een brief (<sup>18</sup>)die hierover is gedeeld met de opdrachtgever.

<sup>15</sup> Hogenhuis, R. H., et al. (2021). Berekening vliegtuiggeluid 2020 rond civiele en militaire luchthavens. Berekeningen in het kader van de programmatische aanpak meten vliegtuiggeluid. NLR-CR-2021-134.

<sup>16</sup>NLR: Nederlands Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium

<sup>17</sup> Smetsers, R., et al. (2019). Vliegtuiggeluid: meten, berekenen en beleven: Een verkenning van wensen en ontwikkelopties. Bilthoven, RIVM-rapport 2019-0201.

<sup>18</sup> RIVM-brief MIL-2022-0056. Reactie op review Expertgroep. (2022).



## 2 Werkwijze

### 2.1 Bepaling van de blootstelling

#### 2.1.1 Keuze en ligging van de luchthavens

In Tabel 1 is een overzicht opgenomen van relevante (civiele/militaire) luchthavens voor dit onderzoek. Relevante burgerluchtvaart luchthavens zijn nationale en regionale luchthavens met nationale betekenis. Relevante militaire luchthavens zijn alle operationele luchthavens en een luchthaven waarvoor het voornemen bestaat deze (weer) in gebruik te nemen (Vliegbasis De Peel). Vliegbasis Geilenkirchen is geen Nederlandse basis maar een in Duitsland gelegen NAVO<sup>19</sup>-basis. Vanwege de invloedssfeer van deze basis op Nederlands grondgebied is het wel opgenomen in de rij militaire vliegbases. Voor alle luchthavens zal, indien mogelijk en zinvol, een relatie tussen enerzijds blootstelling aan vliegtuiggeluid en anderzijds ernstige hinder en ernstige slaapverstoring worden opgesteld.

Tabel 1 Relevante luchthavens (civiele en militaire) in het onderzoek met de ICAO<sup>20</sup> code voor luchthavens en voornaamste functie (civiel, militair)

Naam luchthaven	ICAO code	Civiel	Militair	Benaming in dit rapport
<b>Luchthaven Schiphol</b>	EHAM	x		Schiphol
<b>Maastricht Aachen Airport</b>	EHBK	x		Maastricht
<b>Eindhoven Airport</b>	EHEH	x	x	Eindhoven
<b>Groningen Airport Eelde</b>	EHGG	x		Groningen
<b>Lelystad Airport</b>	EHLE	x		Lelystad
<b>Rotterdam The Hague Airport</b>	EHRD	x		Rotterdam
<b>Vliegbasis Deelen</b>	EHDL		x	Deelen
<b>Vliegbasis Gilze-Rijen</b>	EHGR		x	Gilze-Rijen
<b>Vliegbasis Woensdrecht</b>	EHWO		x	Woensdrecht
<b>Vliegbasis Volkel</b>	EHVK		x	Volkel
<b>Vliegbasis Leeuwarden</b>	EHLW		x	Leeuwarden
<b>Vliegbasis De Peel<sup>21</sup></b>	EHDP		x	De Peel
<b>Maritiem Vliegveld De Kooy</b>	EHKD	x	x	De Kooy
<b>Vliegbasis Geilenkirchen</b>	ETNG		x	Geilenkirchen

ICAO code: E: Europe, H: Holland, overige twee letters is afkorting voor specifieke luchthaven.

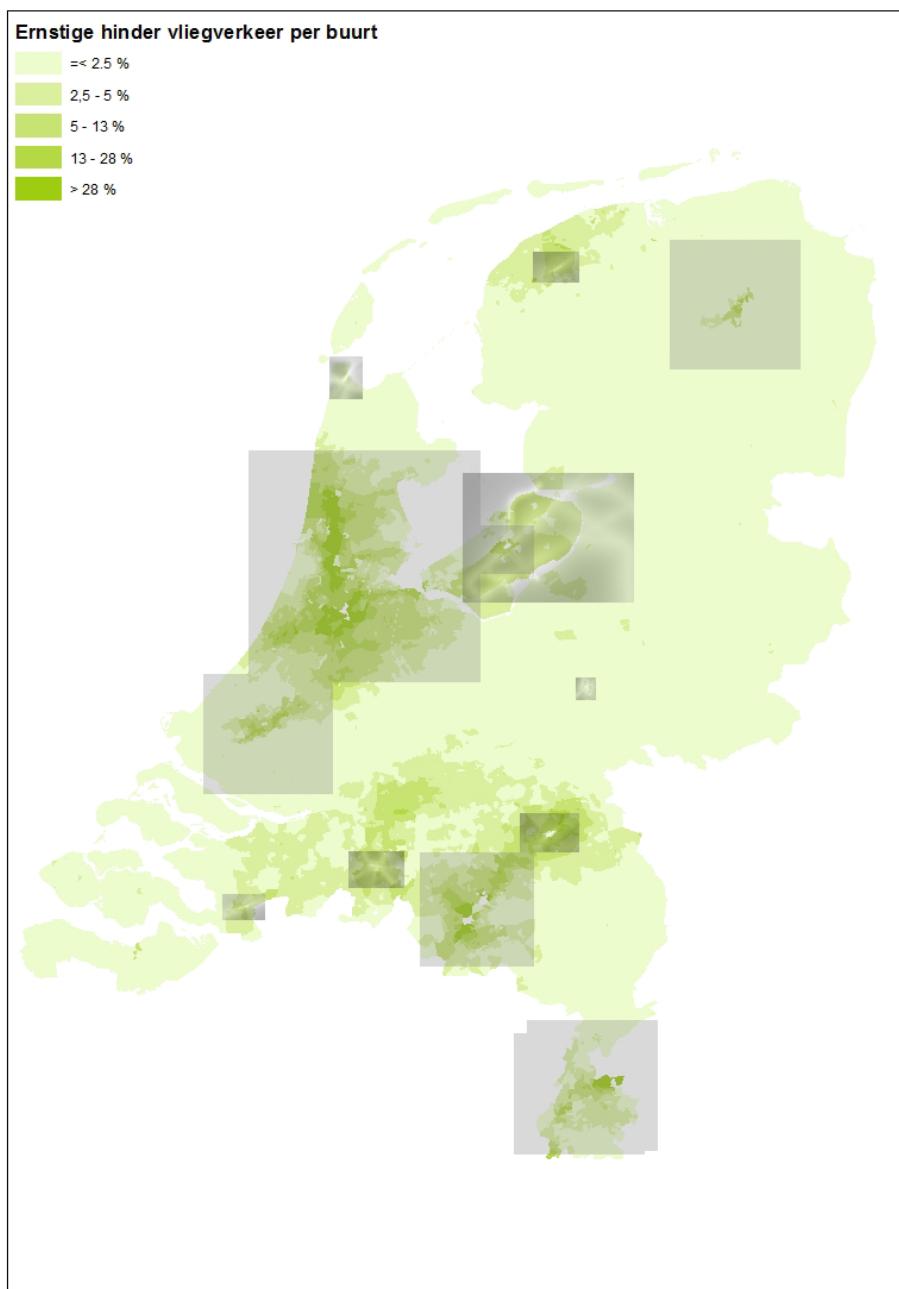
<sup>19</sup> NAVO: Noord-Atlantische Verdragsorganisatie.

<sup>20</sup> ICAO: International Civil Aviation Organization. ICAO is de internationale burgerluchtvaartorganisatie, een gespecialiseerde organisatie van de Verenigde Naties waarbij 193 landen zijn aangesloten. I

<sup>21</sup> Op dit moment is 'De Peel' niet actief (er wordt niet gevlogen, zie: Reactienota naar aanleiding van de zienswijzen ingediend op de concept-Notitie Reikwijdte en Detailniveau milieueffectrapportage Luitenant-generaal Bestkazerne/Militaire luchthaven De Peel, 13 december 2021, ministerie van Defensie). Een meting van geluidhinder wordt wel opgevoerd als een vorm van 0-meting.

In Figuur 1 zijn de rekengebieden (in grijs) weergegeven rondom de luchthavens waarvoor het NLR de geluidblootstelling (zie 2.1.4) aan vliegverkeer heeft berekend. Met tinten groen is op buurtniveau de mate van ernstige hinder als gevolg van vliegverkeer weergegeven op basis van gegevens uit de meest recent beschikbare GGD Gezondheidsmonitor (2016). De keuze van de rekengebieden is een afweging tussen enerzijds het voorkomen van ernstige hinder in de omgeving (ernstige hinder  $\geq 2,5$  procent) en anderzijds de mogelijkheid van het NLR om verantwoord berekeningen voor het gebied uit te kunnen voeren. Vooral voor militaire luchthavens leidt dit laatste criterium hier en daar tot kleinere rekengebieden<sup>22</sup> dan wanneer alleen op basis van het voorkomen van ernstige hinder ( $>2,5$  procent) het gebied zou worden afgebakend.

<sup>22</sup> Persoonlijke communicatie NLR.



In grijs is het rekengebied van het NLR weergegeven

*Figuur 1 Rekengebieden (grijs) rondom de luchthavens zoals gebruikt door het NLR<sup>23</sup> voor de berekeningen met het NRM.*

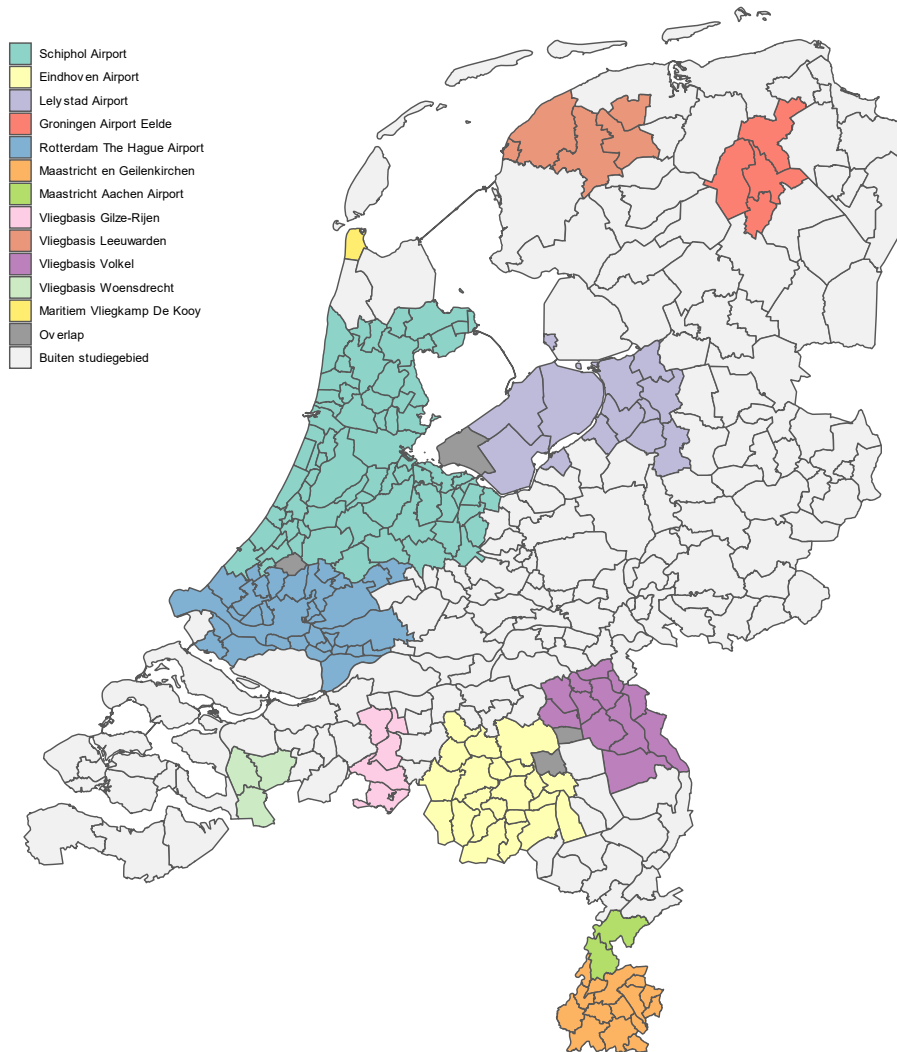
### 2.1.2

#### *Afbakening studiegebieden*

De studiegebieden zijn afgebakend door middel van gemeentegrenzen. De gemeenten per modelleergebied zijn weergegeven in Figuur 2. Minimaal 95 procent van de inwoners van een gemeente moest in het modelleergebied van het NLR liggen. Voor de luchthavens Groningen en Gilze-Rijen is gebruik gemaakt van een afkap bij minimaal 92 procent om zo het aantal respondenten in deze studiegebieden te vergroten.

<sup>23</sup> Hogenhuis, R. H., et al. (2021). Berekening vliegtuiggeluid 2020 rond civiele en militaire luchthavens. Berekeningen in het kader van de programmatische aanpak meten vliegtuiggeluid. NLR-CR-2021-134.

Voor de vliegbasis Woensdrecht is gekozen voor 86 procent. De studiegebieden van Maastricht en Geilenkirchen zijn gezamenlijk weergegeven in Figuur 2 met de kleur oranje vanwege de grote overlap in gemeenten die door deze twee luchthavens wordt beïnvloed. Het studiegebied van Maastricht is groter, de twee gemeenten die onderdeel zijn van het Maastricht studiegebied maar niet van het Geilenkirchen gebied zijn weergegeven met de kleur groen in Figuur 2.



*Figuur 2 Deelnemende gemeentes per studiegebied. Gemeentes die onderdeel uitmaken van 2 verschillende studiegebieden zijn aangegeven in grijs.*

### 2.1.3 Berekening vliegtuiggeluid

De berekeningen van de geluidblootstelling zijn door het NLR uitgevoerd. Voor een uitgebreidere beschrijving van de berekeningen verwijzen wij naar de betreffende NLR rapportage<sup>24</sup>. Hier volstaan we met het volgende:

<sup>24</sup> Hogenhuis, R. H., et al. (2021). Berekening vliegtuiggeluid 2020 rond civiele en militaire luchthavens. Berekeningen in het kader van de programmatische aanpak meten vliegtuiggeluid: 56. NLR-CR-2021-134.



Van het NLR zijn bestanden ontvangen van de gemodelleerde geluidblootstelling voor het gebruiksjaar 2020 (1 januari – 31 december) voor de verschillende luchthavens en voor verschillende geluidindicatoren (zie 2.1.4). Voor Schiphol loopt het gebruiksjaar 2020 van 1 november 2019 tot en met 31 oktober 2020.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het Nederlands rekenmodel (NRM), waarbij zoveel mogelijk is aangesloten bij berekeningen die al door het NLR zijn uitgevoerd. Waar mogelijk wordt gebruik gemaakt van de wettelijke rekenvoorschriften voor Kosteneenheid (Ke)<sup>25</sup> en  $L_{den}/L_{night}$  berekeningen. Voor Schiphol is naast de berekeningen met het NRM ook een  $L_{den}$  berekening met het Doc29 geluidmodel uitgevoerd<sup>26</sup>. Het Doc29 geluidmodel is sinds de laatste jaren het wettelijk voorgeschreven model voor Schiphol. In de toekomst zal het Doc29 geluidmodel worden geïmplementeerd voor de regionale luchthavens maar dat is op dit moment nog niet het geval.

De geluidblootstelling is op rekenpunten berekend op basis van verschillende data zoals daadwerkelijk gevlogen routes of modelroutes, luchthavengegevens en vliegtuiggegevens. De gebieden rond de luchthavens waarvoor het NLR de berekeningen heeft uitgevoerd, zijn weergegeven in Figuur 1. De rekenpunten lagen op een afstand van honderd meter van elkaar.

De Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) wordt beheerd door het Kadaster en bevat alle officiële, als zodanig toegekende, adressen op Nederlands grondgebied. Het bestand bevat verschillende objecttypen die het mogelijk maken om de verblijfsobjecten met een woonfunctie te selecteren.

Bij het RIVM wordt een aangepaste versie van de BAG gebruikt. De BAG-versie van het RIVM is afgeleid van de online beschikbare versie maar verrijkt met extra informatie (waaronder gemiddelde woningbezetting per verblijfsobject). De BAG-versie van het RIVM bevat alleen verblijfsobjecten die kunnen worden voorzien van een adres (straatnaam en huisnummer eventueel aangevuld met een huisletter). Dit betekent dat verblijfsobjecten zonder een adres in principe niet in de BAG-versie van het RIVM zullen voorkomen. Een postcode is geen onderdeel van het adres, er kunnen dus ook adresseerbare objecten voorkomen zonder postcode. Deze verblijfsobjecten hebben een adreslocatie (X,Y) met één unieke puntlocatie. Deze puntlocaties worden gekoppeld aan het dichtstbijzijnde gridpunt van de NLR-data om zo de geluidblootstelling op het woonadres van alle respondenten van de Gezondheidsmonitor 2020 in het jaar voorafgaand aan de enquête te verkrijgen. Het BAG-bestand van januari 2020 is gebruikt.

Voor sommige analyses is gebruik gemaakt van een drempelwaarde (minimumwaarde) voor de blootstellingen. Hierbij zijn blootstellingen lager dan de drempelwaarde vastgezet op deze waarde. Dat betekent dat adressen met een blootstelling lager dan de betreffende

<sup>25</sup> Ke staat voor 'Kosteneenheid' en is zoals de naam al aangeeft een eenheid, geen grootheid. De bijbehorende grootheid is – B –, geluidblootstelling. Doorgaans wordt echter Ke gebruikt.

<sup>26</sup> Heblj, S. J., et al. (2017). Toepassing ECAC Doc29 voor het bepalen van de geluidbelasting van het vliegverkeer van Schiphol Methode zoals gevolgd bij de MER NNHS Schiphol, NLR: 40.

drempelwaarde voor de analyses de geluidblootstelling van de drempelwaarde krijgen. De reden hiervoor is dat sommige deelnemers op een grote afstand van de luchthaven/de invloedssfeer van de luchthaven wonen en daardoor een dusdanig lage belasting kennen dat de berekening tot zeer lage waarden leidt. Om de invloed hiervan te beperken is voor een drempelwaarde (minimumwaarde) gekozen.

#### 2.1.4

##### Geluidindicatoren

Geluidmaten voor meerdere vliegtuigbewegingen samen geven de geluidblootstelling weer. Er zijn verschillende maten die de geluidblootstelling omschrijven. De geluidniveaus van alle individuele vliegtuigbewegingen worden hiervoor op een voorgeschreven manier bij elkaar opgeteld. Hierbij kan voor de verschillende geluidmaten rekening gehouden worden met:

- De hoeveelheid geluid dat elk vliegtuig produceert
- Het aantal vliegtuigbewegingen gedurende een periode
- Het tijdstip van de vliegtuigbewegingen<sup>27</sup>

De volgende geluidmaten zijn meegenomen in deze rapportage:  $K_e$ ,  $L_{den}$  en  $L_{night}$ .

##### $K_e$

De geluidmaat Kosteneenheid ( $K_e$ ) is de eenheid van de geluidbelastingsmaat  $B$  voor vliegtuiggeluid die in de jaren zestig werd opgesteld door de commissie Kosten. De  $K_e$  is gebaseerd op het vliegverkeer gedurende een jaar en wordt bepaald door maximale niveaus ( $L_{Amax}$ )<sup>28</sup> van afzonderlijke vliegtuigbewegingen op te tellen. Daarbij wordt een nachtstrafactor toegekend aan bewegingen gedurende de avond en de nacht, waardoor deze bewegingen zwaarder meewegen. De  $K_e$  geluidmaat wordt toegepast voor handavingsberekeningen voor Nederlandse militaire luchthavens en voor de zonebewaking voor vliegbasis Geilenkirchen.<sup>29</sup>

##### $L_{den}$

De  $L_{den}$  is een dosismaat die onder andere gehanteerd wordt in EU-regelgeving. De 'den' staat voor 'day-evening-night'. Het is een etmaalwaarde met verschillende wegingen voor dag (7-19 uur), avond (19-23 uur) en nacht (23-7 uur), waarbij het verloop van het geluidniveau gedurende de gehele passage wordt meegenomen door middel van een SEL<sup>30</sup> waarde. Een belangrijk verschil met de  $K_e$ , want die is gebaseerd op  $L_{Amax}$ . Het gaat bij de  $L_{den}$  om geluidniveaus buitenshuis en over jaargemiddelden.<sup>31</sup>

##### $L_{night}$

Ook dit is een in Europa gehanteerde dosismaat. De  $L_{night}$  is op een vergelijkbare wijze gedefinieerd als de  $L_{den}$  (dus gebaseerd op geluidniveaus buitenshuis en jaargemiddelden) maar dan alleen voor de

<sup>27</sup> Hogenhuis, R. H., et al. (2021). Berekening vliegtuiggeluid 2020 rond civiele en militaire luchthavens. Berekeningen in het kader van de programmatische aanpak meten vliegtuiggeluid: 56. NLR-CR-2021-134.

<sup>28</sup> De  $L_{Amax}$  is het maximale A-gewogen geluidniveau dat wordt geproduceerd tijdens één vliegtuigbeweging.

<sup>29</sup> Idem 27.

<sup>30</sup> Het SEL (Sound Exposure Level) is een A-gewogen maat voor het geluid tijdens een gehele vliegtuigbeweging (in tegenstelling tot de  $L_{Amax}$ ).

<sup>31</sup> Smetsers, R., et al. (2019). Vliegtuiggeluid: meten, berekenen en beleven: Een verkenning van wensen en ontwikkelopties. Bilthoven, RIVM. RIVM Rapport 2019-0201.

nacht (23 tot 7 uur) en zonder toepassing van weegfactoren.<sup>32</sup>  $L_{den}$  en  $L_{night}$  zijn beide in de Nederlandse wet- en regelgeving opgenomen voor civiel luchtverkeer.

#### De blootstelling

De blootstelling wordt per indicator en luchthaven met een aantal percentielwaarden weergegeven (p1, p25, p50, p75, p99). De laagste percentielwaarde (p1) verwijst naar de blootstellingswaarde waaraan minstens 99 procent van de deelnemers is blootgesteld.

## 2.2 Effecten blootstelling aan geluid

### 2.2.1

#### *Gezondheidsmonitor*

De Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2020 (GMVO 2020) geeft inzicht in de gezondheid en leefstijl van Nederlanders van achttien jaar en ouder en vindt elke vier jaar plaats. De meest actuele Gezondheidsmonitor is die van 2020. De Gezondheidsmonitor is een vragenlijstonderzoek dat wordt uitgevoerd door GGD-en in samenwerking met het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) en het RIVM. De Gezondheidsmonitor wordt in het kader van de Wpg<sup>33</sup> uitgevoerd. GGD-en adviseren op basis van de informatie uit de Gezondheidsmonitor hun gemeenten over hun gezondheidsbeleid. Eerder zijn in 2012 en 2016 Gezondheidsmonitoren uitgevoerd. In 2020 zijn aan de GMVO 2020 vragen over geluidhinder en slaapverstoring door vliegverkeer toegevoegd. De GMVO wordt aan Volwassen (18 tot en met 64 jaar) en Ouderen (65 jaar en ouder) voorgelegd. Overigens, niet alle GGD leggen de hinder- en slaapverstoringvragen ook voor aan de groep Ouderen. Voor de luchthavens waar dit van toepassing is, wordt dit aangegeven. In 2020 hebben ruim 530.000 inwoners van achttien jaar en ouder deelgenomen aan het onderzoek met de Gezondheidsmonitor

Voor het huidige onderzoek waren er dertigduizend extra vragenlijsten beschikbaar voor de GMVO 2020 om zo de steekproef in bepaalde gebieden op te hogen. Op basis van de geluidblootstelling rond burger en militaire luchthavens heeft het RIVM GGD GHOR Nederland geadviseerd over de verdeling van deze dertigduizend extra vragenlijsten over de betrokken GGD-en. Het RIVM-advies was om de ophoging van de steekproef in gebieden met een relatief hoge geluidblootstelling rond de luchthaven te doen. De extra vragenlijsten zijn verdeeld over de betreffende GGD-en, waarbij er gestreefd werd naar één GGD per luchthaven. Daartoe is informatie over de gebieden met een hoge belasting aangeleverd aan de betreffende GGD-en. De definitie van de gebieden sloot aan bij de definitie van de primaire eenheid van de betreffende GGD. De extra ophoging van de steekproef was de verantwoordelijkheid van de GGD zelf, waarbij rekening gehouden kon worden met de eigen steekproef. De GGD-en hebben de steekproef aangeleverd aan het CBS. De extra ophoging moest zodanig worden uitgevoerd dat de totale steekproef voldoet aan de voorwaarden zoals gesteld door het CBS.

In het najaar van 2020 is een steekproef van bijna 1,4 miljoen inwoners van achttien jaar en ouder in Nederland aangeschreven. Ruim een half

<sup>32</sup> Idem 27.

<sup>33</sup> Wpg: Wet publieke gezondheid

miljoen mensen (39 procent) namen deel aan het onderzoek, zie Tabel 2.

Tabel 2 Respons Gezondheidsmonitor Volwassenen en Ouderen 2020

	<b>18-64 jaar</b>	<b>65+ jaar</b>	<b>Totaal</b>
<b>Populatie</b>	10.677.785	3.392.555	14.070.340
<b>Steekproef</b>	894.854	466.665	1.361.519
<b>Respondenten</b>	279.917	250.331	530.248
<b>Responspercentage</b>	31%	54%	<b>39%</b>

### 2.2.2

#### *Hinder*

Hinder is een verzamelterm voor allerlei negatieve gevoelens zoals ergernis, ontevredenheid, boosheid, teleurstelling, zich teruggetrokken voelen, hulpeloosheid, neerslachtigheid, ongerustheid, verwarring, het zich uitgeput voelen en agitatie (WHO, 2011). Per persoon is het verschillend of iets als hinderlijk wordt ervaren. Dat komt doordat de ervaring niet alleen door de blootstelling, maar ook door allerlei andere factoren wordt beïnvloed. Het gaat hierbij om situationele, contextuele en persoonsgebonden factoren (niet-akoestische factoren of co-determinanten). Voorbeelden zijn de persoonlijke gevoeligheid voor geluid, verwachtingen over komende veranderingen, angstreacties en de houding ten opzichte van een hinderbron. Doordat mensen verschillen in deze factoren, is het niet mogelijk om te voorspellen wie in welke mate hinder zal ervaren. Wel is het mogelijk om uitspraken te doen over hoeveel hinder op groepsniveau voorkomt.

De mate waarin groepen mensen hinder en slaapverstoring van vliegtuiggeluid ervaren, is in dit onderzoek bepaald met de vragenlijst van de Gezondheidsmonitor 2020. In internationaal verband is afgesproken om voor het meten van geluidhinder dezelfde standaardvraag te gebruiken. Deze vraag is vastgelegd in een ISO-norm<sup>34</sup> (ISO/TS 15666, 2003) en is ook in dit onderzoek aan de deelnemers voorgelegd. De vraag verwijst per geluidbron naar de hinder in de thuissituatie gedurende de afgelopen twaalf maanden. De deelnemers kunnen antwoorden op een schaal van 0 tot 10 in welke mate zij zich gehinderd voelen. Voor de analyse van de relatie tussen geluidblootstelling en ernstige hinder wordt deze schaal gedichotomiseerd (0, 1)<sup>35</sup>. Deelnemers met een score van 8 of meer worden in dit onderzoek als 'ernstig gehinderd' beschouwd.

### 2.2.3

#### *Slaapverstoring*

Slaap is een belangrijk herstelmechanisme voor de mens. Voldoende slaap 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.

In dit onderzoek wordt slaapverstoring gemeten door de deelnemers te vragen in welke mate zij de afgelopen twaalf maanden in hun slaap zijn verstoord door geluiden van verschillende mogelijk verstorende factoren

<sup>34</sup> ISO (2003). Acoustics — Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys.

<sup>35</sup> Scores 0 tot en met 7: 0; scores 8-10: 1.

in hun omgeving waaronder van vliegtuigen. De vraag is vergelijkbaar met de vraag over hinder en meet daarmee de subjectieve beleving van de slaap. De deelnemers kunnen antwoorden op een schaal van 0 tot 10. Voor slaapverstoring wordt hetzelfde afkappunt gebruikt als hierboven beschreven voor de hindervraag. Deelnemers met een score van 8 of meer worden in dit onderzoek als 'ernstig slaapverstoord' beschouwd.

## 2.3 Relatie: blootstelling – respons

Een Blootstelling-Respons-relatie (BR-relatie) toont de samenhang tussen de blootstelling en de proportie (of het aandeel) individuen in een (sub)populatie die naar verwachting reageert met een bepaald effect<sup>36</sup>. In dit rapport gaat het om de relatie tussen geluidblootstelling door vliegverkeer (bijv.  $L_{den}$  en  $L_{night}$ ) en het aandeel van de bevolking (het percentage) dat daarbij ernstige hinder of ernstige slaapverstoring ervaart.

### 2.3.1 Bestaande BR-relaties

De rapportages 'Geluidhinder rond Nederlandse luchthavens'<sup>37</sup> en 'Inventarisatie van gezondheids- en belevingsonderzoeken (1996-2015) rondom (regionale) luchthavens van nationale betekenis'<sup>38</sup> geven een overzicht van de bestaande onderzoeken naar geluidhinder bij Nederlandse luchthavens. In deze rapportage zullen de BR-relaties op basis van de GM 2020 gegevens vergeleken worden met de volgende BR- relaties:

- In 2002 is in het kader van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (GES) een enquête uitgevoerd waarmee een BR-relatie voor de luchthaven Schiphol is afgeleid<sup>39</sup>. Deze BR-relatie uit 2002 wordt nog steeds gebruikt om prognoses van het aantal ernstig gehinderden en slaapverstoorden te berekenen voor de luchthaven Schiphol en wordt ook gebruikt bij andere luchthavens zoals Eindhoven Airport en Rotterdam The Hague Airport<sup>40</sup>. In het vervolg van deze rapportage aangeduid met (Schiphol/GES) 2002.
- Voor de recente update van de WHO-richtlijnen voor omgevingsgeluid<sup>41</sup> is door Guski et al.<sup>42</sup> op basis van internationale studies uit de periode 2000-2014 een BR-relatie afgeleid voor hinder<sup>43</sup>. Voor slaapverstoring is er een BR-relatie afgeleid door Basner en McGuire<sup>44</sup>, in deze rapportage in het vervolg aangeduid met (WHO) 2018.

<sup>36</sup> Breugelmans O., Houthuijs D., van Kempen E. Geluidhinder rond Nederlandse luchthavens Monitoring, enquêtes en blootstelling-responsrelaties. RIVM-rapport 2019-0110.

<sup>37</sup> Idem 36.

<sup>38</sup> Breugelmans O., Houthuijs D., Poll R. van. Inventarisatie van gezondheids- en belevingsonderzoeken (1996-2015) rondom (regionale) luchthavens van nationale betekenis RIVM Briefrapport 2016-0101.

<sup>39</sup> Breugelmans O.P., van Wiechen C.M.A.G., van Kamp I., Heisterkamp S.H., Houthuijs D.J.M. Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002. Tussenrapportage Monitoring Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol. RIVM-rapport 630100001/2004.

<sup>40</sup> Breugelmans O., Houthuijs D., van Kempen E. Geluidhinder rond Nederlandse luchthavens Monitoring, enquêtes en blootstelling-responsrelaties. RIVM Rapport 2019-0110.

<sup>41</sup> WHO. Environmental noise guidelines for the European Region, 2018.

<sup>42</sup> Guski R., Schreckenber D., Schuemer R. 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. 2017

<sup>43</sup> Overigens, gegevens uit het vragenlijstonderzoek rond Schiphol in 2002 zijn mede gebruikt om deze BR-relaties af te leiden.

<sup>44</sup> Basner, Mathias, and McGuire. 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.

- Op basis van data uit de GGD Gezondheidsmonitor 2016 zijn voor verschillende luchthavens BR-relaties afgeleid (Schiphol, Eindhoven, Maastricht/Geilenkirchen)<sup>45</sup>, aangeduid met GM 2016.
- Rondom Eindhoven Airport zijn diverse belevingsonderzoeken uitgevoerd. Voor de situatie in 2014 in Eindhoven is een BR-relatie afgeleid<sup>46</sup>.
- In 2007 is een belevingsonderzoek uitgevoerd rondom vliegbasis Geilenkirchen en een BR-relatie afgeleid.<sup>47</sup>

In het verleden zijn verschillende andere belevingsonderzoeken rond deze luchthavens uitgevoerd, hier beperken we ons tot die onderzoeken waarin een BR-relatie is afgeleid.

## 2.4 Analyses

De statistische analyses voor de BR-relaties zijn uitgevoerd in de beveiligde omgeving van het CBS met het programma R<sup>48</sup>. Alle gepresenteerde cijfers zijn met behulp van zogenaamde weegfactoren gecorrigeerd naar de bevolking in Nederland van achttien jaar en ouder. Hierbij is gebruik gemaakt van de door het CBS berekende weegfactoren<sup>49</sup> voor de Gezondheidsmonitor 2020. Deze weging leidt ertoe dat ruwe percentages van ernstige hinder of ernstige slaapverstoring representatief worden gemaakt voor de bevolking door rekenschap te geven van de verdeling van relevante kenmerken in de hele bevolking en niet enkel van die van de deelnemers aan het onderzoek.

### *Relatie blootstelling respons*

Als eerste is per 5 dB of 5 Ke categorie het gemiddelde percentage ernstige hinder of ernstige slaapverstoring en een 95 betrouwbaarheidsinterval (BI) berekend door de geluidblootstelling als categorale variabele in het logistische regressie model op te nemen. We noemen dit het stapsgewijze model. Het aldus berekende percentage wordt weergegeven bij het populatie gewogen gemiddelde geluidniveau van de betreffende categorie. In het stapsgewijze model is de grootste groep binnen het model steeds als de referentie-categorie gebruikt. Met een categorale weergave zijn er minder schattingspunten voor de 'fit' maar wordt meer rekenschap gegeven van het aantal respondenten dat bepalend is voor de omvang van de hinder bij een gegeven blootstelling. Vooral bij hoge blootstellingsniveaus kan de invloed daarvan groot zijn omdat in geval van hogere blootstellingsniveaus doorgaans minder mensen wonen. Voor enkele categorieën is licht afgeweken van de 5 dB/Ke grens om te kunnen voldoen aan de dataexport-eisen van het CBS. Het is namelijk niet toegestaan om responsen van minder dan 10 deelnemers vrij te geven, waardoor elke categorie tenminste 10 ernstige gehinderden moet bevatten. Met name rondom de kleinere vliegvelden

<sup>45</sup> Breugelmans, O., et al. (2019). "Geluidhinder rond Nederlandse luchthavens: Monitoring, enquêtes en blootstelling-responsrelaties. RIVM-rapport 2019-0110.

<sup>46</sup> Breugelmans O., Houthuijs D., Veerbeek H., van Poll R. Relatie vliegverkeergeluid en geluidhinder rondom vliegveld Eindhoven: blootstelling-respons-relatie. RIVM-rapport 2015-0108. 2015:52.

<sup>47</sup> van Poll R., Breugelmans O., Dreijerink L. Geilenkirchen Air Base Perception Survey. Report 630311001/2008.

<sup>48</sup> R is een softwarepakket en programmeertaal ontwikkeld voor statistiek en data-analysedoelinden. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

<sup>49</sup> Arthur Kriekels, Weegrappport GM2020, CBS, 20 april 2021.

zorgt dit ervoor de gekozen categorieën niet exact een 5 dB/Ke interval volgen.

Voor het afleiden van de relaties tussen geluidblootstelling en ernstige hinder en slaapverstoring is gebruik gemaakt van een logistische regressie<sup>50</sup> (met de `svyglm` functie uit het `survey`<sup>51</sup> package). Hierbij is in eerste instantie een lineair verband verondersteld op de log-odds schaal. In deze rapportage is voor een lineair model gekozen omdat dit in eerdere onderzoeken ook is toegepast en de curves eenduidiger konden worden vergeleken. De BR-relaties zijn afgeleid voor de verschillende geluidindicatoren ( $L_{den}$ ,  $L_{night}$  en  $Ke$ ).

Bij de BR-relaties tussen vliegtuiggeluid en gezondheidseffecten wordt vaak uitgegaan van een lineair effect: met een toename in de blootstelling neemt ook het effect toe. Een BR-relatie kan echter ook een andere vorm aannemen waarbij bijvoorbeeld bij hogere blootstellingsniveaus een afvlakking of afname in gezondheidseffecten is te zien. Dit worden ook wel niet-lineaire verbanden genoemd. Tegenwoordig zijn er naast lineaire logistische regressie ook meer verfijnder technieken beschikbaar om BR-relaties te schatten. Mogelijke niet-lineaire effecten kunnen gemodelleerd worden door een zogenaamde 'spline' functie aan een logistisch regressie-model toe te voegen. Een 'spline' bestaat uit een aantal aan elkaar geknoopte, doorgaans derdegraads, polynomen. Hoe meer knooppunten, hoe flexibeler de schatting van de curve. In deze studie hebben we gebruik gemaakt van zogeheten 'natural cubic splines' (met de `ns` functie uit de 'splines package' binnen R), die de eigenschap hebben dat de tweede afgeleide voorbij de buitenste knopen op nul is geforceerd. Om deze modellen te optimaliseren, zijn er eerst meerdere modellen met 2 tot 6 'splines' gemaakt en vervolgens is het model gekozen met de kleinste AIC-waarde. Dit model (drie 'splines') is daarna gebruikt als het niet-lineaire model en vergeleken met standard logistische regressie modellen. Volledigheidshalve merken we op dat het lineaire model hetzelfde is als een 'spline'-model met maar één vrijheidsgraad.

Aan het eind van paragraaf 3.5 worden de analyses per vliegveld en per relevante geluidindicator weergegeven in een formule, voor zover beschikbaar. Dit is een mathematische weergave van de lineaire schatting tussen de gemodelleerde blootstelling aan geluid van vliegverkeer en ernstige hinder- en slaapverstoringspercentages. In de tekst duiden we dit voor het leesgemak aan met 'curve'.

<sup>50</sup> Regressie analyse is een statistische analysetechniek waarmee men met behulp van 1 of meer voorspellende variabelen, in dit geval blootstellingsniveaus van vliegtuiggeluid, een relatie (BR-relatie in dit geval) probeert te beschrijven met een uitkomstvariabele, in dit geval ernstige hinder of ernstige slaapverstoring. Wanneer de uitkomstvariabele uit -0- of -1- bestaat (geen ernstige hinder, wel ernstige hinder) gebruikt men de logistische variant van regressieanalyse. De 'odds' is de verhouding tussen de waarschijnlijkheid dat een gebeurtenis voorvalt (wel ernstige hinder, 1) en de waarschijnlijkheid dat ze niet voorvalt (geen ernstige hinder, 0) en daar dan weer de (natuurlijke) logaritme van ( $\ln$ ).

<sup>51</sup> T. Lumley (2004) Analysis of complex survey samples. Journal of Statistical Software 9(1): 1-19.





## 3 Bevindingen

### 3.1 Introductie

Dit hoofdstuk presenteert de onderzoeksresultaten.

Leeswijzer bij de resultaten:

Allereerst wordt de omvang van de studiebevolking toegelicht en het aantal ernstig gehinderden en ernstige slaapverstoorden voor het hele onderzoeksgebied gepresenteerd. Daarna wordt de verdeling van de blootstelling, in percentielen, over de respondenten toegelicht voor drie indicatoren ( $L_{den}$ ,  $L_{night}$ ,  $Ke$ ).

Per luchthaven en per indicator wordt de blootstellingsverdeling in categorieën van 5 dB, respectievelijk 5 Ke gegeven. Daar waar categorieën van 5 dB, respectievelijk 5 Ke om redenen van aantallen respondenten per categorie niet mogelijk zijn, worden kleinere of grotere categorieën toegepast. Deze gegevens (in de tabellen) geven een aanwijzing voor de range waarin de gegevens het meest betrouwbaar zijn. Dit is gebaseerd op de absolute range van berekende blootstellingsgegevens en de aantallen respondenten per categorie, wat een indicatie is voor de mate van betrouwbaarheid.

De relaties tussen de voor zover beschikbare geluidblootstellingsindicatoren ( $L_{den}$ ,  $Ke$  en  $L_{night}$ ) en effect (ernstige hinder, ernstige slaapverstoring), worden in grafieken met behulp van de categorieën (gemiddelde gemeten hinder- en slaapverstoringsgegevens, stapsgewijsmodel) en curves (individuele gegevens, lineaire model en 'spline'-model) weergegeven. Voor de categorieën wordt de geluidsblootstelling weergegeven door de (populatie gewogen) gemiddelde blootstelling van alle deelnemers in de betreffende categorie uit te zetten tegen de gemiddelde gemeten ernstige hinder of slaapverstoring. De stapsgewijze modellen per luchthaven worden vergeleken met het stapsgewijze model 2002 (hinder, slaapverstoring) of standaardcurve voor B (in  $Ke$ ; percentage ernstige hinder =  $Ke-10$ ). Deze gegevens geven inzicht in de (mis)match tussen de 2020 stapsgewijze modellen en de 2002 stapsgewijze modellen. De curves (lijnen) geven de schatting van de relatie tussen blootstelling en effect weer, volgens lineaire en 'spline'-modellering op individuele gegevens. Deze worden vergeleken met de curves voor ernstige hinder en ernstige slaapverstoring uit 2002 en beschikbare andere historische curves. Deze informatie geeft inzicht in de (mis)match tussen de 'fit' (veronderstelde relatie: lineair of 'spline') van de modellen anno 2020 en 2002.

In de grafieken wordt de betreffende geluidblootstelling op de x-as weergegeven (in dB(A) of  $Ke$ ) en het betreffende effect (in percentage ernstig gehinderden of ernstig slaapverstoorden) op de y-as. In de weergave van de categorieën (stapsgewijze model) en curves (lineair of 'spline') wordt in de figuren voor  $L_{den}$  30 dB, voor  $L_{night}$  20 dB en voor B 10  $Ke$  als onderste grens aangehouden. Het gekleurde transparante vlak rondom elke curve geeft het 95 procent betrouwbaarheidsinterval (BI)

weer. De categorieën worden met een punt weergegeven ook omgeven door een 95 procent betrouwbaarheidsinterval (BI, in dit geval met een verticale lijn: |).

Behalve voor vliegbasis Deelen en De Peel zijn voor alle andere luchthavens de geluidblootstellingscategorieën (volgens het stappenmodel) in tabelvorm weergegeven. Een blootstellings-respons relatie is niet voor alle luchthavens of geluidindicatoren per luchthaven weergegeven. Hiertoe is een afweging gemaakt die afhankelijk is van: het aantal beschikbare categorieën (range), het aantal deelnemers per categorie (betrouwbaarheid) en de het bereik van de range van de blootstellingscategorieën (laag versus niet-laag). Wanneer er te weinig categorieën zijn en/of te weinig deelnemers per categorie en/of de range te laag is, is er geen BR-relatie opgesteld, en zijn er dus ook geen curves weergegeven.

De bevindingen worden naar drie typen luchthavens uitgesplitst: civiele luchthavens (3.2), civiele én militaire luchthavens (3.3) en militaire luchthavens (3.4).

## 3.2 Civiele luchthavens

Als eerste worden de resultaten van de civiele luchthavens gepresenteerd: Schiphol, Groningen, Lelystad en Rotterdam.

### 3.2.1 *Studiepopulatie, ernstige hinder, ernstige slaapverstoring en blootstelling rondom civiele luchthavens*

Tabel 3 geeft de respons op de vragen in de vragenlijst weer voor ernstige hinder door geluid van vliegverkeer op civiele luchthavens.

*Tabel 3 Overzicht aantal deelnemers en percentage respons, aantal ernstig gehinderden per luchthaven voor civiele luchtvaart.*

<b>Luchthaven</b>	<b>Aantal respons</b>	<b>% respons</b>	<b>Aantal ernstige hinder</b>
Schiphol	126.946	90,1	10.674
Groningen	5.002	90,2	107
Lelystad	14.814	92,2	355
Rotterdam	54.043	91,6	1.613

Luchthaven: benaming luchthaven, Aantal respons: aantal deelnemers dat vliegtuiggeluidvraag hinder heeft ingevuld, procent respons: respons op de hindervraag in procenten, Aantal ernstige hinder: aantal deelnemers met een score op de hindervraag van 8 – 10.

Tabel 4 geeft de respons op de vragen in de vragenlijst weer voor ernstige slaapverstoring weer voor de civiele luchthavens.

Tabel 4 Overzicht aantal deelnemers en percentage respons, aantal ernstige slaapverstoorden per luchthaven voor civiele luchtvaart.

Luchthaven	Aantal respons	% respons	Aantal ernstige slaapverstoring
Schiphol	126.802	90,0	5.241
Groningen	4.984	89,9	32
Lelystad	14.778	91,9	126
Rotterdam	53.898	91,3	790

Luchthaven: benaming luchthaven, Aantal respons: aantal deelnemers dat vliegtuiggeluidvraag slaapverstoring heeft ingevuld, procent respons: respons op de slaapverstoringvraag in procenten, Aantal ernstige slaapverstoring: aantal deelnemers met een score op de hindervraag van 8 – 10.

De blootstelling aan berekend vliegtuiggeluid is weergegeven in Tabel 5. De verdeling is weergegeven per luchthaven voor  $L_{den}$  en  $L_{night}$ . Voor de verdeling is gebruik gemaakt van percentielen (px). Hiermee wordt aangegeven welke deel van de deelnemers een geluidwaarde heeft die kleiner of gelijk is aan de waarde die bij het betreffende percentiel hoort. Rond Schiphol heeft 50 procent van de deelnemers een geluidblootstelling door vliegtuiggeluid van  $L_{den}$  40 dB of minder (50 procent:  $L_{den}$  40 of meer), 50 procent heeft een geluidblootstelling  $L_{night}$  van 24 dB (50 procent:  $L_{night}$  24 dB of meer) of minder.

Tabel 5 Blootstellingsverdeling naar percentielen voor  $L_{den}$  en  $L_{night}$  (indien van toepassing) per luchthaven voor civiele luchtvaart.

Gebied	Indicator	N	p1	p5	p25	p50	p75	p95	p99
Schiphol	$L_{den}$	126.946	32	34	37	40	43	49	54
	$L_{night}$	126.802	16	19	21	24	26	31	35
Groningen	$L_{den}$	5.002	10	13	16	23	30	38	44
Lelystad	$L_{den}$	14.814	0	0	5	10	15	39	41
Rotterdam	$L_{den}$	54.043	18	21	25	28	34	40	47
	$L_{night}$	53.898	2	5	10	14	19	27	36

Gebied: onderzoeksgebied/luchthaven, N: aantal deelnemers dat vliegtuiggeluidvraag heeft ingevuld, p1 tot en met p99: 1<sup>e</sup> percentiel et cetera. Toelichting op percentielwaarde: de waarde bij Schiphol bij bijvoorbeeld p5 van 34  $L_{den}$  geeft aan dat 5 procent van de deelnemers een geluidblootstelling heeft die kleiner of gelijk is aan 34 dB, 95 procent heeft een hogere geluidblootstelling.

### 3.2.2 Relatie tussen vliegtuiggeluid en effect per luchthaven

De relaties tussen blootstelling en effect worden per luchthaven besproken. Achtereenvolgens bespreken we Schiphol, Groningen, Lelystad en Rotterdam.

#### Schiphol

Schiphol (Schiphol Airport, EHAM) heeft zes start- en landingsbanen: 3 in noordzuid-richting, 2 in noordoost-zuidwest-richting en 1 in oostwest-richting. In 2020 vonden 241.401 vliegbewegingen<sup>52</sup> plaats (waarvan ongeveer 227.000 handelsverkeer)<sup>53</sup> op Schiphol Airport. In 2019 waren dit er 496.826. Op Schiphol vindt zowel vrachtvervoer als passagiersvervoer plaats. Schiphol kent een vliegjaar (gebruiksjaar) dat loopt van 1 november tot 1 november. Het aantal vliegbewegingen in de

<sup>52</sup> <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/verkeer/vliegbewegingen>.

<sup>53</sup> <https://www.schiphol.nl/nl/schiphol-group/pagina/verkeer-en-vervoer-cijfers/>.

periode 1 nov. 2019 tot 1 nov. 2020 bedroeg 272.784, tegen 497.140 in de periode van 1 november 2018 tot 1 november 2019.

Tabel 6 toont de resultaten voor de geluidblootstellingverdeling en ernstige hinder voor Schiphol. NB: Voor Schiphol is momenteel een ander rekenvoorschrift van toepassing: ECAC Doc29. De reden waarom hier met het NRM berekende gegevens worden gebruikt, heeft te maken met de doelstelling van dit onderzoek. De doelstelling gaat over een vergelijking van de situatie in 2020 met de situatie in 2002, toen volgens het NRM rekenvoorschrift blootstellingen werden berekend. In een aparte paragraaf gaan we in op de vergelijking tussen resultaten van NRM en Doc29 berekeningen voor Schiphol.

*Tabel 6 Geluidblootstellingcategoriegrenzen (G-cat) per 5 dB voor Lden van Schiphol, gemiddeld geluidniveau per categorie (Gem. Lden G-cat), aantal deelnemers en percentage (procent), aantal ernstig gehinderden EH, schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval), 2020.*

<b>G-cat</b>	<b>Gem. Lden G-cat</b>	<b>Aantal</b>	<b>% Aantal</b>	<b>Aantal EH</b>	<b>Schatting % EH (95% BI), 2020</b>
<b>&lt; 31.5 dB</b>	30,7	716	0,6	15	2,0 (1,1-3,6)
<b>31.5-35 dB<sup>#</sup></b>	34,1	10.488	8,3	235	2,0 (1,7-2,4)
<b>35-40 dB<sup>#</sup></b>	37,5	50.745	40,0	1.310	2,3 (2,1-2,5)
<b>40-45 dB<sup>*</sup></b>	42,3	46.801	36,9	4.200	7,1 (6,7-7,6)
<b>45-50 dB</b>	46,9	13.631	10,7	3.038	18,5 (17,5-19,6)
<b>50-55 dB</b>	52,1	3.761	3,0	1.474	39,6 (37,2-41,9)
<b>55-60 dB</b>	56,2	720	0,6	348	46,2 (41,9-50,5)
<b>60-62.5 dB<sup>*</sup></b>	60,9	44	<0,05	26	49,9 (32,7-67,0)
<b>≥ 62.5 dB</b>	63,8	40	<0,05	28	68,7 (51,2-82,1)
<b>Totaal</b>		126.946	100	10.674	

<sup>#</sup> deze categorieën samen komen het meest overeen met de categorie 33-40 in Tabel 7.

In Tabel 6 valt op dat vooral boven de 60 dB, het aantal deelnemers per categorie relatief klein is.

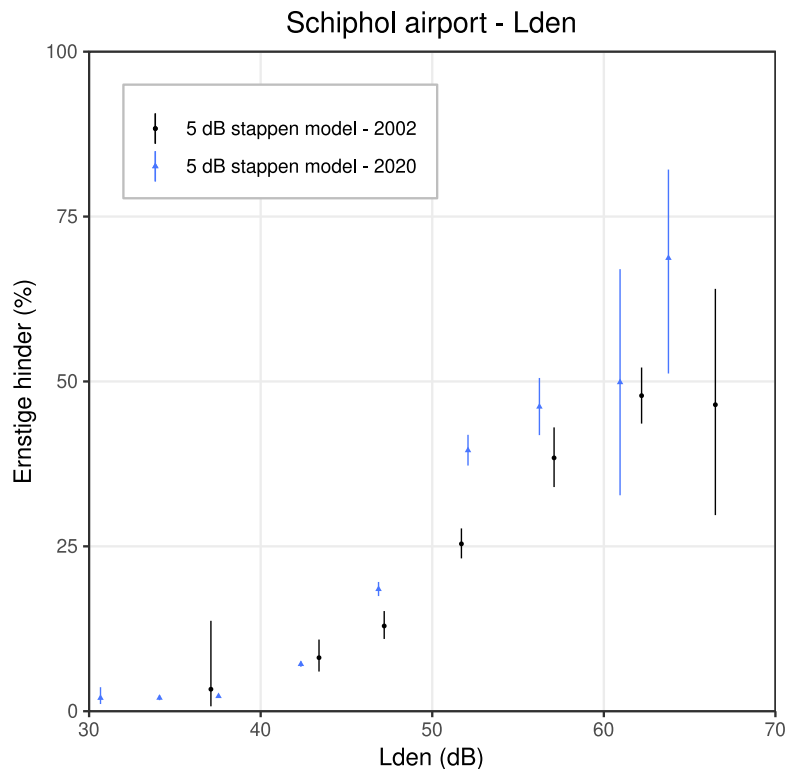
In Tabel 7 staan de resultaten voor de geluidblootstellingverdeling en ernstige hinder voor Schiphol 2002 (Schiphol/GES). Het aantal vliegbewegingen in 2002 was 417.111 (waarvan 401.000 handelsverkeer)

Tabel 7 Onderliggende gegevens GES-relatie 2002,  $L_{den}$ . Geluidblootstellingcategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{den}$  van Schiphol, gemiddeld geluidniveau per categorie (Gem.  $L_{den}$  G-cat), aantal deelnemers, aantal ernstig gehinderden EH, schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

G-cat	Gem. $L_{den}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI), 2002
33-40 dB	37,1	36	0,6	2	3,3 (0,7-13,7)
40-45 dB	43,4	424	7,4	53	8,1 (6,0-10,9)
45-50 dB	47,2	1.490	26,0	329	12,9 (11,0-15,2)
50-55 dB	51,7	1.815	31,7	644	25,4 (23,2-27,7)
55-60 dB	57,1	1.239	21,6	616	38,4 (34,0-43,0)
60-65 dB	62,2	698	12,2	397	47,8 (43,6-52,1)
65-72 dB	66,5	32	0,6	17	46,4 (29,7-64,0)
<b>Totaal</b>		5.734	100	2.058	

Uit Tabel 7 valt te ontnemen dat vooral boven de 65 dB het aantal deelnemers relatief klein is.

Figuur 3 geeft de stapsgewijze (categorieën) modellen voor  $L_{den}$  en ernstige hinder weer voor Schiphol 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

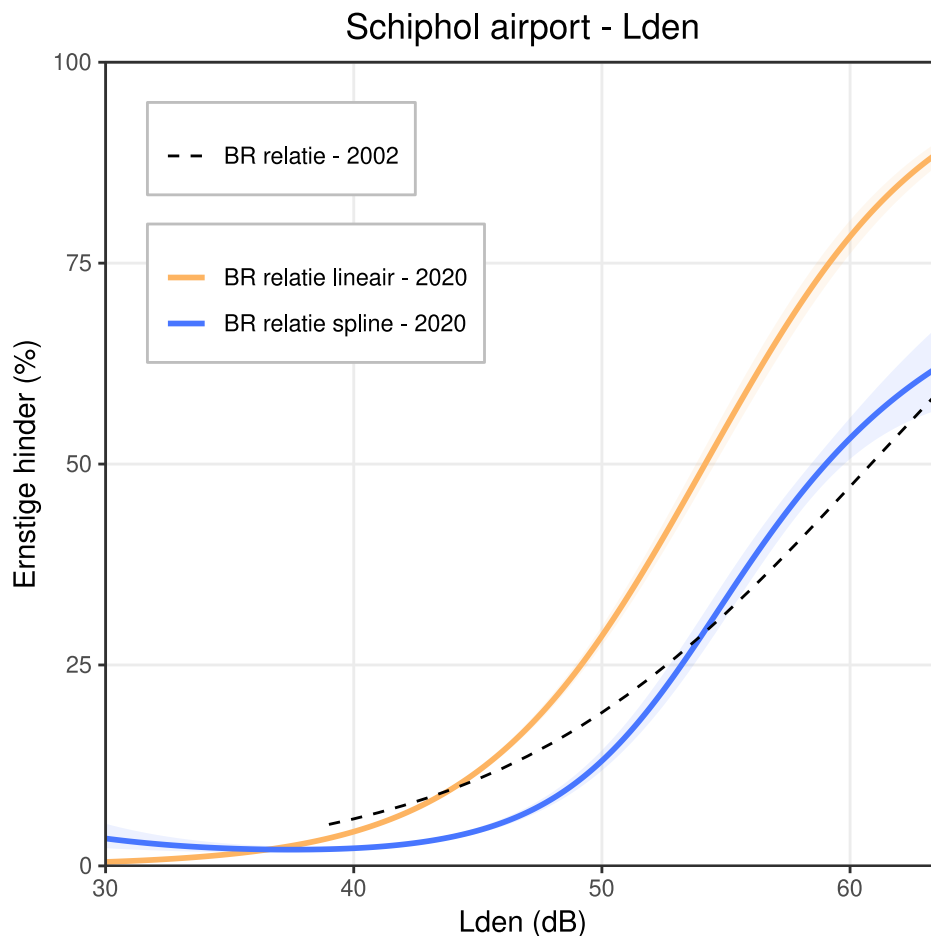


Figuur 3 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Schiphol, 2002 (Schiphol/GES) en 2020 (GM).

Bij lagere blootstelling, lager dan 45 dB, volgen de stapsgewijze modellen elkaar goed. Daarboven lopen beide duidelijk uit elkaar. Dit

betekent dat in 2020 vanaf ongeveer 45 dB het percentage ernstig gehinderd bij dezelfde geluidblootstelling hoger ligt dan in 2002. De categorale weergave laat zien dat boven de 60 dB de onzekerheid sterk toeneemt (de betrouwbaarheidsintervallen worden groter) doordat het aantal respondenten bij deze geluidniveaus gering is.

Figuur 4 toont de curves voor 2020 volgens het lineaire model en het 'spline'-model voor de Luchthaven Schiphol. De gestreepte lijn geeft de curve weer voor 2002.



*Figuur 4 BR-relatie volgens lineair en 'spline'-model (+BI) voor Lden en ernstige hinder Luchthaven Schiphol, 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn). De betrouwbaarheidsintervallen rond de 2020-curves zijn heel smal vanwege de grote aantallen deelnemers. Voor de curve van 2002 is geen betrouwbaarheidsinterval beschikbaar.*

Bij lagere blootstelling, lager dan 45 dB, volgen de lineaire 2020-curve en de 2002-curve elkaar goed. Daarboven lopen de curves uit elkaar. De lineaire curve 2020 loopt door tot 65 dB en leidt tot ruim 90 procent ernstige hinder bij deze geluidblootstelling. De 'spline'-curve ligt tot ongeveer 55 dB onder de 2002-curve, boven de 55 dB ligt deze boven de 2002-curve. De 'spline'-curve van 2020 volgt de 2002-curve beter dan de lineaire curve van 2020. Bij 65 dB leidt de 'spline'-curve tot ongeveer 60 procent ernstige hinder. Vanaf 40 dB wijken de lineaire curve en de 'spline'-curve van elkaar af, waarbij de lineaire curve hoger

ligt dan de 'spline'. Dat wil zeggen: deze lineaire curve geeft bij dezelfde geluidblootstelling meer ernstige hinder weer dan de 'spline'-curve.

Tabel 8 toont de resultaten voor de geluidblootstellingverdeling en ernstige slaapverstoring voor Schiphol 2020 (GM).

*Tabel 8 Geluidblootstellingcategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{night}$  voor Schiphol 2020, gemiddeld geluidniveau per categorie (Gem.  $L_{night}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig slaapverstoorden (ES) en schatting procent ernstig slaapverstoorden (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).*

<b>G-cat</b>	<b>Gem. <math>L_{night}</math> G-cat</b>	<b>Aantal</b>	<b>% Aantal</b>	<b>Aantal ES</b>	<b>Schatting % ES (95% BI), 2020</b>
<b>≤ 20 dB</b>	18,8	17.281	13,6	134	0,6 (0,5-0,8)
<b>20-25 dB</b>	22,6	71.791	56,6	1.351	1,5 (1,4-1,6)
<b>25-30 dB</b>	26,8	29.371	23,2	2.117	5,5 (5,1-6)
<b>30-35 dB</b>	32,1	7.037	5,5	1.300	14,7 (13,5-16)
<b>35-40 dB</b>	36,9	1.092	0,9	251	25,6 (21,3-30,4)
<b>40-42.5 dB</b>	40,6	166	0,1	65	38,7 (30,3-47,9)
<b>≥ 42.5 dB</b>	44,5	64	0,1	23	32,8 (21,0-47,3)
<b>Totaal</b>		126.802	100	5.241	

Het aantal deelnemers vanaf ongeveer 42 dB is relatief klein waardoor de betrouwbaarheid lager is. Het aantal vliegbewegingen in 2002 was 417.111 (waarvan 401.000 handelsverkeer).

Tabel 9 toont de resultaten voor de geluidblootstellingsverdeling en ernstige slaapverstoring voor Schiphol 2002 (Schiphol/GES). Het aantal vliegbewegingen in 2002 was 417.111 (waarvan 401.000 handelsverkeer).

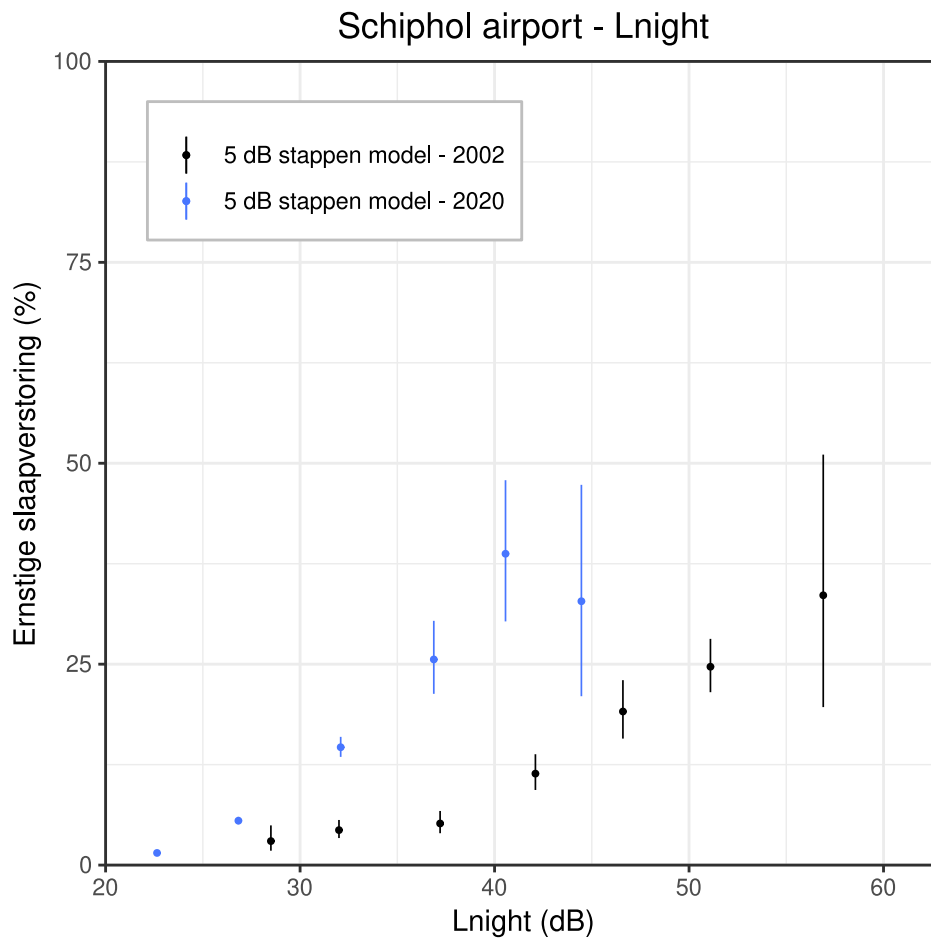
*Tabel 9 Onderliggende gegevens GES-relatie 2002,  $L_{night}$ . Geluidblootstellingcategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{night}$  voor Schiphol 2002, gemiddeld geluidniveau per categorie (Gem.  $L_{night}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig slaapverstoorden (ES) en schatting ernstige slaapverstoring 2002 (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).*

<b>G-cat</b>	<b>Gem. <math>L_{night}</math> G-cat</b>	<b>Aantal</b>	<b>% Aantal</b>	<b>Aantal ES</b>	<b>Schatting % ES (95% BI), 2002</b>
<b>23- 30 dB</b>	28,5	324	5,7	25	3,0 (1,8-4,9)
<b>30-35 dB</b>	32,0	1.743	30,5	232	4,4 (3,4-5,6)
<b>35-40 dB</b>	37,2	1.089	19,1	129	5,2 (4,0-6,7)
<b>40-45 dB</b>	42,1	1.061	18,6	254	11,4 (9,3-13,8)
<b>45-50 dB</b>	46,6	869	15,2	279	19,1 (15,7-23,0)
<b>50-55 dB</b>	53,1	597	10,5	216	24,7 (21,5-28,1)
<b>55-62 dB</b>	56,9	31	0,5	14	33,6 (19,7-51,1)
<b>Totaal</b>		5.714	100	1.149	

Het aantal vliegbewegingen in 2002 was 417.111 (waarvan 401.000 handelsverkeer).

Tabel 9 is te zien dat vooral boven de 55 dB het aantal deelnemers verhoudingsgewijs klein is waardoor de onzekerheid toeneemt.

Figuur 5 geeft de stapsgewijze (categorieën) modellen voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring weer voor Schiphol, Schiphol/GES 2002 en GM 2020.

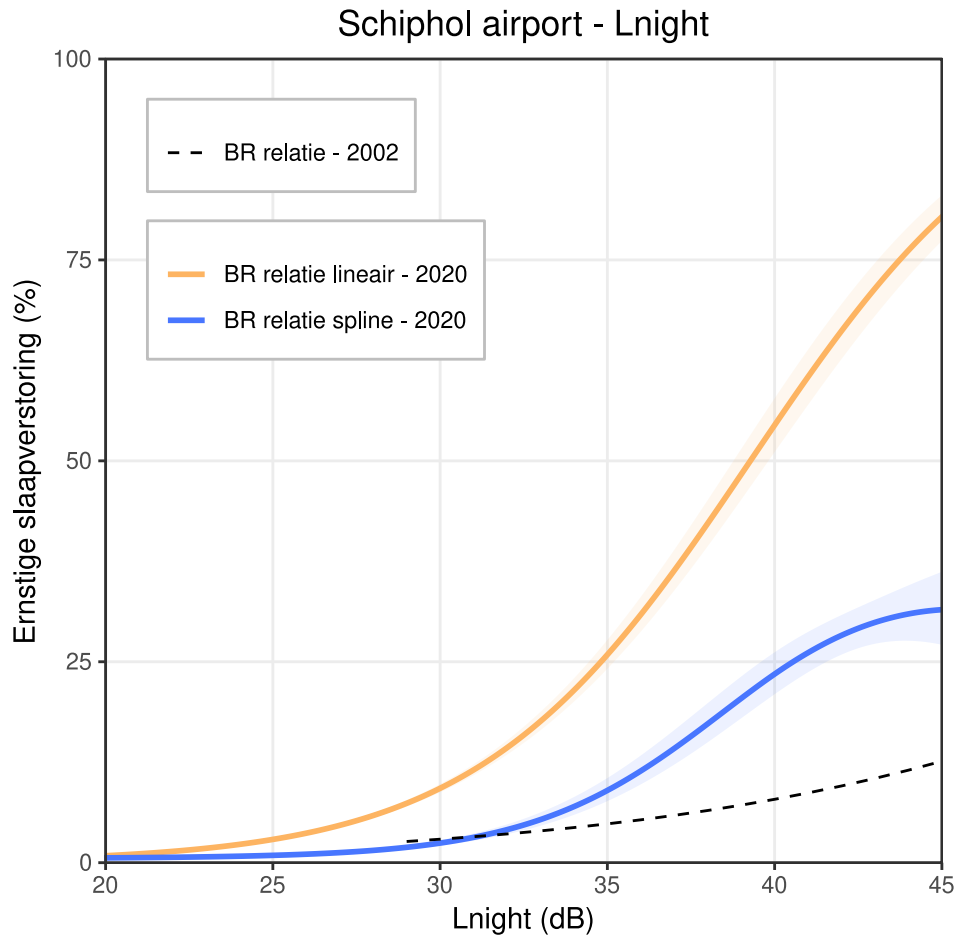


*Figuur 5 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring, Schiphol 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).*

Het stapsgewijze model voor 2020 loopt tot ongeveer 45 dB, het 2002-model tot ongeveer 57 dB. Het 2020-model ligt over de hele linie hoger dan het 2002 model. Dat wil zeggen dat in 2020 meer mensen ernstige slaapverstoring rapporteerden bij gelijke blootstelling dan in 2002.

Figuur 6 geeft de curves weer voor ernstige slaapverstoring voor 2020 volgens het lineaire model en het 'spline'-model voor Schiphol. De gestreepte lijn toont de curve voor 2002.





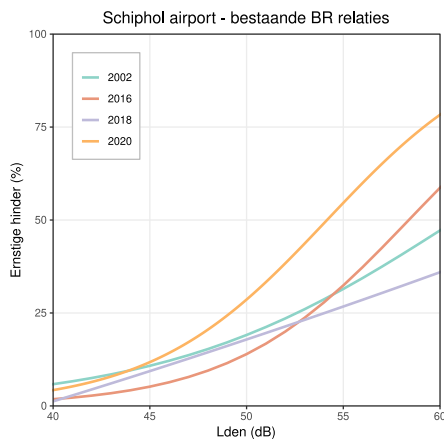
*Figuur 6 BR-relatie volgens lineair en 'spline'-model (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige slaapverstoring Schiphol, 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn). De betrouwbaarheidsintervallen rond de 2020-curves zijn heel smal, vanwege de grote aantallen. Voor de curve 2002 is geen betrouwbaarheidsinterval beschikbaar.*

De lineaire curve 2020 ligt over de hele range van blootstelling (ver) boven de curve van 2002, de 'spline'-curve 2020 volgt bij lagere waarden, tot ongeveer 33 dB de curve uit 2002. Daarboven ligt ook de 'spline'-curve boven de curve uit 2002. De lineaire en 'spline'-curve ontlopen elkaar over de hele range van blootstelling, waarbij de lineaire curve hoger ligt (de curve geeft meer ernstige slaapverstoring weer bij dezelfde blootstelling) dan de 'spline'-curve.

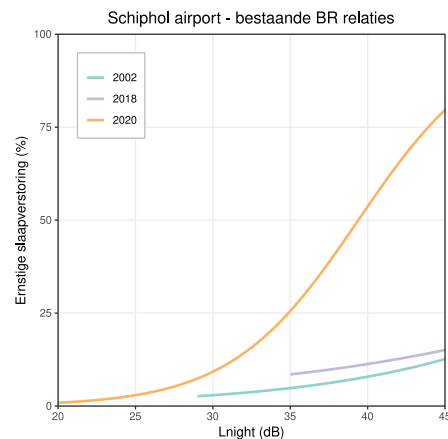
In Figuur 7 en Figuur 8 zijn de curves voor ernstige hinder respectievelijk voor ernstige slaapverstoring vergeleken met bestaande BR-relaties, de BR-relatie uit 2018 (WHO) en de 'de Schiphol-curve'<sup>54</sup> uit 2002. Ook zijn de curves uit de vorige Gezondheidsmonitor (GM2016) in de figuren opgenomen. De lineaire BR-curve op basis van de Gezondheidsmonitor 2020-data, ligt hoger dan de BR-curve uit 2002 voor Schiphol. Dat wil zeggen dat bij gelijke geluidblootstelling het aandeel ernstig gehinderden in 2020 groter is dan in 2002. Dit geldt ook

<sup>54</sup> Breugelmans ORP, Van Wiechen CMAG, Van Kamp I, Heisterkamp SH, Houthuijs DJM. Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002. Tussenrapportage Monitoring Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol. RIVM rapport 630100001/2004.

voor ernstige slaapverstoring. Voor andere curves geldt dat bij lagere geluidwaarden de curves onder die van 2002 lagen (minder gehinderden) en bij hogere waarden boven de curve van 2002. De curve voor hinder van 2020 ligt voor een deel, vanaf ongeveer 37 dB, boven de curve van 2002. De curve voor slaapverstoring van 2020 ligt in zijn geheel boven de curve van 2002. De internationale WHO-curve uit 2018 voor  $L_{den}$  vormt hierop een uitzondering. Die ligt in zijn geheel onder de 2002-curve. De GM2016-curve ligt tot ongeveer 54 dB onder de 2002-curve. Daarna ligt deze erboven.



*Figuur 7 Vergelijking met bestaande Blootstellingrespons-relatie  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Schiphol. Legenda: 2002: Schiphol BR-relatie uit 2002, 2016: Schiphol BR-relatie op basis van GM 2016, 2018: BR-relatie op basis van WHO noise guideline 2018 en 2020: BR-relatie op basis van GM 2020.*



*Figuur 8 Vergelijking met bestaande blootstellingrespons-relatie  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Schiphol. Legenda: 2002: Schiphol BR-relatie uit 2002, 2018: BR-relatie op basis van WHO noise guideline 2018 en 2020: BR-relatie op basis van GM 2020.*

#### *NRM en ECAC Doc29*

In verband met het Nieuwe Normen en Handhavingstelsel (NNHS) heeft Schiphol Airport Schiphol een Milieu Effect Rapportage (MER) opgesteld. Aanvankelijk werden de geluidberekeningen voor deze MER uitgevoerd met het Nederlandse Rekenmodel (NRM) voor vliegtuiggeluid. In een tussentijds advies<sup>55</sup> van augustus 2016 adviseerde de commissie voor de MER om deze methoden aan te passen, waarmee het effect van bepaalde procedurewijzigingen op de geluidblootstelling rond luchthaven Schiphol beter kan worden berekend. Dit advies was aanleiding voor de staatssecretaris om het NRM te vervangen voor een rekenmethode gebaseerd op de nieuwste aanbevelingen van de European Civil Aviation Conference (ECAC), ook wel bekend als ECAC Doc29 of kortweg Doc29.

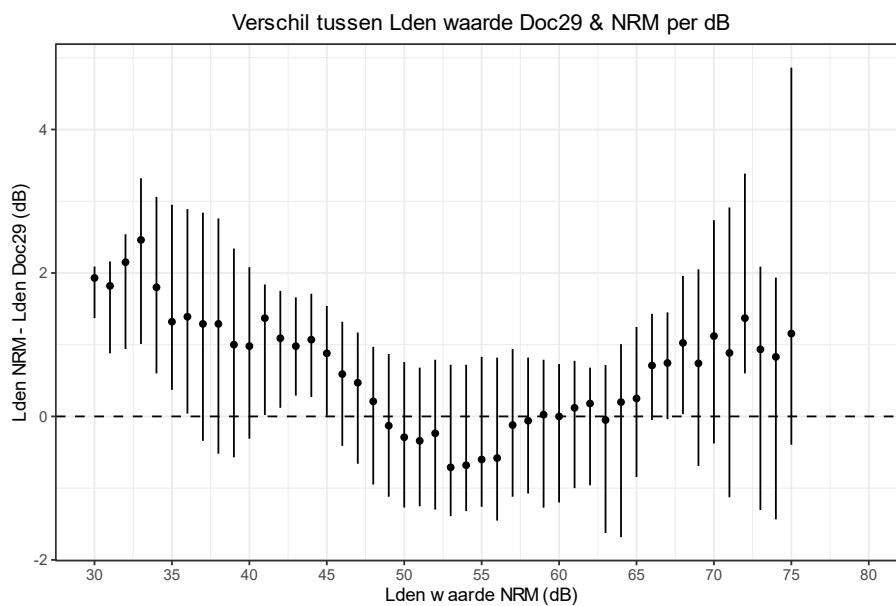
Voor Schiphol zijn de  $L_{den}$  berekeningen voor dit onderzoek uitgevoerd, zowel volgens de rekenregels van het NRM (zie resultaten hierboven) als volgens ECAC Doc29<sup>56</sup>. Omdat het rekengebied van Doc29 kleiner was

<sup>55</sup> MER, C. (2016). Nieuw Normen- en Handhavingstelsel Schiphol. Tussentijdse toetsing effecten geluidsarmere start- en landingsprocedures, 3052.

<sup>56</sup> Heblj, S. J., et al. (2017). Toepassing ECAC Doc29 voor het bepalen van de geluidbelasting van het vliegverkeer van Schiphol-methode, zoals gevolgd bij de MER NNHS Schiphol, NLR-CR-2017-305.

dan dat van het NRM, zijn deze analyses gebaseerd op een kleinere populatie ( $n = 121.132$ ) dan de bovenstaande resultaten.

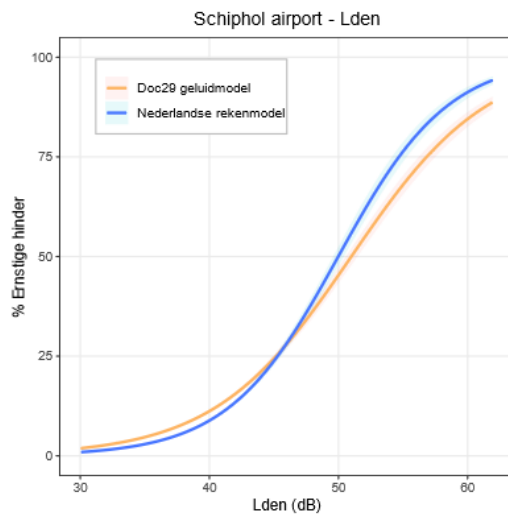
Allereerst is gekeken naar de overeenkomsten en verschillen tussen de uitkomsten van de rekenmodellen. Daarvoor is voor het kleinste rekengebied in de modellen (Doc29) voor beide modellen op alle receptorpunten (en niet op woonadressen) de geluidblootstelling berekend. Vervolgens is een verschilanalyse gemaakt (NRM - Doc29) per receptorpunt. Voor de hele blootstellingsrange zijn per decibel vervolgens de verschillen samengevat in een mediaanwaarde (●) en 25e en 75e percentielwaarde (|), zie Figuur 9.



*Figuur 9 Het verschil tussen Lden-waarden berekend op basis van het Nederlandse Rekenmodel en het Doc29-rekenmodel op basis van 541.071 receptorpunten rondom Schiphol airport. Zwarte punten: mediaan van het verschil. Lijnen: range van het 25e tot 75e percentiel van het verschil per dB waarde voor beide modellen.*

Over het grootste deel van de blootstellingsrange leidt het NRM-model tot hogere blootstellingsschattingen op de receptorpunten dan het Doc29-model, behalve tussen ongeveer 49 dB en ongeveer 58 dB; daar is het andersom. Het verschil kan over de hele blootstellingsrange variëren van 0 dB tot meer dan 5 dB.

Figuur 10 toont de curves (lineair) voor  $L_{den}$  op basis van het Doc29-geluidmodel (oranje) en ernstige hinder en  $L_{den}$  op basis van het Nederlandse rekenmodel (blauw) voor Schiphol 2020.



Figuur 10 BR-relatie (lineair) voor  $L_{den}$  op basis van het Doc29 geluidmodel (oranje) en ernstige hinder en  $L_{den}$  op basis van het Nederlandse rekenmodel (blauw) voor Schiphol 2020.

De resultaten laten tot ongeveer 47 dB een hoger (verhoogd, dat wil zeggen: ondergrens van 95 procent BI van de Doc29-curve ligt boven bovengrens van 95 procent BI van de NRM-curve) percentage ernstig gehinderden voor de Doc29-berekeningen zien dan op basis van de berekeningen met het Nederlandse rekenmodel, bij gelijke blootstelling. Daarboven laten de resultaten volgens het NRM meer ernstig gehinderden zien bij een gelijke blootstelling dan het Doc29-model (verhoogd, dat wil zeggen: ondergrens van 95 procent BI van NRM-curve ligt boven bovengrens van 95 procent BI Doc29-curve).

## Groningen

Groningen Airport Eelde (EHGG) heeft één start- en landingsbaan in noordoost-zuidwest-richting en een heliport. Het aantal vliegbewegingen in 2020 bedroeg 39.387 voor Groningen Airport Eelde<sup>57</sup>. In 2019 waren dit 31.931 vliegbewegingen<sup>58</sup>. Deze toename wordt vooral toegeschreven aan lesvluchten.

In Tabel 10 staan de resultaten voor ernstig hinder per blootstellingscategorie voor Groningen. Het aantal ernstig gehinderden is over alle verschillende blootstellingscategorieën relatief klein.

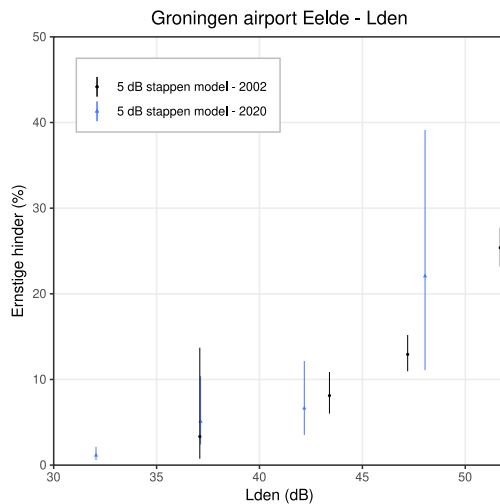
<sup>57</sup> CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/verkeer/vliegbewegingen>.

<sup>58</sup> Groningen Airport Eelde. Luchthaven van het Noorden (2020). Jaarverslag 2019.

Tabel 10 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{den}$  van Groningen, gemiddeld geluidniveau per categorie (Gem.  $L_{den}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

G-cat	Gem. $L_{den}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
≤ 20 dB	15,3	2.002	40,0	24	1,4 (0,8-2,4)
20-25 dB	22,3	914	18,3	14	2,0 (0,9-4,4)
25-30 dB	27,3	853	17,1	17	1,6 (0,9-3,1)
30-35 dB	32,1	859	17,2	18	1,1 (0,6-2,1)
35-40 dB	37,1	204	4,1	12	5,1 (2,4-10,4)
40-44.5 dB	42,2	127	2,5	12	6,6 (3,5-12,2)
≥ 44.5 dB	48,0	43	0,9	10	22,1 (11,1-39,1)
<b>Totaal</b>		5.002	100	107	

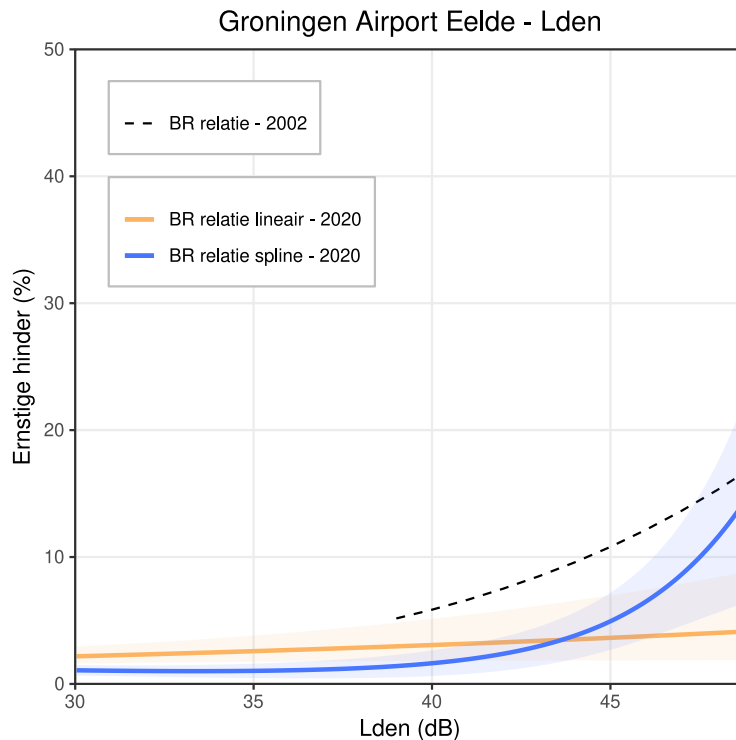
Uit Tabel 10 is op te maken dat het aantal deelnemers in Groningen niet groot is en dat boven de 35 dB de onzekerheid toeneemt.



Figuur 11 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder, Groningen 2020 (GM) en voor 2002 (Schiphol/GES).

Figuur 11 toont de stapsgewijze (categorieën) modellen voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Schiphol/GES 2002 en Groningen GM 2020. De 5 dB-stappen overlappen bij alle categorieën. Bij de hogere blootstelling zijn de betrouwbaarheidsintervallen groter voor de Groningen GM 2020-data.

Figuur 12 geeft de BR-relaties weer volgens het lineair en 'spline'-model (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Groningen, 2020 (GM).



Figuur 12 BR-relatie volgens lineair en 'spline'-model (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Groningen, 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn).

Hoewel de lineaire curve een verband tussen blootstelling en respons laat zien, is dit een zwak verband. Dit geldt voor een groot deel van de blootstellingsrange ook voor het 'spline'-model, tot ongeveer 43 dB. Daarboven wordt de br-relatie zichtbaarder, maar met een relatief groot betrouwbaarheidsinterval.

Op basis van de aantallen ernstig gehinderden, het relatief zwakke verband van het lineaire model en de beperkte range van het 'spline'-model, wordt voor Groningen geen BR-relatie gegeven in Tabel 39.

Voor Groningen zijn geen nachtgegevens beschikbaar, omdat er 's nachts niet wordt gevlogen.

### Lelystad Airport

Lelystad Airport heeft één start- en landingsbaan in noordoost-zuidwest-richting (05-23). Lelystad kent voornamelijk algemeen vliegverkeer (GA: General Aviation). In 2020 bedroeg het aantal vliegbewegingen<sup>59</sup> ongeveer 76.900 (in 2019 waren dit er ongeveer 97.400).

De percentages ernstig gehinderden per blootstellingcategorie voor Lelystad staan in Tabel 11.

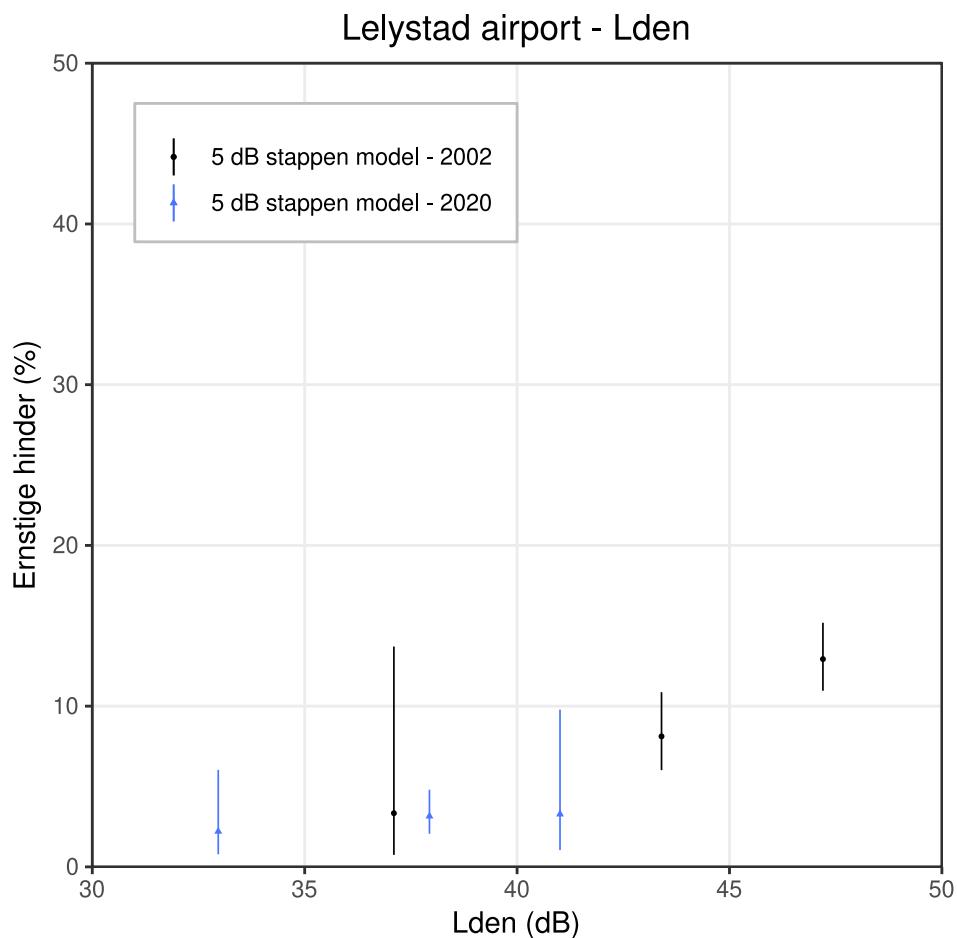
<sup>59</sup> CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/verkeer/vliegbewegingen>.

Tabel 11 Blootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{den}$  van Lelystad, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{den}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

<b>G-cat</b>	<b>Gem. <math>L_{den}</math> G-cat</b>	<b>Aantal</b>	<b>% Aantal</b>	<b>Aantal EH</b>	<b>Schatting % ES (95% BI)</b>
<b>≤10 dB</b>	4,7	7828	52,8	122	1,2 (0,9-1,6)
<b>10-15 dB</b>	12,5	2881	19,4	70	2,3 (1,6-3,2)
<b>15-20 dB</b>	16,7	1368	9,2	42	4,0 (2,3-6,9)
<b>20-25 dB</b>	22,2	423	2,9	21	2,2 (1,3-3,9)
<b>25-35 dB</b>	33	333	2,2	14	2,2 (0,8-6)
<b>35-40 dB</b>	37,9	1790	12,1	74	3,2 (2,1-4,8)
<b>≥ 40 dB</b>	41	191	1,3	12	3,3 (1-9,8)
<b>Totaal</b>		14814	100	355	

Rondom de luchthaven Lelystad is de geluidblootstelling laag in vergelijking tot de geluidblootstelling rond Schiphol (zie Tabel 11). Het aantal deelnemers is ook relatief klein waardoor de onzekerheid rondom de hinderschatting groot zijn.

Figuur 13 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Lelystad 2020 (GM) en voor 2002 (Schiphol/GES) weer.



*Figuur 13 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder, Lelystad 2020 (GM) en voor 2002 (Schiphol/GES).*

Door de smalle blootstellingsrange (30 dB - ongeveer 40 dB) en het lage aantal ernstig gehinderden (groot betrouwbaarheidsintervallen) stellen we voor Lelystad geen BR-relatie op.

Voor Lelystad zijn geen nachtgegevens beschikbaar omdat er 's nachts niet wordt gevlogen.

### **Rotterdam**

Rotterdam The Hague Airport (EHRD) heeft één start- en landingsbaan in noordoost-zuidwest-richting (04 – 22). In 2020 werden 38.653 vliegbewegingen<sup>60</sup> gemeld. In 2019 waren dit er 52.439.

Tabel 12 geeft de resultaten voor de geluidblootstellingverdeling en ernstige hinder voor Rotterdam weer.

<sup>60</sup> <https://www.rotterdamthehagueairport.nl/luchthaven-en-ik/omgeving-leefbaarheid/feiten-en-cijfers/>.

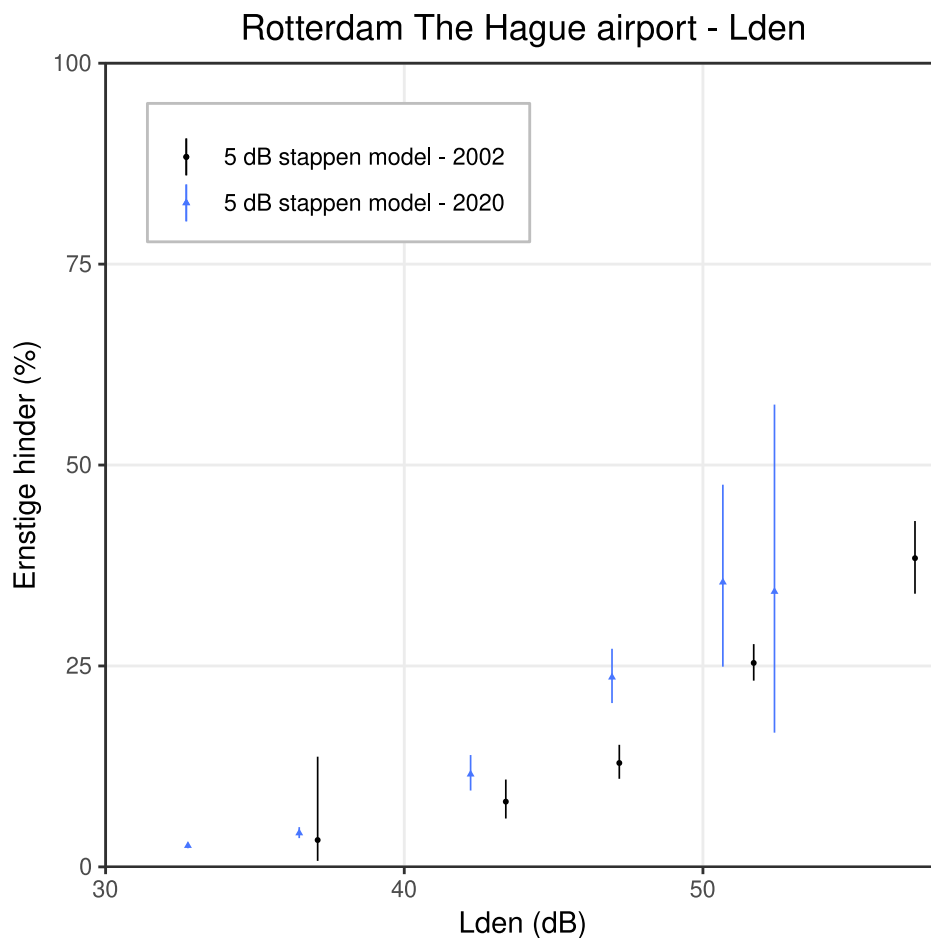


Tabel 12 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor Lden van Rotterdam, gemiddeld geluidniveau per categorie (Lden G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

<b>G-cat</b>	<b>Gem. Lden G-cat</b>	<b>Aantal</b>	<b>% Aantal</b>	<b>Aantal EH</b>	<b>Schatting % EH (95% BI)</b>
<b>≤20 dB</b>	18,4	2.147	4,0	28	1,5 (0,9-2,3)
<b>20-25 dB</b>	23,0	11.812	21,9	143	1,3 (1,0-1,6)
<b>25-30 dB</b>	27,3	17.015	31,5	238	1,3 (1,1-1,5)
<b>30-35 dB</b>	32,8	13.824	25,6	442	2,6 (2,3-3)
<b>35-40 dB</b>	36,5	6.452	11,9	265	4,2 (3,6-4,9)
<b>40-45 dB</b>	42,2	1.553	2,9	179	11,5 (9,5-13,9)
<b>45-50 dB</b>	47,0	1.111	2,1	269	23,6 (20,4-27,1)
<b>50-51.5 dB</b>	50,7	95	0,2	37	35,4 (24,9-47,6)
<b>≥ 51.5 dB</b>	52,4	34	0,1	12	34,3 (16,7-57,5)
<b>Totaal</b>		54.043	100	1.613	

Uit Tabel 12 valt op te maken dat het aantal deelnemers relatief laag is vanaf ongeveer 50 dB, waardoor de onzekerheid van de schattingen groot is.

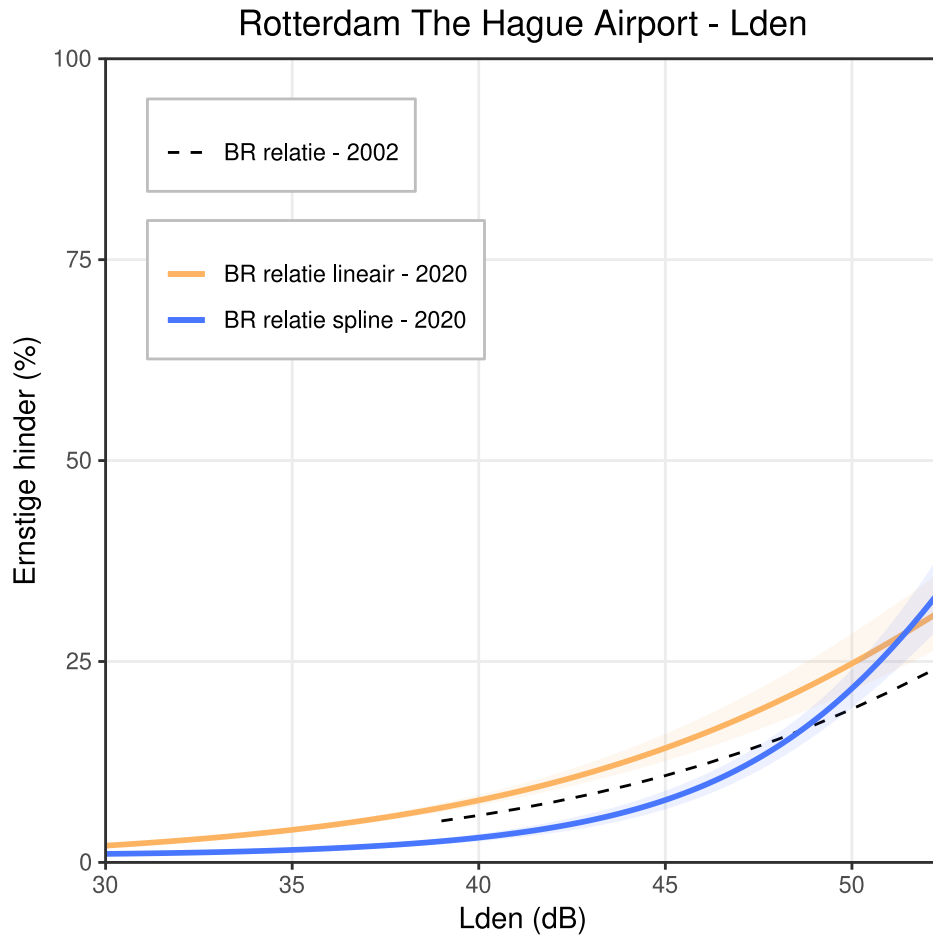
Figuur 14 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor Lden en ernstige hinder voor Rotterdam 2020 (GM) en voor 2002 (Schiphol/Ges) weer.



Figuur 14 Stapsgewijze modellen (+BI) voor Lden en ernstige hinder, Rotterdam 2020 (GM) en voor 2002 (Schiphol/GES).

Over de hele blootstellingsrange lijken de gemiddelden, gemeten waarden van Rotterdam 2020 hoger te liggen dan voor de 2002-data (Schiphol/GES). Met andere woorden: de gemiddelde ernstige hinder is voor Rotterdam in 2020 bij gelijke blootstelling hoger dan in 2002 rondom Schiphol. De data van 2002 lopen wel verder door dan de 2020-data.

Figuur 15 geeft de BR-curves volgens lineair en 'spline'-model (+BI) voor Lden en ernstige hinder voor Rotterdam 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn) weer.



Figuur 15 BR-relatie volgens lineair en 'spline'-model (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Rotterdam 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn).

De lineaire curve ligt in zijn geheel boven de 2002-curve en voor het grootste deel boven de 'spline'-curve (tot ongeveer 52 dB). De 'spline'-curve ligt niet alleen voor een groot deel onder de lineaire curve, maar ook onder de 2002-curve voor Schiphol, tot ongeveer 47 dB. De 'spline'-curve geeft dus voor een groot deel van de blootstellingsrange minder ernstig gehinderden, bij dezelfde blootstelling dan de 2002-curve.

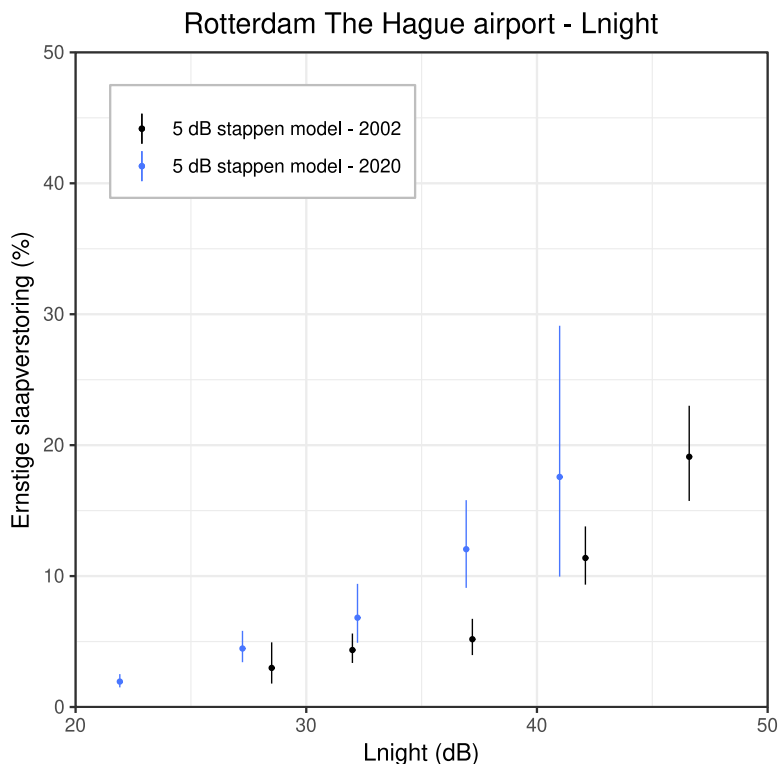
Tabel 13 geeft de resultaten voor de geluidblootstellingsverdeling en ernstige slaapverstoring voor Rotterdam weer.

Tabel 13 Blootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{night}$  voor Rotterdam, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{night}$  G-cat), aantal deelnemers, aantal ernstig slaapverstoorden ES en schatting procent ernstige slaapverstoring (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

G-cat	Gem. $L_{night}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal ES	Schatting % ES (95% BI)
≤20 dB	12,1	45.135	83,7	409	1,0 (0,9-1,1)
20-25 dB	21,9	5.209	9,7	111	1,9 (1,5-2,5)
25-30 dB	27,2	1.995	3,7	108	4,5 (3,4-5,8)
30-35 dB	32,2	851	1,6	62	6,8 (4,9-9,4)
35-40 dB	36,9	634	1,2	86	12,1 (9,1-15,8)
≥ 40 dB	41,0	74	0,1	14	17,6 (10,0-29,1)
<b>Totaal</b>		53.898	100	790	

Uit Tabel 13 is op te maken dat het aantal deelnemers in de hoogste categorie (> 40 dB) relatief laag is en de betrouwbaarheidsintervallen groter.

Figuur 16 geeft de stapsgewijze modellen voor Rotterdam (GM 2020) en Schiphol/GES (2002)gegeven.

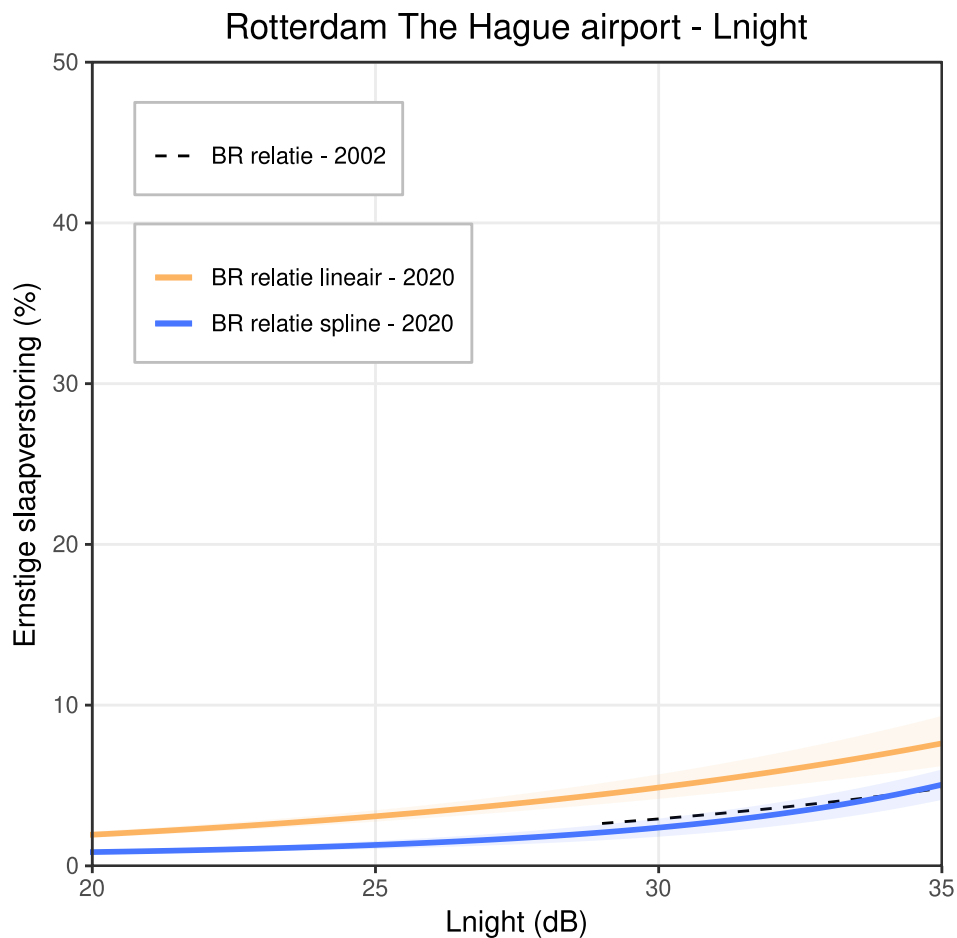


Figuur 16 Stapsgewijze modellen (+ BI) voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring, voor Schiphol/GES 2002 en GM 2020 Rotterdam.

Het stapsgewijze model voor Rotterdam 2020 loopt door tot ongeveer 41 dB, waarbij de onzekerheid toeneemt (groot BI). Het stapsgewijze model van Schiphol/GES (2002) begint bij ongeveer 28 dB en loopt door tot ongeveer 47 dB. Het model voor Rotterdam ligt boven het

Schiphol/GES-model, maar loopt wel minder ver door. Bij gelijke blootstelling werd in 2020 rondom Rotterdam The Hague Airport meer ernstige hinder gerapporteerd dan in 2002.

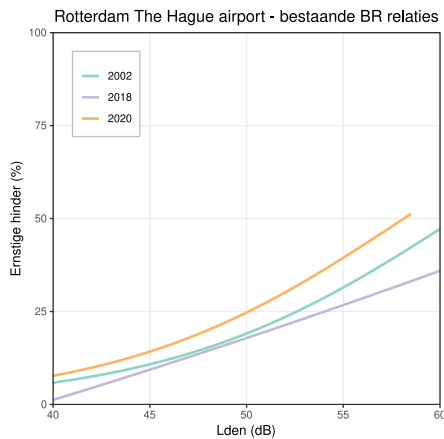
In Figuur 17 zijn de resultaten voor de relatie tussen geluidblootstelling van vliegverkeer in  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Rotterdam weergegeven volgens het lineair model en het 'spline'-model.



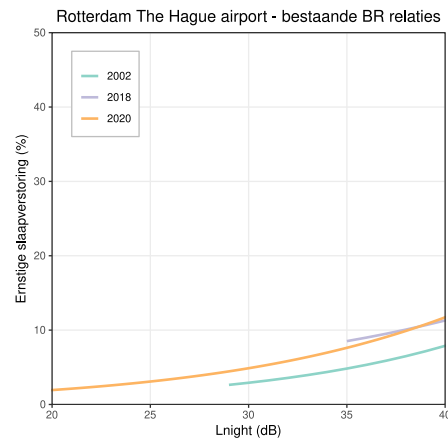
*Figuur 17 BR-relatie volgens lineair en 'spline' model (+ BI) voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Rotterdam 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn).*

Het lineaire model volgt het 2002-model vanaf ongeveer 28 dB, maar ligt hoger. Dat betekent dat het model meer ernstige hinder schat bij gelijke blootstelling dan het 2002-model. Het 'spline'-model valt ongeveer samen met het 2002-model.

In Figuur 18 en Figuur 19 zijn de curves voor ernstige hinder, respectievelijk ernstige slaapverstoring 2020, met bestaande BR-relaties vergeleken.



*Figuur 18 Vergelijking met bestaande Blootstelling-Respons-relatie  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Rotterdam. Legenda: 2002: Schiphol BR-relatie uit 2002, 2018: BR-relatie op basis van WHO noise guideline 2018 en 2020: Rotterdam BR-relatie op basis van GM 2020.*



*Figuur 19 Vergelijking met bestaande Blootstelling-Respons-relatie  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Rotterdam. Legenda: 2002: Schiphol BR-relatie uit 2002, 2018: BR-relatie op basis van WHO noise guideline 2018 en 2020: Rotterdam BR -relatie op basis van GM 2020.*

De BR-relaties voor ernstige hinder en ernstige slaapverstoring van Rotterdam liggen boven (= bij eenzelfde geluidblootstelling is de hinder, respectievelijk slaapverstoring, groter) de BR-relaties uit 2002 voor Schiphol (zie Figuur 18 en Figuur 19). De GM 2020 BR-relatie voor hinder ligt ook boven de 2018 WHO-relatierelatie. Voor slaapverstoring is dit voor een groot deel het geval.

### 3.3 Civiele en militaire luchthavens

In deze paragraaf komen vier luchthavens aan bod: Maastricht, Geilenkirchen, De Kooy en Eindhoven. Maastricht en Geilenkirchen worden hier samen behandeld, omdat er een grote overlap bestaat tussen deze studiegebieden. Het onderzoeksgebied van Maastricht omvat voor 100 procent het onderzoeksgebied van Geilenkirchen en beslaat daarboven nog eens twee aanvullende gemeenten. De Kooy en Eindhoven zijn beide militaire vliegbases met civiel medegebruik. In de vragenlijst GM 2020 is enkel naar hinder en slaapverstoring door vliegtuiggeluid in het algemeen gevraagd. Deze vraag is niet uitgesplitst naar bijvoorbeeld geluid van vliegverkeer van civiele of militaire luchthavens of van helikopters. Hierdoor is het voor de betreffende luchthavens niet aan te geven door welke bron (civiel of militair) hinder dan wel slaapverstoring wordt ervaren.

#### 3.3.1 Studiepopulatie, ernstige hinder, ernstige slaapverstoring en blootstelling rondom civiele en militaire luchthavens

In deze paragraaf geven we de respons op de vragen in de vragenlijst weer voor ernstige hinder en voor slaapverstoring door vliegtuiggeluid van vliegverkeer op civiele én militaire luchthavens. Tot slot geven we per luchthaven voor drie geluidindicatoren de blootstellingsverdeling aan vliegverkeergeluid weer:  $L_{den}$ ,  $L_{night}$  en  $K_e$ .

Tabel 14 geeft de ernstige hinder voor de civiel/militaire luchthavens weer.

*Tabel 14 Overzicht aantal deelnemers en percentage response, aantal ernstige gehinderden per luchthaven voor civiele en militaire luchtvaart.*

<b>Luchthaven</b>	<b>Aantal respons</b>	<b>% respons</b>	<b>Aantal ernstige hinder</b>
Maastricht*	16.983	50,30	1.600
Geilenkirchen*	14.451	50,46	1.468
Kooy	1.463	92,36	60
Eindhoven	24.672	80,63	2.057

Luchthaven: benaming luchthaven, Aantal respons: aantal deelnemers dat vliegtuiggeluidvraag hinder heeft ingevuld, procent respons: respons op de hindervraag in procenten, Aantal ernstige hinder: aantal deelnemers met een score op de hindervraag van 8 – 10. \*: alleen Gezondheidsmonitor Volwassenen.

Tabel 15 geeft de ernstige slaapverstoring per luchthaven weer.

*Tabel 15 Overzicht aantal deelnemers en percentage response, aantal ernstige slaapverstoorden en aantal ernstig slaapverstoorden per luchthaven voor civiele en militaire luchtvaart.*

<b>Luchthaven</b>	<b>Aantal respons</b>	<b>% respons</b>	<b>Aantal ernstige slaapverstoring</b>
Maastricht*	16.976	50,28	674
Geilenkirchen*	14.440	50,42	616
Kooy	1.459	92,11	23
Eindhoven	24.566	80,29	872

Luchthaven: benaming luchthaven, Aantal respons: aantal deelnemers dat vliegtuiggeluidvraag slaapverstoring heeft ingevuld, procent respons: respons op de slaapverstoringvraag in procenten, Aantal ernstige slaapverstoring: aantal deelnemers met een score op de slaapverstoringvraag van 8 – 10. \*: alleen Gezondheidsmonitor Volwassenen.

De blootstelling aan vliegtuiggeluid van de betreffende luchthavens staat in Tabel 16. De verdeling is weergegeven per luchthaven voor  $L_{den}$ ,  $L_{night}$  en  $K_e$ . Voor de verdeling zijn percentielen (px) gebruikt. Dit geeft aan welke deel (percentage) van de deelnemers een geluidwaarde heeft die kleiner of gelijk is aan de waarde die bij het betreffende percentiel hoort. Rond Maastricht heeft 50 procent van de deelnemers een geluidblootstelling door vliegtuiggeluid van  $L_{den}$  37 dB of minder (en 50 procent een  $L_{den}$  van meer dan 37 dB). 50 procent heeft een geluidblootstelling  $L_{night}$  van 17 dB of minder (en 50 procent:  $L_{night}$  17 dB of meer). In het Nederlandse deel rond vliegbasis Geilenkirchen heeft 50 procent of minder een geluidblootstelling van  $<1 K_e$  respectievelijk 38  $L_{den}$ .

Tabel 16 Blootstellingsverdeling voor drie geluidindicatoren ( $L_{den}$ ,  $L_{night}$  en  $Ke$ ) in percentielen voor de luchthavens Maastricht, Geilenkirchen, De Kooy en Eindhoven.

Gebied	Type	N	p1	p5	p25	p50	p75	p95	p99
Maastricht	$L_{den}$	16.983	24	25	33	37	40	48	54
Maastricht	$L_{night}$	16.976	4	7	12	17	21	32	38
Geilenkirchen	$Ke$	14.451	<1	<1	<1	<1	<1	15	25
Geilenkirchen	$L_{den}$	14.451	25	26	33	38	40	49	55
De Kooy	$Ke$	1.463	<1	<1	<1	<1	<1	8	16
De Kooy	$L_{den}$	1.463	30	30	33	38	40	43	48
De Kooy	$L_{night}$	1.459	17	17	19	24	26	29	32
Eindhoven	$L_{den}$	24.672	24	25	29	33	38	45	48
Eindhoven	$L_{night}$	24.566	<1	<1	<1	9	12	19	24
Eindhoven	$Ke$	24.672	<1	<1	<1	<1	<1	11	16

Gebied: onderzoeksgebied/luchthaven, N: aantal deelnemers dat vliegtuiggeluidvraag heeft ingevuld, p1 tot en met p99: 1<sup>e</sup> percentiel et cetera. Toelichting op percentielwaarde: de waarde bij Maastricht bij bijvoorbeeld p5 van 25  $L_{den}$  geeft aan dat 5 procent van de deelnemers een geluidblootstelling heeft die kleiner of gelijk is aan 25 dB, 95 procent heeft een hogere geluidblootstelling.

### 3.3.2 Relatie blootstelling vliegtuiggeluid en effect per luchthaven

#### Maastricht – Geilenkirchen

Maastricht Aachen Airport (EHBK) heeft één start- en landingsbaan die in noordoost-zuidwest-richting ligt (03-21). Het aantal vliegbewegingen<sup>61</sup> in 2020 was 11.664 tegen 14.080 vliegbewegingen in 2019. Op Maastricht Aachen Airport vindt, net als op Schiphol, zowel vracht- als passagiersvervoer plaats. NAVO-Vliegbasis Geilenkirchen (D) (E-3A component, ETNG) heeft één start- en landingsbaan in oost-west richting. In 2020 rapporteerde de Commissie AWACS Limburg (CAL) 1.563 vliegbewegingen<sup>62</sup>. In 2019 waren dit er 2.066. De meeste bewegingen worden uitgevoerd met 'AWACS' (Airborne Warning and Control System, 'Boeing E3-Sentry', aangepaste Boeings 707).

In Tabel 17 staan de blootstellingsgegevens en ernstige hinder gegevens voor Maastricht-Geilenkirchen.

<sup>61</sup> CRO Luchthaven Maastricht: [https://www.kicl.nl/files/2516/0755/5467/MAA\\_2020\\_1eKW.pdf\\_tot\\_en\\_met\\_4eKW.pdf](https://www.kicl.nl/files/2516/0755/5467/MAA_2020_1eKW.pdf_tot_en_met_4eKW.pdf). Geraadpleegd 03-01-2022.

<sup>62</sup> CAL: <https://www.kicl.nl/luchthavens/rapporten/awacs/>. Geraadpleegd 03-01-2022.

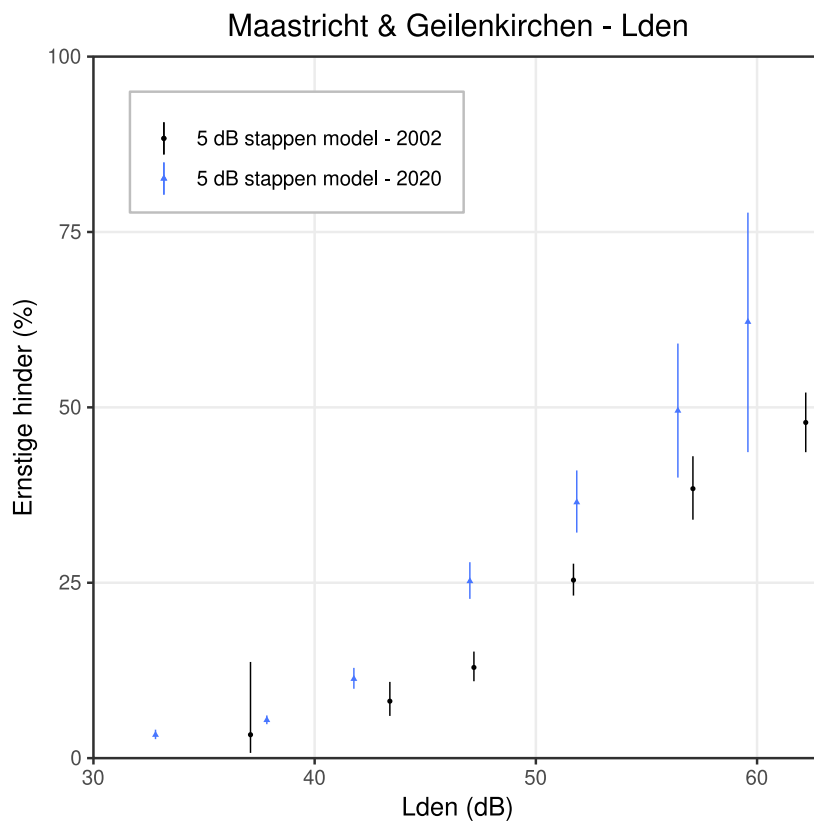


Tabel 17 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{den}$  van Maastricht-Geilenkirchen, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{den}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schattingprocent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval)

G-cat	Gem. $L_{den}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
< 30 dB	26,4	2.790	16,4	126	3,5 (2,9-4,2)
30-35 dB	32,8	3.280	19,3	118	3,3 (2,7-4,1)
35-40 dB	37,8	6.268	36,9	380	5,4 (4,8-6,1)
40-45 dB	41,8	2.564	15,1	314	11,3 (9,9-12,9)
45-50 dB	47,0	1.427	8,4	392	25,2 (22,7-27,9)
50-55 dB	51,8	505	3,0	189	36,5 (32,1-41)
55-58 dB	56,4	116	0,7	59	49,5 (40,0-59,1)
>58 dB	59,6	33	0,2	22	62,2 (43,6-77,8)
<b>Totaal</b>		16.983	100	1.600	

Uit Tabel 17 valt op te maken dat vanaf de categorie 55-58 dB het aantal ernstig gehinderden relatief klein is en de onzekerheid van de hinderschatting toeneemt.

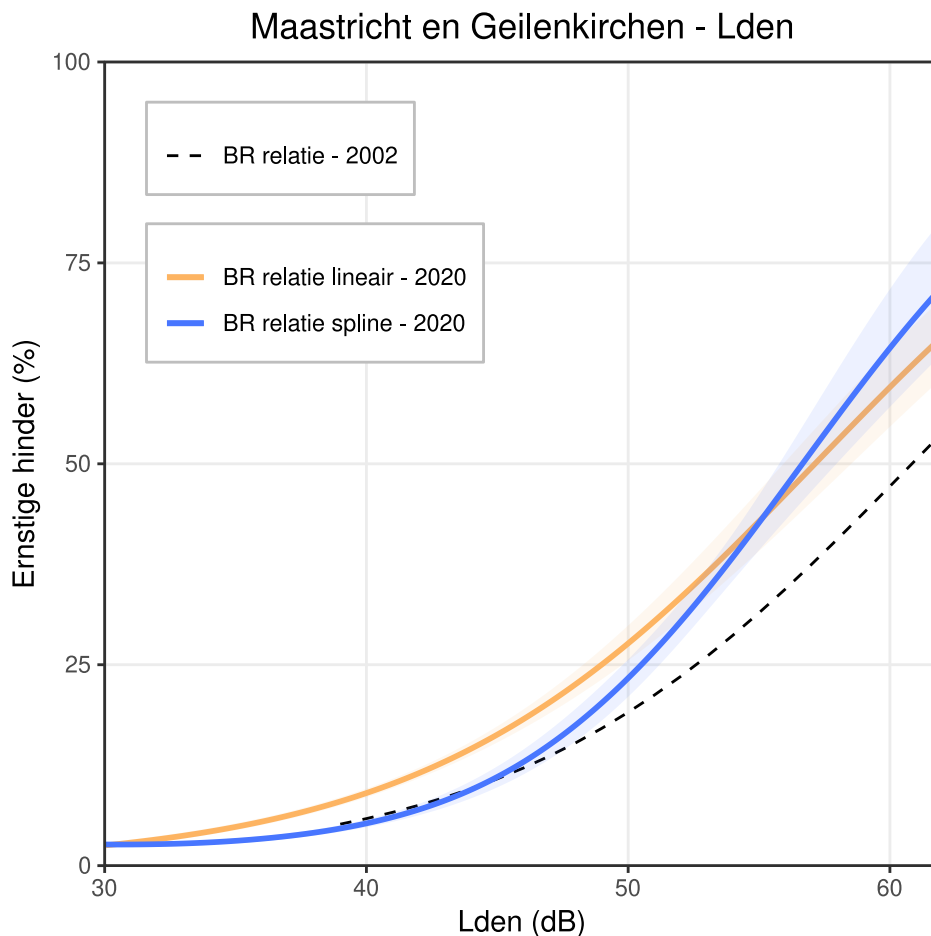
Figuur 20 geeft de stapsgewijze modellen voor Maastricht/Geilenkirchen 2020 en 2002 (Schiphol/GES) weer.



Figuur 20 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder Maastricht/Geilenkirchen 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

Over de hele blootstellingsrange liggen de gemiddelde, gemeten, waarden voor ernstige hinder voor Maastricht/Geilenkirchen boven de waarden voor 2002. Dit betekent dat de gemeten ernstige hinder in 2020 voor Maastricht/Geilenkirchen bij gelijke blootstelling hoger is dan in 2002 voor Schiphol/GES.

Figuur 21 geeft de lineaire en 'spline' model voor Maastricht-Geilenkirchen weer.



*Figuur 21 BR-relatie volgens lineair en 'spline'-model (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Maastricht-Geilenkirchen 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn).*

Het lineaire model, afgeleid voor het gebied rondom Maastricht Aachen Airport-Geilenkirchen, ligt over de hele blootstellingsrange boven de 2002 (Schiphol/GES) curve. Het 'spline'-model volgt de 2002 curve tot ongeveer 45 dB. Daarna loopt de 'spline'-curve steiler omhoog (ligt hoger dan de 2002 curve). De lineaire curve ligt tot ongeveer 55 dB boven de 'spline'-curve. Daarboven ligt de 'spline'-curve hoger dan de lineaire curve.

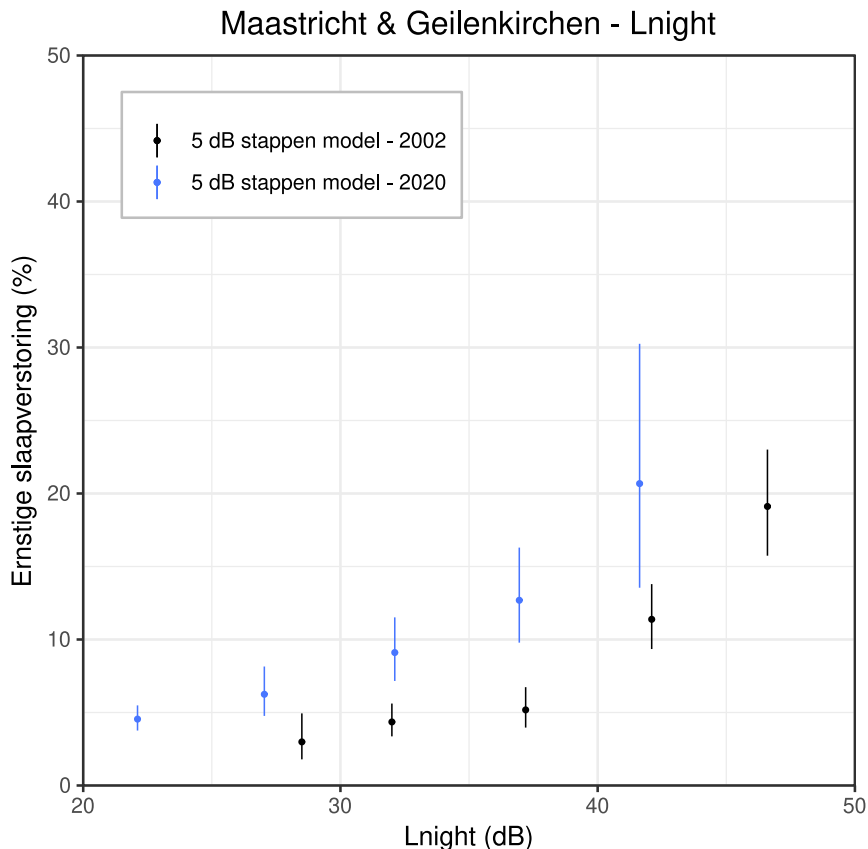
Tabel 18 geeft de blootstellingsgegevens en ernstige slaapverstoring gegevens voor Maastricht-Geilenkirchen weer.

Tabel 18 Blootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{\text{night}}$  van Maastricht-Geilenkirchen, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{\text{night}}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig slaapverstoorden ES en percentage ES berekend en schatting procent ernstige slaapverstoring (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

G-cat	Gem. $L_{\text{night}}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal ES	Schatting % ES (95% BI)
< 20 dB	13,5	11.410	67,2	255	1,9 (1,7-2,2)
20-25 dB	22,1	2.975	17,5	155	4,5 (3,8-5,5)
25-30 dB	27,0	1.263	7,4	88	6,2 (4,8-8,1)
30-35 dB	32,1	824	4,9	96	9,1 (7,2-11,5)
35-40 dB	37,0	407	2,4	58	12,7 (9,8-16,3)
>40 dB	41,6	97	0,6	22	20,7 (13,5-30,3)
<b>Totaal</b>		16.976	100	674	

Het aantal ernstig gehinderden in de hoogste categorieën is klein. Vanaf ongeveer 40 dB neemt de onzekerheid in de schattingen toe.

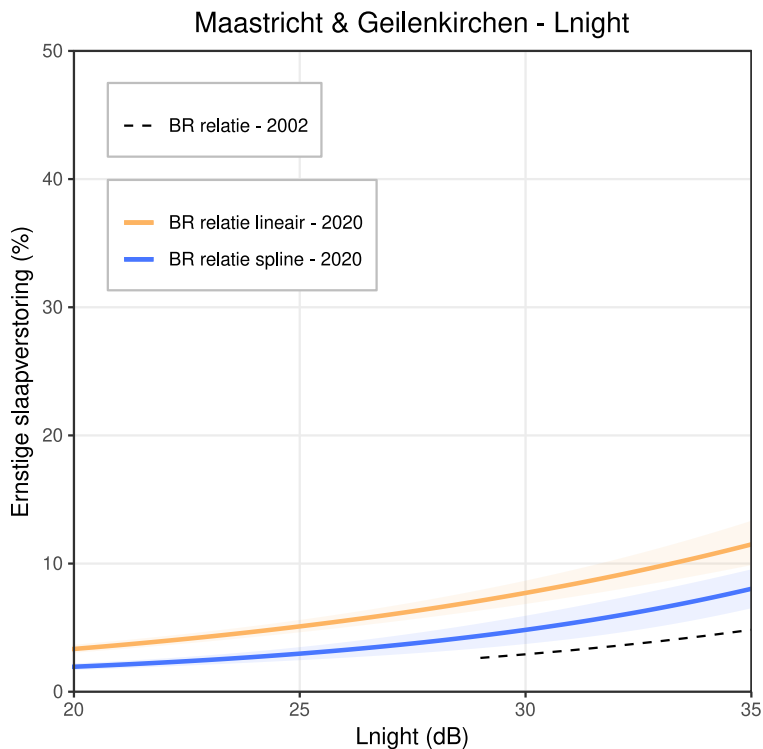
Figuur 22 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige slaapverstoring Maastricht/Geilenkirchen 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES) weer.



Figuur 22 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige slaapverstoring Maastricht/Geilenkirchen 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

Ook voor slaapverstoring liggen de gemeten waarden voor ernstige slaapverstoring over de hele blootstellingsrange boven de curve uit 2002 (Schiphol/GES). Dat wil zeggen dat bij gelijke blootstelling meer slaapverstoring werd gemeten in Maastricht-Geilenkirchen 2020 dan in Schiphol 2002.

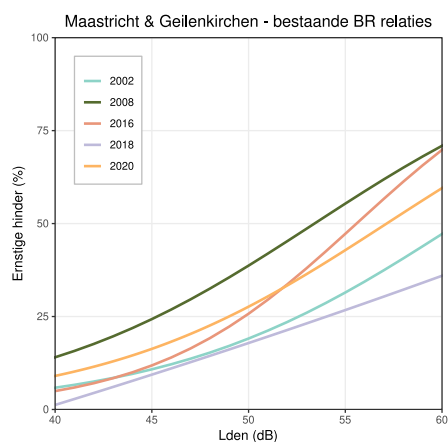
Figuur 23 geeft de lineaire en 'spline' model voor Maastricht-Geilenkirchen voor ernstige slaapverstoring weer.



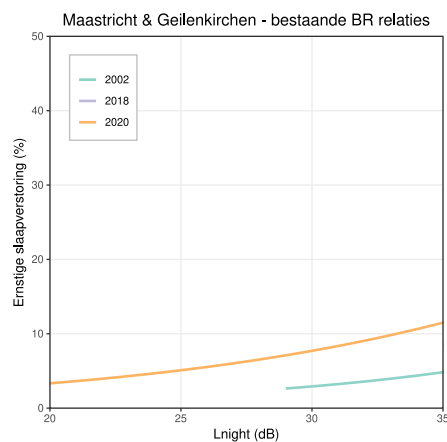
Figuur 23 BR-relatie volgens lineaire en 'spline'-model (+BI) voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Maastricht-Geilenkirchen 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn).

Beide modellen (lineair en 'spline') liggen boven de 2002-curve voor ernstige slaapverstoring. De lineaire curve ligt boven de 'spline'-curve.

In Figuur 24 en Figuur 25 zijn de lineaire curves voor ernstige hinder respectievelijk ernstige slaapverstoring vergeleken met historische curves voor Maastricht-Geilenkirchen.



*Figuur 24 Vergelijking met bestaande Blootstellingresponsrelatie  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Maastricht-Geilenkirchen. Legenda: 2002: Schiphol/GES BR-relatie uit 2002, 2008: BR-relatie op basis van belevingsonderzoek Geilenkirchen, 2016: Maastricht/Geilenkirchen BR-relatie op basis van GM 2016, 2018: BR-relatie op basis van WHO noise guideline en 2020: BR-relatie Maastricht-Geilenkirchen op basis van GM 2020.*



*Figuur 25 Vergelijking met bestaande Blootstellingresponsrelatie  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Maastricht-Geilenkirchen. Legenda: 2002: Schiphol/GES BR-relatie uit 2002, 2018: BR-relatie op basis van WHO noise guideline en 2020: BR-relatie Maastricht-Geilenkirchen op basis van GM 2020.*

Voor Maastricht-Geilenkirchen zijn historische gegevens over de relatie tussen geluidblootstelling en hinder beschikbaar op basis van de Gezondheidsmonitor 2016 (zie Figuur 24). De curve voor Maastricht-Geilenkirchen uit 2020 voor ernstige hinder ligt hoger dan de curve uit 2002 voor Schiphol (Figuur 24). De curve voor 2016 ligt voor lagere geluidblootstelling (<52 dB) onder de curve voor 2020. Voor hogere geluidblootstelling (> 52 dB) ligt de curve voor 2016 boven de curve voor 2020. In 2020 zijn er dus meer ernstig gehinderden bij lagere geluidblootstelling dan in 2016 en minder ernstig gehinderden bij een hogere blootstelling.

De curve voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring 2020 (Figuur 25) ligt hoger dan de curves voor 2002 (Schiphol) en 2018 (WHO). Beide historische curves lopen wel verder door dan de GM2020-curve (hogere geluidblootstellingswaarden).

Voor Geilenkirchen zijn eveneens historische gegevens over de relatie tussen geluidblootstelling en ernstige hinder beschikbaar. De curve uit 2008 ligt voor een groot deel boven alle andere BR-relaties. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de geluidblootstelling door vliegverkeer anders was, omdat in 2008 meer vliegbewegingen op Geilenkirchen werden gemaakt. Een mogelijke andere verklaring is dat de studie uit 2008 nadrukkelijk is uitgevoerd met het doel woonbeleving en hinder van vliegverkeer van Geilenkirchen in kaart te brengen. De

Gezondheidsmonitor-onderzoeken worden gepresenteerd als een onderzoek naar ervaren gezondheid in het algemeen.

### Maritiem Vliegveld De Kooy

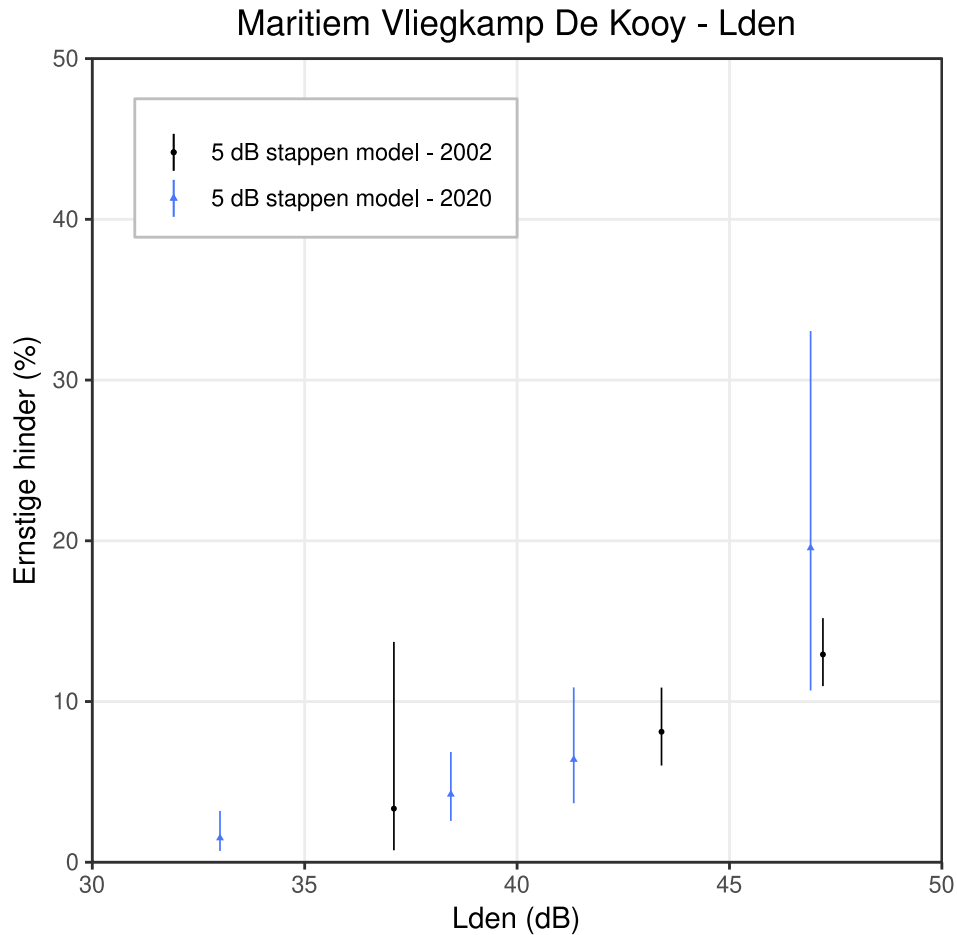
Maritiem Vliegveld De Kooy (EHDK) heeft één start- en landingsbaan. In 2020 vonden in totaal 22.552 vliegbewegingen plaats (7.559 militair, meest NH-90 (ong. 5.500) en 14.993 civiel, meest AW-139 (ongeveer 9.700). In 2019 vonden in totaal 24.976 vliegbewegingen plaats.

Tabel 19 geeft de blootstellingsverdeling en hinder voor de Kooy weer.

*Tabel 19 Geluidsblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{den}$  van de Kooy, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{den}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).*

<b>G-cat</b>	<b>Gem. <math>L_{den}</math> G-cat</b>	<b>Aantal</b>	<b>% Aantal</b>	<b>Aantal EH</b>	<b>Schatting % EH (95% BI)</b>
<b>&lt; 37.5 dB</b>	33,0	710	48,5	12	1,5 (0,7-3,2)
<b>37.5-40 dB</b>	38,4	408	27,9	21	4,2 (2,6-6,9)
<b>40-44 dB</b>	41,3	288	19,7	16	6,4 (3,7-10,9)
<b>&gt;44 dB</b>	46,9	57	3,9	11	19,6 (10,7-33,0)
<b>Totaal</b>		1.463	100	60	

Figuur 26 Geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor De Kooy 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES) weer.



Figuur 26 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor De Kooy 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

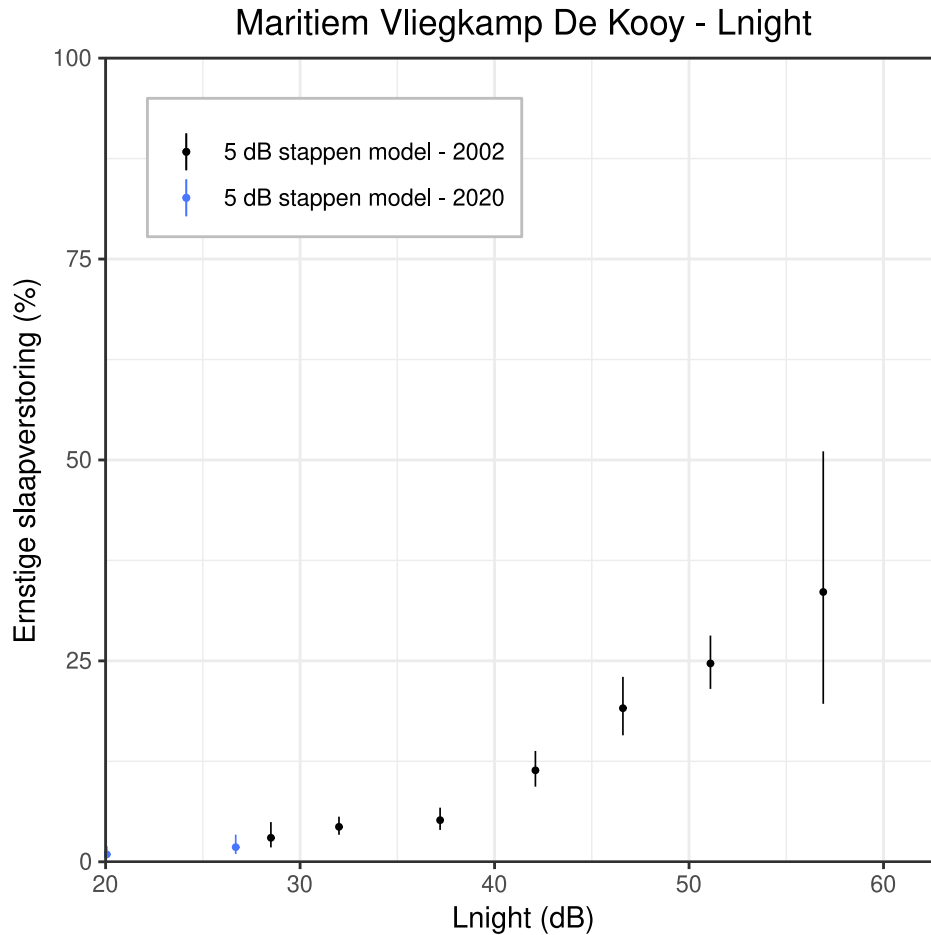
Het aantal deelnemers is laag, waardoor de schatting grotere betrouwbaarheidsintervallen hebben, en de blootstellingsrange is klein. Daarom leiden we voor De Kooy geen BR-relatie af.

Tabel 20 geeft de blootstellingsverdeling voor nachtelijk geluid  $L_{night}$  en slaapverstoring weer.

Tabel 20 Geluidblootstellingscategorïen (G-cat) per 5 dB voor  $L_{night}$  van de Kooy, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{night}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig slaapverstoorden ES en schatting procent ernstige slaapverstoring (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval)

G-cat	Gem. $L_{night}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal ES	Schatting % ES (95% BI)
< 25 dB	20,1	881	60,4	10	0,9 (0,4-1,9)
>25 dB	26,7	578	39,6	13	1,8 (1-3,4)
<b>Totaal</b>		1.459	100	23	

Figuur 27 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige slaapverstoring voor De Kooy 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES) weer.



Figuur 27 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige slaapverstoring voor De Kooy 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

Voor de Kooy zijn slechts twee blootstellingcategorïën te definiëren. Hierdoor stellen we voor slaapverstoring voor De Kooy geen BR-relatie op.

Tabel 21 geeft de blootstellingsverdeling, in categorieën Ke, en ernstige hinder weer.

Tabel 21 Blootstellingscategorïën (G-cat) per 5 Ke voor B van de Kooy, gemiddeld geluidniveau per categorie (Ke G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en percentage EH berekend en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

G-cat	Gem. Ke G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
< 5 Ke	<1	1.307	89,3	38	2,2 (1,4-3,4)
5-10 Ke	6,8	102	7,0	11	10,7 (5,5-19,8)
>10 Ke	15,1	54	3,7	11	20,4 (11,1-34,3)
<b>Totaal</b>		1.463	100	60	



Voor ernstige hinder en de blootstelling berekend met Ke gaat een soortgelijke redenering op als voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige slaapverstoring rond De Kooy. Voor Ke is er zelfs slechts één blootstellingscategorie boven de 10 Ke en het aantal deelnemers is laag. Hierdoor stellen we voor de relatie ernstige hinder en Ke voor De Kooy geen BR-relatie op.

### Eindhoven Airport

Militaire luchthaven Eindhoven<sup>63</sup> (EHEH) heeft één start-/landingsbaan in noordoost-zuidwest (03-21) -richting. Vliegbasis Eindhoven is een militair luchthaven met burgermedegebruik. In 2020 werden 5.475 vliegbewegingen van militaire toestellen geregistreerd. Het grootste deel van de vliegbewegingen betrof Hercules (C130) vliegtuigen (34 procent). Het aantal civiele vliegbewegingen in 2020 betrof 18.822, de meeste in noordoost-zuidwest-richting. Dit zijn 22.616 vliegbewegingen minder dan in 2019. De meeste vliegbewegingen werden gemaakt met Boeings (737/738) en met Airbusen (A320/A321).

Tabel 22 geeft de blootstellingsverdeling en ernstige hinder voor Eindhoven weer. Als blootstelling zijn de gecombineerde (opgetelde) gegevens voor burger- en militair vliegverkeer gebruikt.

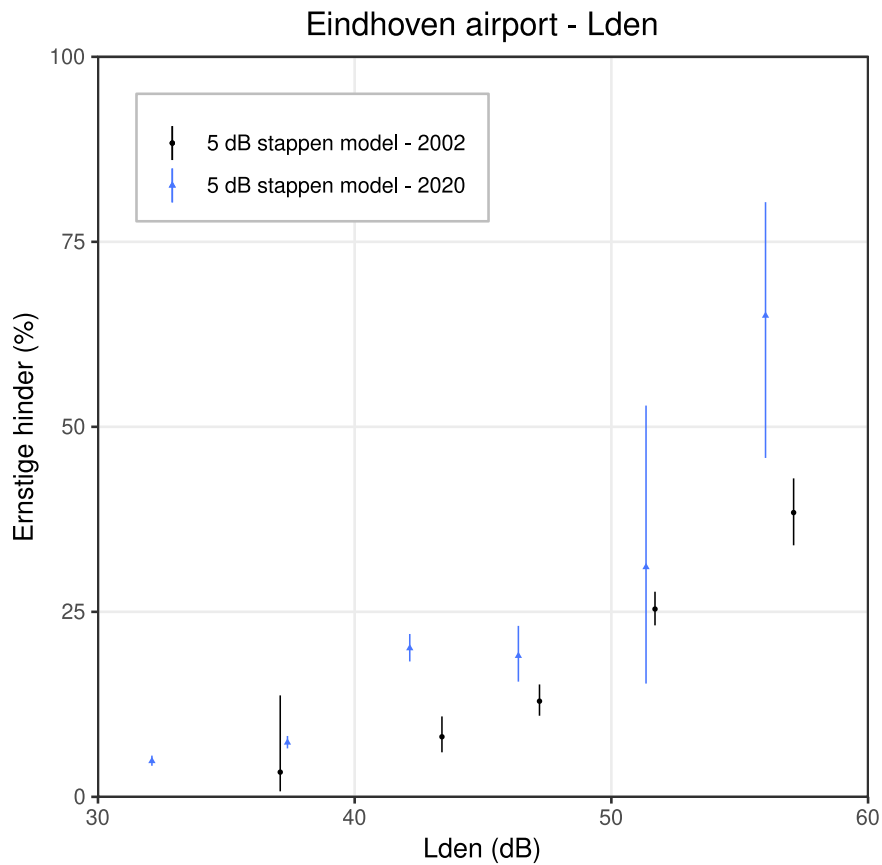
*Tabel 22 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{\text{den}}$  van Eindhoven, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{\text{den}}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).*

G-cat	Gem. $L_{\text{den}}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
< 30 dB	27,1	7.338	29,7	222	3,0 (2,5-3,6)
30-35 dB	32,1	7.818	31,7	388	4,8 (4,2-5,6)
35-40 dB	37,4	5.806	23,5	536	7,3 (6,5-8,2)
40-45 dB	42,1	2.891	11,7	668	20,1 (18,3-22,0)
45-50 dB	46,4	750	3	209	19,1 (15,6-23,1)
50-54 dB	51,4	35	0,1	10	31 (15,3-52,9)
> 54 dB	56,0	34	0,1	24	65 (45,8-80,4)
<b>Totaal</b>		24.672	100	2.057	

Bij waarden boven ongeveer 50 dB neemt de onzekerheid van de hinderschatting sterk toe.

Figuur 28 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{\text{den}}$  en ernstige hinder voor Eindhoven 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES) weer.

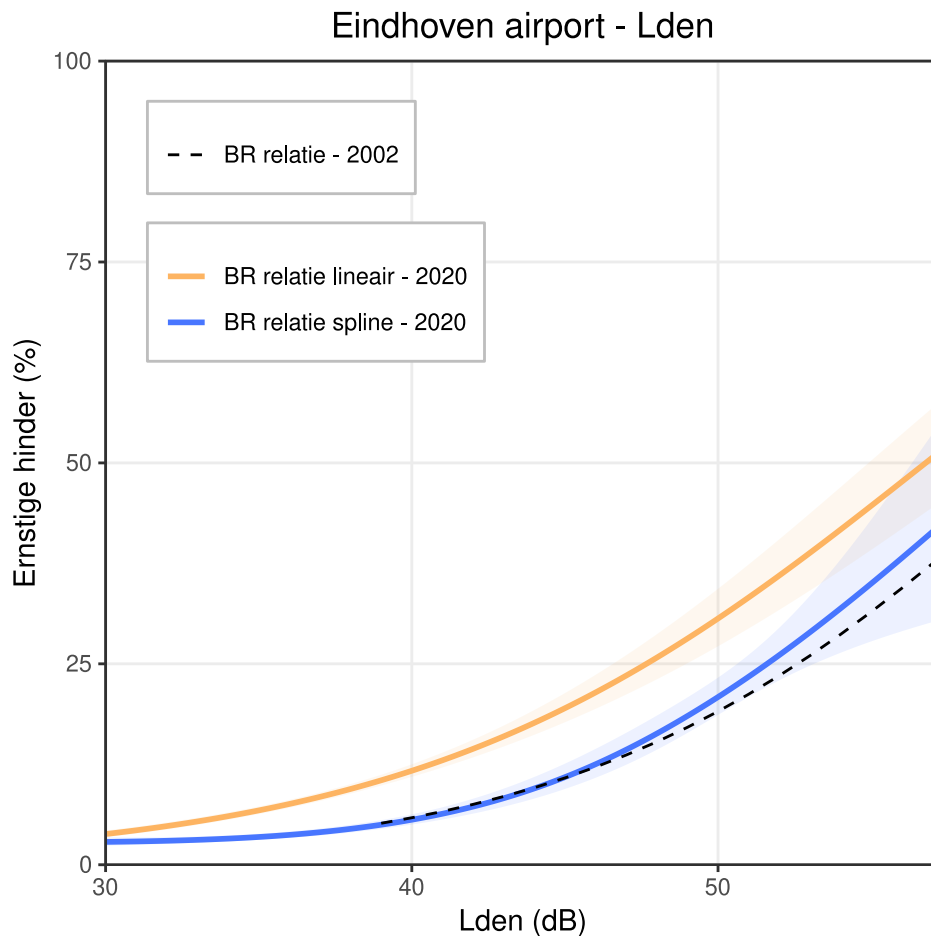
<sup>63</sup> Hoekerswever, B. (2021). De geluidbelasting rondom de militaire luchthaven Eindhoven voor het jaar 2020 NLR-CR-2021-011.



*Figuur 28 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Eindhoven 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).*

Over de gehele blootstellingsrange is de gemiddelde gemeten ernstige hinder voor Eindhoven 2020 bij dezelfde geluidblootstelling hoger dan voor 2002 (Schiphol/GES).

Figuur 29 geeft de lineaire en 'spline' model voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Eindhoven weer.



Figuur 29 BR-relatie volgens lineair en 'spline' model (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Eindhoven 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn).

De lineaire curve (2020) ligt in zijn geheel boven de 2002-curve. De 'spline'-curve valt voor een groot deel samen met de 2002-curve en valt dus onder de lineaire curve.

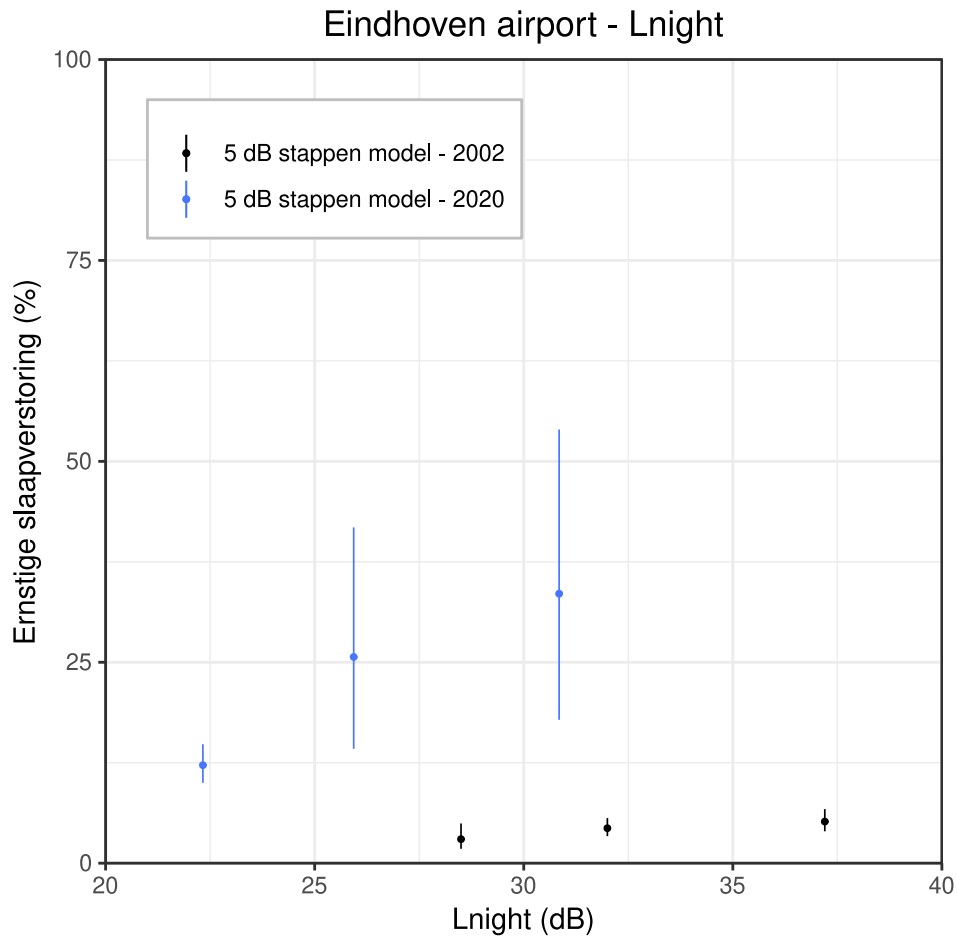
Tabel 23 geeft de blootstellingsverdeling voor nachtelijk geluid  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring weer

Tabel 23 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{night}$  van Eindhoven gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{night}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig slaapverstoorden ES en schatting procent ernstige slaapverstoring (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval)

G-cat	$L_{night}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal ES	Schatting % ES (95% BI)
< 20 dB	1,9	23.575	96	717	2,2 (2-2,5)
20-25 dB	22,3	919	3,7	131	12,2 (10-14,8)
25-27.5 dB	25,9	46	0,2	11	25,7 (14,2-41,8)
>27.5 dB	30,8	26	0,1	13	33,5 (17,8-54)
<b>Totaal</b>		24.566	100	872	

Uit Tabel 23 valt te ontnemen dat vanaf 25 dB de onzekerheid in de schattingen toeneemt.

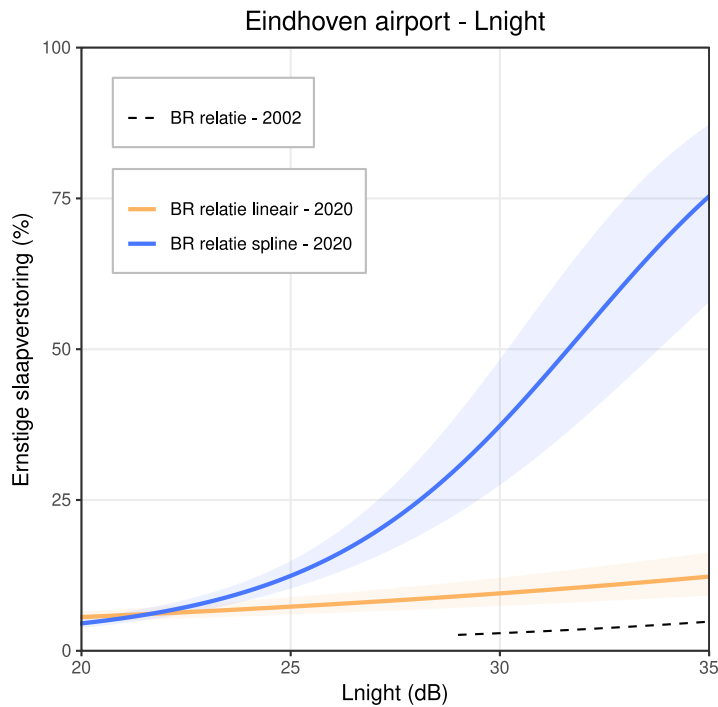
Figuur 30 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige slaapverstoring Eindhoven 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES) weer.



*Figuur 30 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige slaapverstoring Eindhoven 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).*

De gemeten ernstige slaapverstoring is voor Eindhoven 2020 bij dezelfde geluidblootstelling hoger dan voor 2002 (Schiphol/GES), tenminste voor het deel waar ze overlap laten zien.

Figuur 31 geeft het lineaire model en het stapsgewijze model voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige slaapverstoring voor Eindhoven weer.



Figuur 31 BR-relatie lineair en 'spline'-model (+ BI)  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring, Eindhoven 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

Beide 2020 modellen (lineair en spline) liggen boven de 2002-curve. De 'spline'-curve ligt veel hoger dan de lineaire curve. Deze sterke afwijking is te verklaren door de wijze waarop data worden gemodelleerd. In de 'spline'-analyse is dit in delen (3). In de lineaire analyse is dit als één geheel, waarbij in dit geval het grote aandeel respondenten met een relatief lage geluidblootstelling heel sterk het curveverloop bepaalt

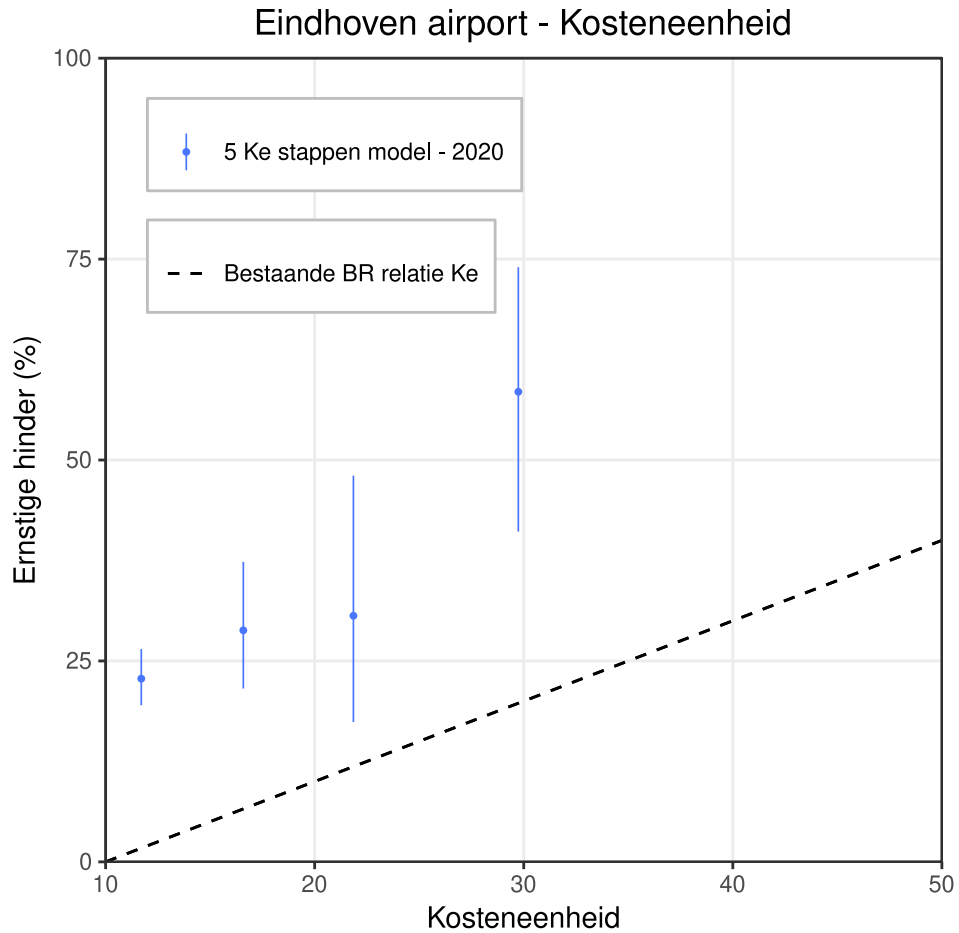
Tabel 24 geeft de blootstellingsverdeling, in categorieën Ke, en ernstige hinder van Eindhoven weer.

Tabel 24 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 Ke voor B van Eindhoven, gemiddeld geluidniveau per categorie (Ke G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval)

G-cat	Gem. Ke G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
< 5 Ke	<1	21.556	87,4	1.192	4,6 (4,3-5,0)
5-10 Ke	7,9	1.732	7	406	19,1 (16,5-22,1)
10-15 Ke	11,7	1.111	4,5	343	22,8 (19,5-26,5)
15-20 Ke	16,6	196	0,8	75	28,8 (21,6-37,3)
20-25 Ke	21,9	37	0,1	16	30,6 (17,4-48,1)
>25 Ke	29,7	40	0,2	25	58,5 (41,1-74)
<b>Totaal</b>		24.672	100	2.057	

Boven de 20-25 Ke neemt de onzekerheid in de schattingen toe.

Figuur 32 geeft het stapsgewijze model en de bestaande BR-relatie voor Ke weer (percentage ernstige hinder =  $Ke-10$ )<sup>64</sup>.

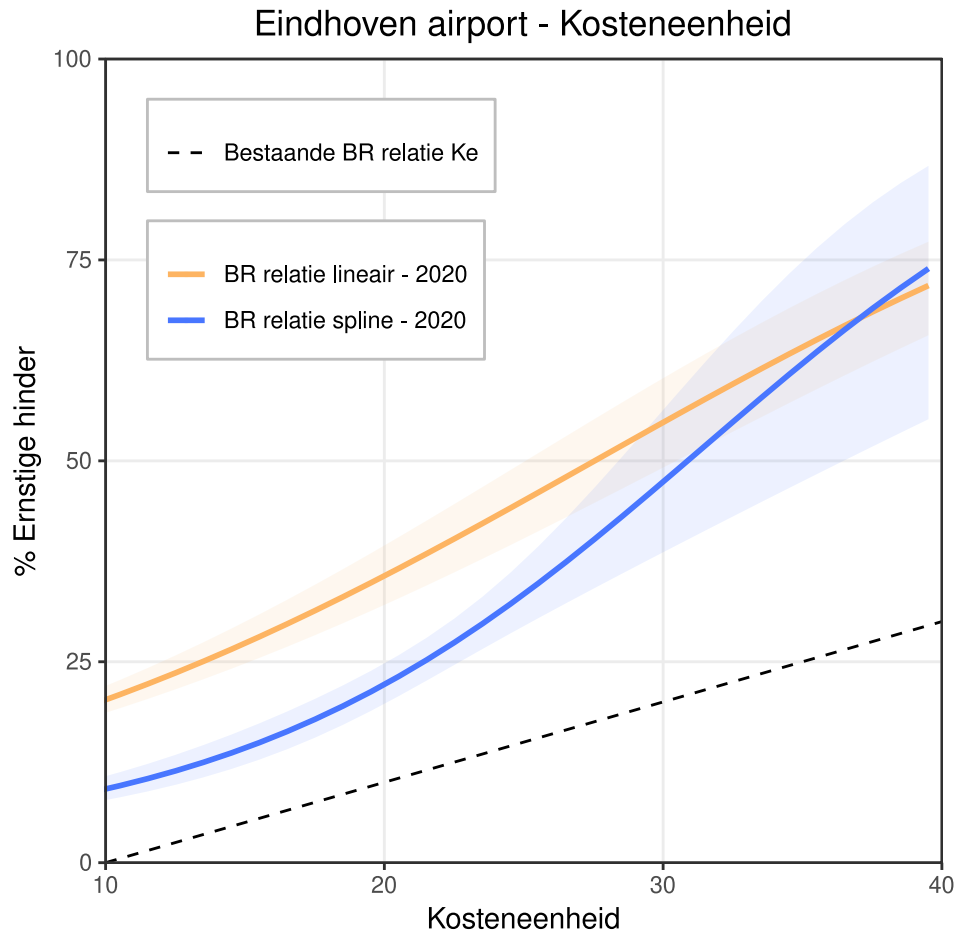


Figuur 32 Stapsgewijze model (+BI) voor Ke en ernstige hinder voor Eindhoven 2020 (GM) en bestaande BR-relatie voor Ke (procent ernstige hinder =  $Ke-10$ ).

Het stapsgewijze model ligt over de hele range van blootstellingen boven de standaardcurve voor B, percentage ernstig gehinderden =  $Ke-10$ ).

Figuur 33 geeft de BR-relatie volgens het lineaire en 'spline'-model (+BI) voor B (in Ke) en percentage ernstige hinder voor Eindhoven weer.

<sup>64</sup> Van Deventer, FWJ. (2003) Basiskennis geluidzonering luchtvaart. Capelle aan den IJssel.



*Figuur 33 BR-relatie lineair en 'spline'-model (+BI) voor B (in Ke) en percentage ernstige hinder voor Eindhoven 2020 (GM) en standaardcurve voor Ke (procent ernstige hinder =  $Ke - 10$ ).*

Het lineaire en 'spline'-model liggen boven de standaard Ke-curve. De 'spline'-curve ligt voor een groot deel onder de lineaire curve. Vanaf ongeveer 30 Ke komt de 'spline'-curve dichterbij de lineaire curve. Bij ongeveer 37 dB ligt de 'spline'-curve boven de lineaire curve.

Tussen 2014 en 2018 zijn verschillende belevingsonderzoeken uitgevoerd rondom (Vliegbasis) Eindhoven (Airport)<sup>65</sup>. Bij die gelegenheid is ook de relatie tussen geluidblootstelling van vliegverkeer en hinder onderzocht<sup>66</sup>.

In Figuur 34 en Figuur 35 zijn de 2020 curves voor ernstige hinder respectievelijk ernstige slaapverstoring uitgezet tegen bestaande curves.

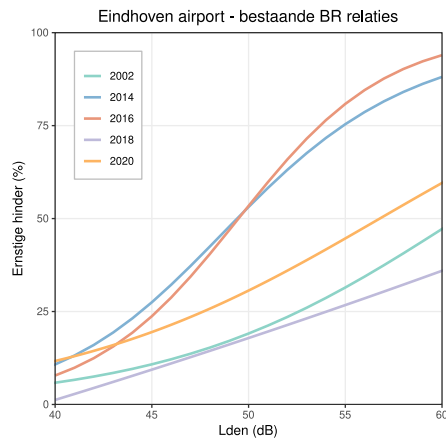
<sup>65</sup> Drs MC van Ballegooij-Gevers; Beleving leefomgeving rondom vliegveld Eindhoven, Bureau GMV GGD'en Brabant/Zeeland, november 2012

• Drs MC van Ballegooij-Gevers, Drs. AM van Gestel; Beleving leefomgeving rondom vliegveld Eindhoven, tweede meting 2014, Bureau GMV GGD'en Brabant/Zeeland, juni 2015

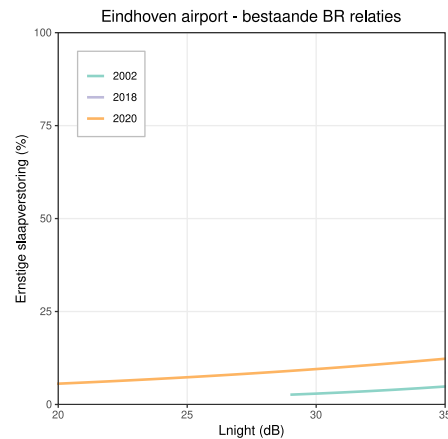
• Drs. AM van Gestel en Drs. MJM van Duijnhoven; Beleving leefomgeving rondom vliegveld Eindhoven derde meting 2016, GGD Brabant-Zuidoost, juli 2017

• Drs. AM van Gestel en Drs. MJM van Duijnhoven; Beleving leefomgeving rondom vliegveld Eindhoven vierde meting 2018, GGD Brabant-Zuidoost, mei 2019

<sup>66</sup> Breugelmans, O., et al. (2015). Relatie vliegverkeergeluid en geluidhinder rondom vliegveld Eindhoven: Blootstelling-respons relatie



*Figuur 34 Vergelijking met bestaande Blootstellingresponsrelatie  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Eindhoven. Legenda: 2002: Schiphol BR-relatie uit 2002; 2014: BR-relatie Eindhoven op basis van belevingsonderzoek Eindhoven; 2016: Schiphol BR-relatie op basis van GM 2016; 2018: BR-relatie op basis van WHO noise guideline en 2020: BR -relatie op basis van GM 2020*



*Figuur 35 Vergelijking met bestaande curves voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Eindhoven. Legenda: 2002: Schiphol curve uit 2002, 2018 curve op basis van WHO noise guideline en curve 2020, Eindhoven.*

Ten opzichte van de 'Schiphol'-curve (2002) en de 'WHO'-curve (2018) ligt de 2020-hindercurve hoger. De bestaande curves voor Eindhoven uit 2014 en 2016 vallen voor een deel samen met de 2020-curve (tot ongeveer 40 dB). Daarboven ligt de 2020 hindercurve ónder de Eindhoven 2014 en 2016 BR-relatie.

Ten opzichte van de 'Schiphol'- (2002) en de 'WHO'-curve (2018) lijkt de 2020-curve voor slaapverstoring voor Eindhoven hoger te liggen. De range van de Eindhoven-curve is echter kleiner. Deze stopt bij ongeveer 35 dB, de Schiphol- en WHO-curve lopen door tot ongeveer 55 dB, respectievelijk 60 dB.

### 3.4 Militaire luchthavens

De volgende vier luchthavens worden overwegend voor militair vliegverkeer gebruikt (helikopters, jachtvliegtuigen, tankvliegtuigen, cargovliegtuigen): Gilze-Rijen, Leeuwarden, Volkel en Woensdrecht. Van de Vliegbasis Deelen en De Peel kunnen geen betrouwbare relaties worden afgeleid, omdat er te weinig informatie beschikbaar is.

#### 3.4.1 Studiepopulatie, ernstige hinder, ernstige slaapverstoring en blootstelling rondom militaire luchthavens

In deze paragraaf geven we de respons op de vragen in de vragenlijst weer voor ernstige hinder en slaapverstoring door vliegtuiggeluid van vliegverkeer op militaire luchthavens. Tot slot geven we de blootstellingsverdeling aan vliegverkeergeluid weer per luchthaven voor drie geluidindicatoren:  $L_{den}$ ,  $L_{night}$  en Ke.

Tabel 25 geeft het percentage ernstige hinder per luchthaven weer.



Tabel 25 Overzicht aantal deelnemers en percentage respons, aantal ernstig gehinderden per luchthaven voor militaire luchtvaart.

Luchthaven	Aantal respons	% respons	Aantal ernstige hinder
Gilze-Rijen*	2.694	46,88	180
Leeuwarden	5.413	93,46	387
Volkel	8.136	93,81	727
Woensdrecht*	2.144	45,64	39

Luchthaven: benaming luchthaven, Aantal respons: aantal deelnemers dat vliegtuiggeluidhinder heeft ingevuld, procent respons: respons op de hindervraag in procenten, Aantal ernstige hinder: aantal deelnemers met een score op de hindervraag van 8 – 10. \*: alleen Gezondheidsmonitor Volwassenen.

Tabel 26 geeft het percentage ernstige slaapverstoring weer voor de militaire luchthavens.

Tabel 26 Overzicht aantal deelnemers en percentage response en aantal ernstige slaapverstoorden per luchthaven voor militaire luchtvaart.

Luchthaven	Aantal response	% respons	Aantal ernstige slaapverstoring
Gilze-Rijen*	2.696	46,91	82
Leeuwarden	5.381	92,90	80
Volkel	8.142	93,88	193
Woensdrecht*	2.143	45,62	17

Luchthaven: benaming luchthaven, Aantal respons: aantal deelnemers dat vliegtuiggeluidvraag slaapverstoring heeft ingevuld, procent respons: respons op de slaapverstoringsvraag in procenten, Aantal ernstige slaapverstoring: aantal deelnemers met een score op de slaapverstoringsvraag van 8 – 10. \*: alleen Gezondheidsmonitor

De blootstelling aan gemodelleerd vliegtuiggeluid van de militaire luchthavens is weergegeven in Tabel 27. De verdeling is weergegeven per luchthaven voor  $L_{den}$ ,  $L_{night}$  en  $Ke$ . Rond Gilze-Rijen heeft 50 procent van de deelnemers een geluidblootstelling als gevolg van vliegtuiggeluid van  $L_{den}$  34 dB of minder (50 procent:  $L_{den}$  34 dB of meer), 50 procent heeft een geluidblootstelling  $L_{night}$  van 12 dB (50 procent:  $L_{night}$  12 dB of meer) of minder en 50 procent heeft een geluidblootstelling van minder dan 1  $Ke$  (50 procent: meer dan 1  $Ke$ ).

Tabel 27 Blootstellingsverdeling voor drie geluidindicatoren ( $L_{den}$ ,  $L_{night}$  en  $Ke$ ).

Gebied	Type	N	p1	p5	p25	p50	p75	p95	p99	%
Gilze-Rijen	Ke	2.694	<1	<1	<1	<1	<1	15	24	92,2
Gilze-Rijen	$L_{den}$	2.694	20	22	31	34	38	45	51	19,0
Gilze-Rijen	$L_{night}$	2.696	<1	<1	2	12	19	26	31	78,9
Leeuwarden	Ke	5.413	<1	<1	<1	<1	<1	21	38	84,1
Leeuwarden	$L_{den}$	5.413	19	25	32	38	42	53	62	14,7
Leeuwarden	$L_{night}$	5.381	<1	<1	6	11	15	24	30	87,1
Volkel	Ke	8.136	<1	<1	<1	<1	5	27	33	80,8
Volkel	$L_{den}$	8.136	25	25	30	37	42	54	59	25,1
Volkel	$L_{night}$	7.870	1	12	16	18	20	26	37	74,5
Woensdrecht	Ke	2.144	<1	<1	<1	<1	<1	2	5	99,8
Woensdrecht	$L_{den}$	2.144	10	17	28	31	35	40	42	38,8

Gebied: onderzoeksgebied/luchthaven, N: aantal deelnemers dat vliegtuiggeluidvraag heeft ingevuld, p1 tot en met p99: 1e percentiel et cetera. Toelichting op percentielwaarde: de waarde bij Maastricht bij bijvoorbeeld p5 van 25  $L_{den}$  geeft aan dat 5 procent van de deelnemers een geluidblootstelling heeft die kleiner of gelijk is aan 25 dB, 95 procent heeft een hogere geluidblootstelling.

### 3.4.2

#### Relatie blootstelling vliegtuiggeluid en effect per militaire luchthaven

Ook voor de militaire luchthavens wordt naar de samenhang tussen vliegtuiggeluid op basis van verschillende geluidindicatoren ( $L_{den}$ ,  $L_{night}$  en  $Ke$ ) en twee effecten (ernstige hinder en ernstige slaapverstoring) gekeken. De resultaten worden per luchthaven weergegeven.

#### Gilze-Rijen

Vliegbasis Gilze-Rijen<sup>67</sup> (EHGR) heeft twee start-/landingsbanen: een in oostwest (10-28)-richting en een in noordoost-zuidwest (02-20)-richting. Daarnaast heeft Gilze-Rijen een heli-square voor het opstijgen en landen van helikopters. In 2020 werden er 32.013 vliegbewegingen gemaakt, 2.151 meer dan in 2019. De meeste bewegingen werden met helikopters gemaakt (96 procent, Chinook, Apache, Cougar/NH90).

Tabel 28 geeft de blootstellingsverdeling en ernstige hinder voor Gilze-Rijen weer.

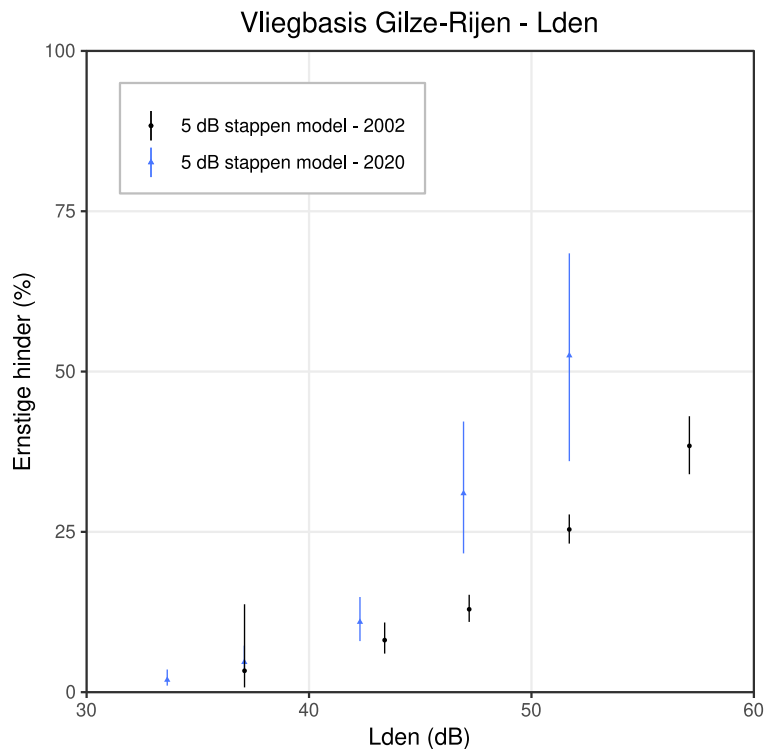
<sup>67</sup> De Jong, R. (2021). De geluidbelasting rondom de vliegbasis Gilze-Rijen voor het jaar 2020. NLR-CR-2021-012.

Tabel 28 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{den}$  van Gilze-Rijen, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{den}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

G-cat	Gem. $L_{den}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
< 32,5 dB	27,1	919	34,1	14	1,2 (0,6-2,3)
32,5-35 dB	33,6	676	25,1	15	1,9 (1-3,5)
35-40 dB	37,1	520	19,3	26	4,7 (3-7,3)
40-45 dB	42,3	395	14,7	46	10,9 (8-14,8)
45-50 dB	46,9	103	3,8	35	31 (21,6-42,2)
>50 dB	51,7	81	3,0	44	52,5 (36-68,4)
<b>Totaal</b>		2.694	100	180	

Bij waarden boven ongeveer 45 dB neemt de onzekerheid in de schattingentoe.

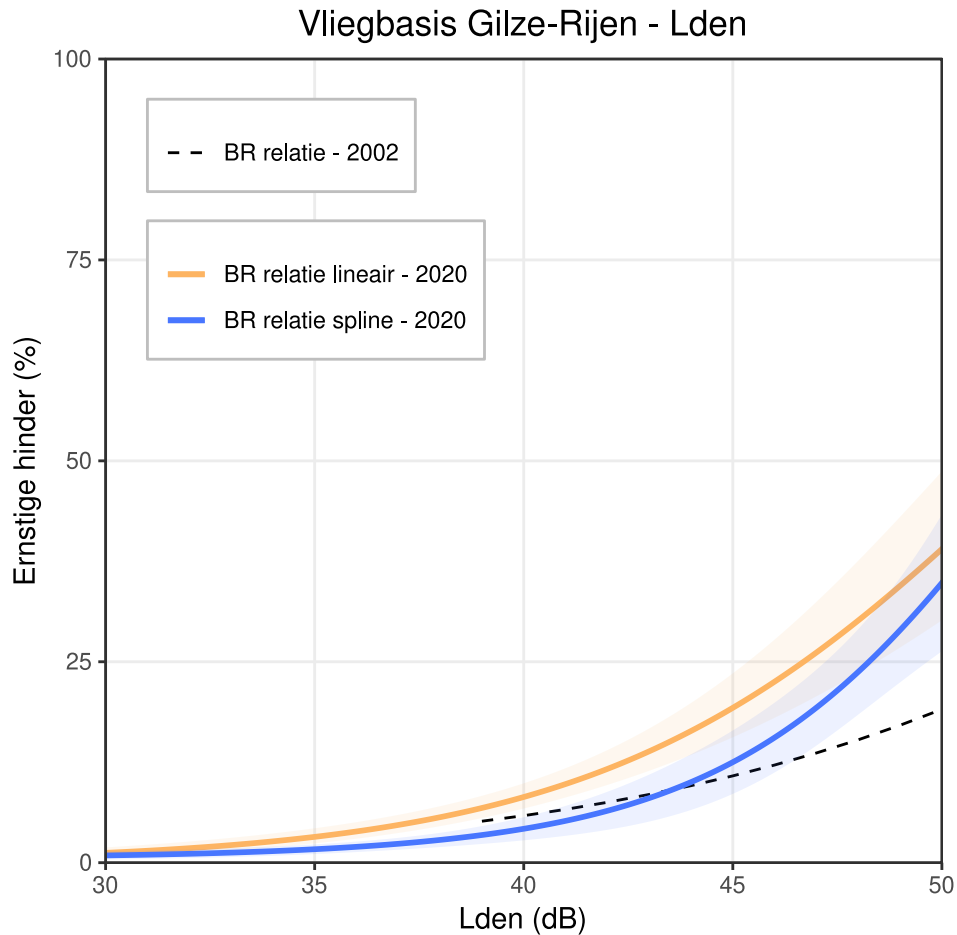
Figuur 36 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Gilze-Rijen 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES) weer.



Figuur 36 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Gilze-Rijen 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

De gemeten ernstige hinder is voor het merendeel hoger voor Gilze-Rijen 2020 dan voor 2002 (Schiphol/GES).

In Figuur 37 zijn het lineaire model en het stapsgewijze model voor  $L_{den}$  en percentage ernstig hinder van Gilze-Rijen uitgezet.



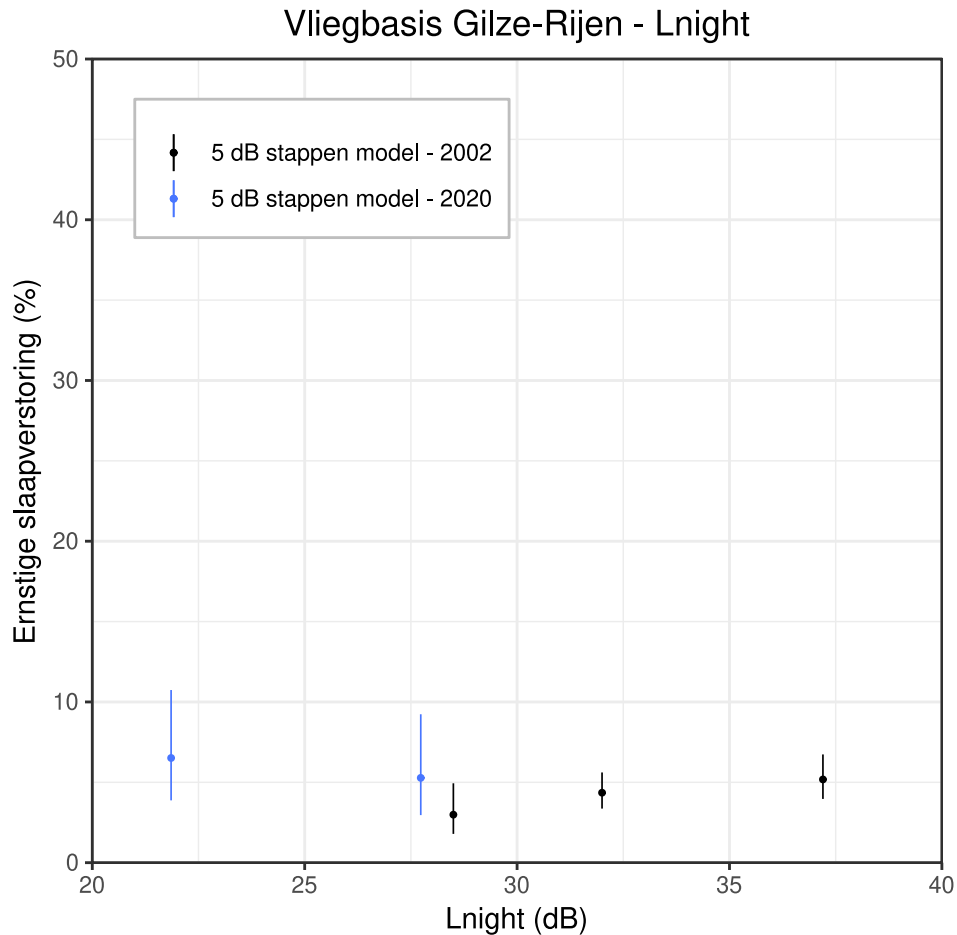
Figuur 37 BR-relatie volgens lineair en 'spline'-model (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Gilze-Rijen 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn).

Het lineaire model ligt hoger dan de 2002-curve. Het 'spline' model valt voor een deel samen met de 2002-curve, maar ligt er vanaf ongeveer 45 dB boven. De betrouwbaarheidsintervallen laten zien dat zeker bij de hogere blootstelling de onzekerheid toeneemt.

Tabel 29 geeft de blootstellingsverdeling voor nachtelijk geluid  $L_{night}$  en slaapverstoring weer.

Tabel 29 Blootstelling categorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{night}$  van Gilze-Rijen, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{night}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig slaapverstoorden ES en schatting procent ernstige slaapverstoring (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

G-cat	Gem. $L_{night}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % ES (95% BI)
< 20 dB	10,8	2.127	78,9	32	1,6 (1-2,3)
20-25 dB	21,9	285	10,6	22	6,5 (3,9-10,7)
> 25 dB	27,7	284	10,5	28	5,3 (3,0-9,2)
<b>Totaal</b>		2.696	100	82 (= 3,0% EH)	



Figuur 38 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Eindhoven 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

Voor Gilze-Rijen zijn voor ernstige slaapverstoring twee blootstelling categorieën te definiëren die echter in een laag bereik liggen en waarin relatief weinig deelnemers zitten. Hierdoor stellen we voor slaapverstoring voor Gilze-Rijen geen BR-relatie op.

Tabel 30 geeft de blootstellingsverdeling, in categorieën Ke, en ernstige hinder weer voor Gilze-Rijen.

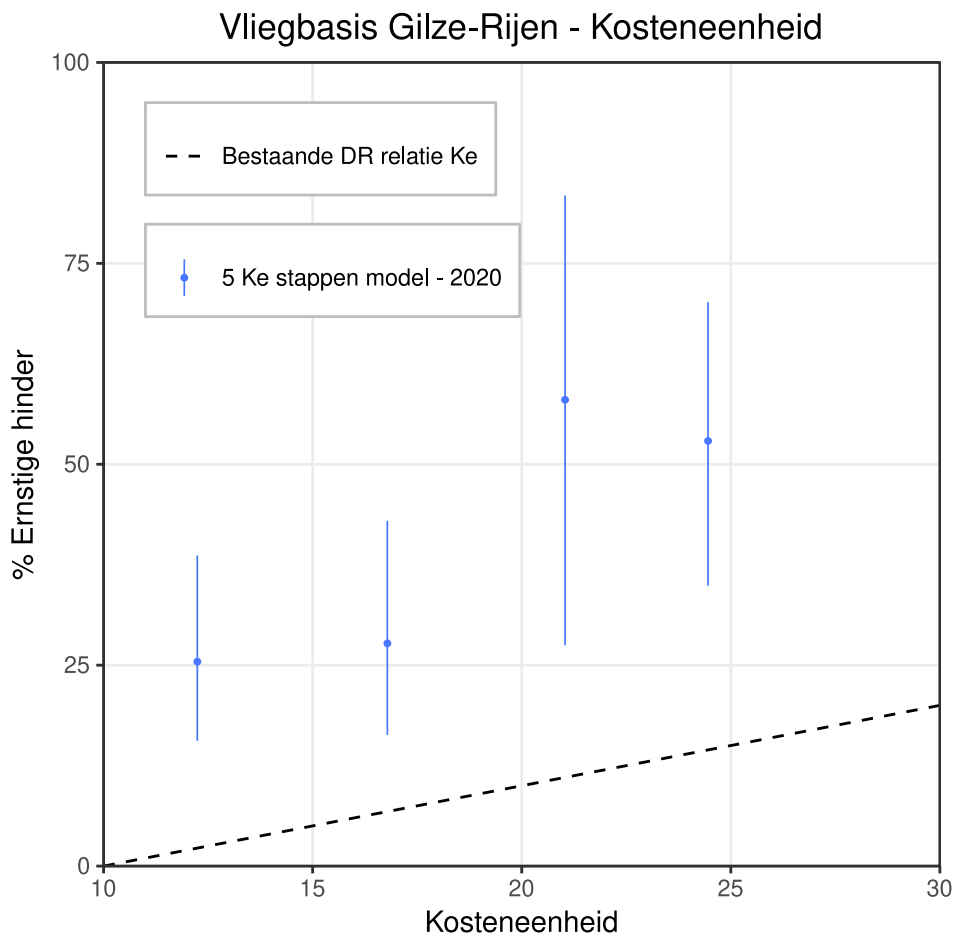
Tabel 30 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 Ke voor B van Gilze-Rijen, gemiddeld geluidniveau per categorie (Ke G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

<b>G-cat Ke</b>	<b>Gem. Ke G-cat</b>	<b>Aantal</b>	<b>% Aantal</b>	<b>Aantal EH</b>	<b>Schatting % EH (95% BI)</b>
<b>&lt; 5 Ke</b>	<1	2.232	82,9	71	2,8 (2,1-3,7)
<b>5-10 Ke</b>	7,0	253	9,4	25	9,8 (6,5-14,7)
<b>10-15 Ke</b>	12,2	70	2,6	20	25,4 (15,6-38,6)
<b>15-20 Ke</b>	16,8	54	2	18	27,7 (16,3-43)
<b>20-22,5 Ke</b>	21,0	21	0,8	11	58 (27,5-83,4)

G-cat Ke	Gem. Ke G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
>22,5 Ke	24,5	64	2,4	35	52,9 (34,9-70,2)
<b>Totaal</b>		2.694	100	180 (= 6,7% EH)	

Er zijn vier categorieën boven 10 Ke, maar het aantal deelnemers per categorie is laag. Hierdoor is er grote onzekerheid.

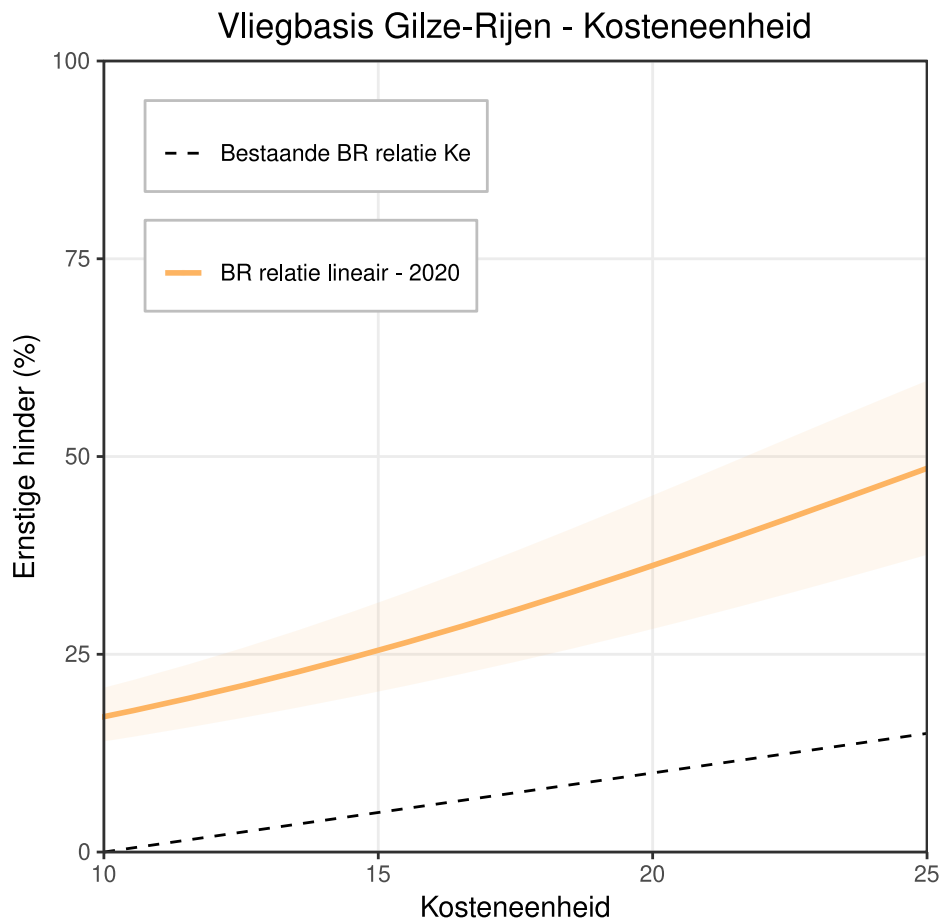
Figuur 39 geeft het stapsgewijze model (+BI) voor Ke en ernstige hinder voor Gilze-Rijen 2020 (GM) en bestaande BR-relatie voor Ke (procent ernstige hinder = Ke-10) weer.



*Figuur 39 Stapsgewijze model (+BI) voor B (in Ke) en ernstige hinder voor Gilze-Rijen 2020 (GM) en de standaard BR-relatie voor Ke (procent ernstige hinder = Ke-10).*

Hoewel de onzekerheid rond de schatting van de ernstige hinder groot is, ligt het stapsgewijze model voor Ke in z'n geheel ver boven de bestaande BR- relatie voor Ke. Dat wil zeggen dat het percentage ernstige hinder, bij gelijke blootstelling, voor Gilze-Rijen 2020 hoger is dan volgens de standaardcurve voor B.

Figuur 40 geeft het lineaire model voor Ke en ernstige hinder voor Gilze-Rijen 2020 (GM) en bestaande BR-relatie voor Ke (procent ernstige hinder =  $Ke-10$ ) weer. Het 'spline'-model is niet weergegeven, omdat er niet voldoende gegevens waren om dit valide te doen.



Figuur 40 BR-relatie lineair (+ BI) voor B (in Ke) en percentage ernstige hinder Gilze-Rijen 2020 (GM) en standaardcurve voor Ke (procent ernstige hinder is  $Ke-10$ ).

Het lineaire model en de standaardcurve Ke volgen elkaar, maar liggen ver uit elkaar. Dit betekent dat bij gelijke geluidblootstelling Ke de lineaire curve 2020 (veel) meer ernstige hinder voorspelt dan de Ke-curve.

Van de vliegbasis Gilze-Rijen zijn geen historische relaties tussen geluid van vliegverkeer en ernstige hinder en slaapverstoring bekend.

### Woensdrecht

Vliegbasis Woensdrecht<sup>68</sup> heeft één start- en landingsbaan in oostwest-richting (07-25) en een heli-square. In 2020 werden 8.932 vliegbewegingen geregistreerd, 1.127 meer dan in 2019. De meeste vliegbewegingen werden gemaakt met een Pilatus PC-7-ens (7.770).

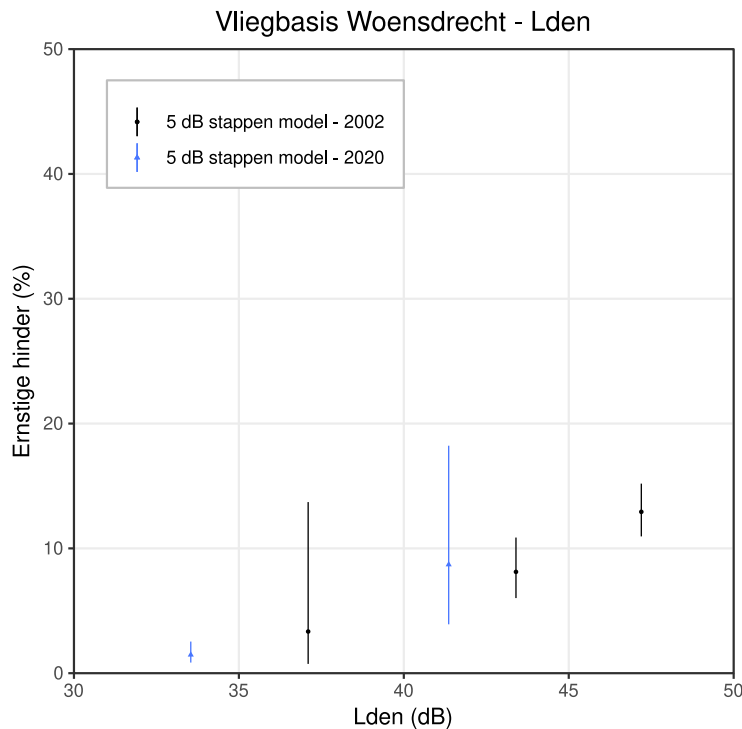
<sup>68</sup> Hoekerswever, B. (2021). De geluidbelasting rondom de vliegbasis Woensdrecht voor het jaar 2020 NLR-CR-2021-015.

Tabel 31 geeft de blootstellingsverdeling en ernstige hinder voor Woensdrecht weer.

*Tabel 31 Geluidsblootstellingscategorieën (G-cat) per 10 dB voor  $L_{den}$  van Woensdrecht, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{den}$  G-cat), aantal deelnemers, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).*

<b>G-cat</b>	<b>Gem <math>L_{den}</math> G-cat</b>	<b>Aantal</b>	<b>% Aantal</b>	<b>Aantal EH</b>	<b>Schatting % EH (95% BI)</b>
<b>&lt; 30 dB</b>	26,3	837	39,0	10	1,8 (0,8-3,8)
<b>30-40 dB</b>	33,5	1.167	54,4	19	1,5 (0,9-2,5)
<b>&gt; 40 dB</b>	41,4	140	6,5	10	8,7 (3,9-18,2)
<b>Totaal</b>		2.144	100	39	

Figuur 41 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Woensdrecht 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES) weer.



*Figuur 41 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Woensdrecht 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).*

Bij waarden boven ongeveer 40 dB neemt de onzekerheid toe. Voor Woensdrecht zijn drie blootstellingscategorieën te definiëren, die echter in een laag bereik van de blootstellingrange vallen. Er is een gering aantal deelnemers en onzekerheid over de schatting van de ernstige slaapverstoring. Hierdoor stellen we voor slaapverstoring voor Woensdrecht geen blootstellingsrespons relatie op.

Op vliegbasis Woensdrecht werden in 2020 geen nachtvluchten uitgevoerd. Daarom is er geen relatie met  $L_{night}$  weergegeven.



Tabel 32 geeft de blootstellingsverdeling, in categorieën Ke, en ernstige hinder voor Woensdrecht weer.

*Tabel 32 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) voor B van Woensdrecht, gemiddeld geluidniveau per categorie (Gem. Ke G-cat), aantal deelnemers, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).*

G-cat Ke	Gem. Ke G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
< 1 Ke	<1	1.928	89,9	26	1,6 (1,0-2,5)
>1 Ke	3,1	216	10,1	13	6,5 (3,3-12,6)
<b>Totaal</b>		2.144	100	39	

Er is geen blootstellingscategorie boven de 10 Ke. Op basis van de beschikbare gegevens stellen we geen BR-relatie op voor Woensdrecht.

Van de vliegbasis Woensdrecht zijn geen historische relaties tussen geluid van vliegverkeer en effecten bekend.

### Volkel

Vliegbasis Volkel<sup>69</sup> (EHVK) heeft één start- en landingsbaan (06-24) met een parallelbaan<sup>70</sup>. In 2020 vonden 11.646 vliegbewegingen plaats, tegenover 11.170 vliegbewegingen in 2019. Van de vliegbewegingen in 2020 waren er ruim 3.700 gemaakt met helikopters, de overige met (jacht)vliegtuigen (meest F16's).

Tabel 33 geeft de blootstellingsverdeling en hinder voor Volkel weer. Bij waarden boven ongeveer 60 dB neemt de onzekerheid in de schattingen van aantal ernstig slaapverstoorden toe.

*Tabel 33 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 dB voor L<sub>den</sub> van Volkel, gemiddeld geluidniveau per categorie (L<sub>den</sub> G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).*

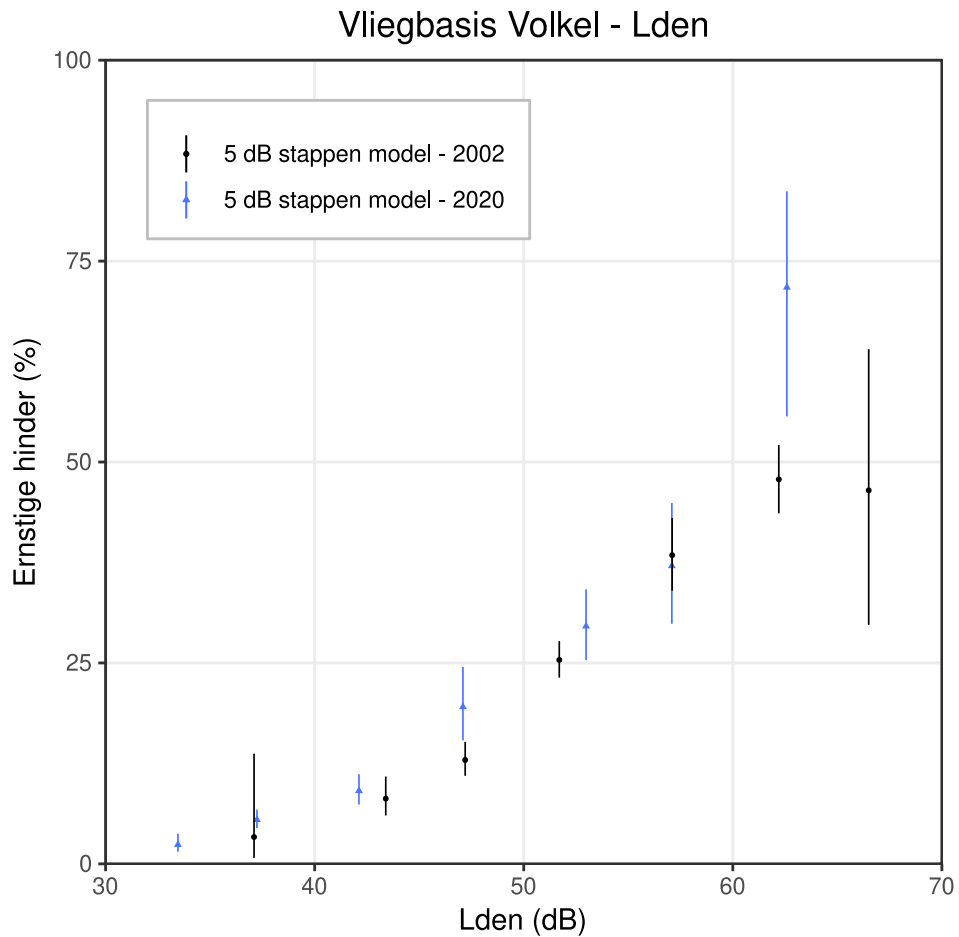
G-cat	Gem. L <sub>den</sub> G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
< 27.5 dB	25,7	1.283	15,8	34	3,0 (2,0-4,5)
27.5-30 dB	28,5	757	9,3	14	1,5 (0,8-2,7)
30-35 dB	33,5	784	9,6	24	2,4 (1,5-3,7)
35-40 dB	37,2	2.421	29,8	149	5,5 (4,5-6,8)
40-45 dB	42,1	1.772	21,8	155	9,1 (7,4-11,2)
45-50 dB	47,1	427	5,2	101	19,5 (15,4-24,5)
50-55 dB	53,0	465	5,7	149	29,6 (25,3-34,2)
55-60 dB	57,1	186	2,3	73	37,1 (29,9-44,9)
>60 dB	62,6	41	0,5	28	71,7 (55,7-83,7)
<b>Totaal</b>		8.136	100	727	

<sup>69</sup> Diekman, C.Q. (2021). De geluidbelasting rondom vliegbasis Volkel voor het jaar 2020. NLR-CR-2021-013.

<sup>70</sup> <https://www.defensie.nl/organisatie/luchtmacht/vliegbases-en-luchtmachtonderdelen/volkel/omgeving>.

Geraadpleegd: 10-01-2022.

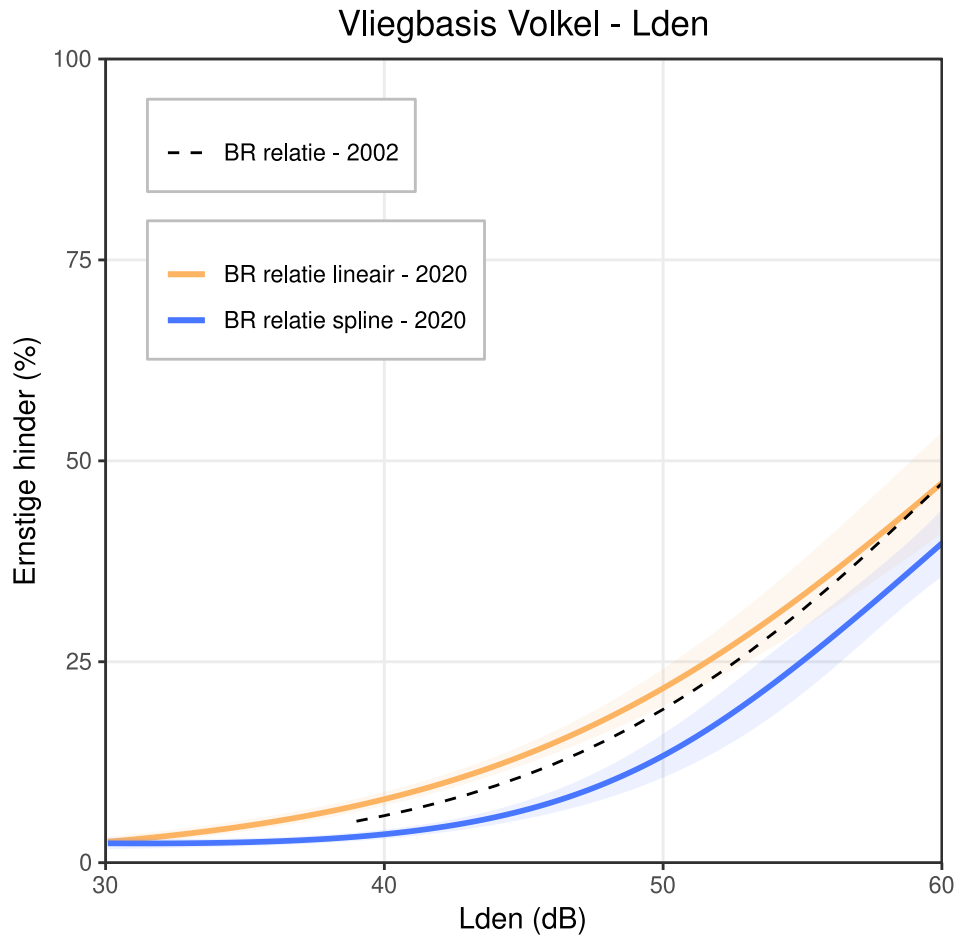
Figuur 42 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Volkel 2020 (GM) weer.



Figuur 42 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Volkel 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

Voor Volkel 2020 liggen de percentages voor ernstige hinder iets hoger dan voor 2002. Tot ongeveer 57 dB volgen de modellen elkaar tamelijk goed. Daarboven liggen de waarden voor Volkel 2020 (GM) hoger dan voor 2002 maar de betrouwbaarheidsintervallen zijn groot.

Figuur 43 geeft het lineaire model en het 'spline'-model voor  $L_{den}$  en percentage ernstig hinder voor Volkel weer.



Figuur 43 BR-relatie volgens lineair en 'spline'-model (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Volkel 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn).

De lineaire curve ligt iets hoger dan de 2002-curve, maar valt voor een groot deel binnen het betrouwbaarheidsinterval van de 2020 lineaire curve. De 'spline'-curve ligt lager dan beide curves.

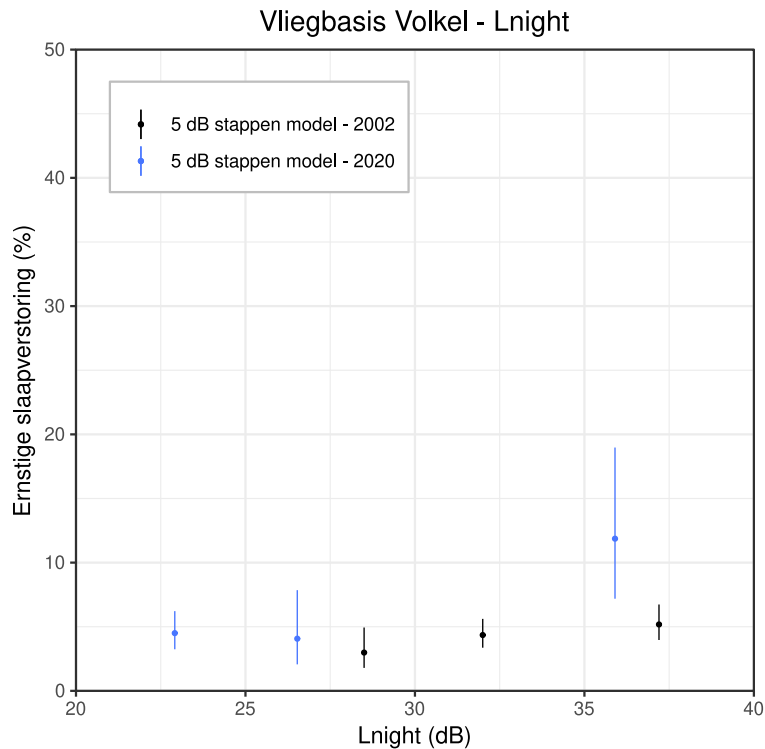
Tabel 34 geeft de blootstellingsverdeling voor nachtelijk geluid  $L_{night}$  en slaapverstoring van Volkel weer.

Tabel 34 Geluidblootstellingscategorïen (G-cat) per 5 dB voor  $L_{night}$  van Volkel gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{night}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig slaapverstoorden ES en schatting procent ernstige slaapverstoring (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval)

G-cat	Gem. $L_{night}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal ES	Schatting % ES (95% BI)
< 20 dB	15,7	6.070	77,1	92	1,3 (1,0-1,7)
20-25 dB	22,9	1.247	15,8	64	4,5 (3,2-6,2)
25-30 dB	26,5	402	5,1	19	4,1 (2,1-7,9)
>30 dB	35,9	151	1,9	17	11,9 (7,2-19)
<b>Totaal</b>		7.870	100	192	

De onzekerheid van de schatting van ernstige slaapverstoring neemt boven de 25 á 30 dB sterk toe.

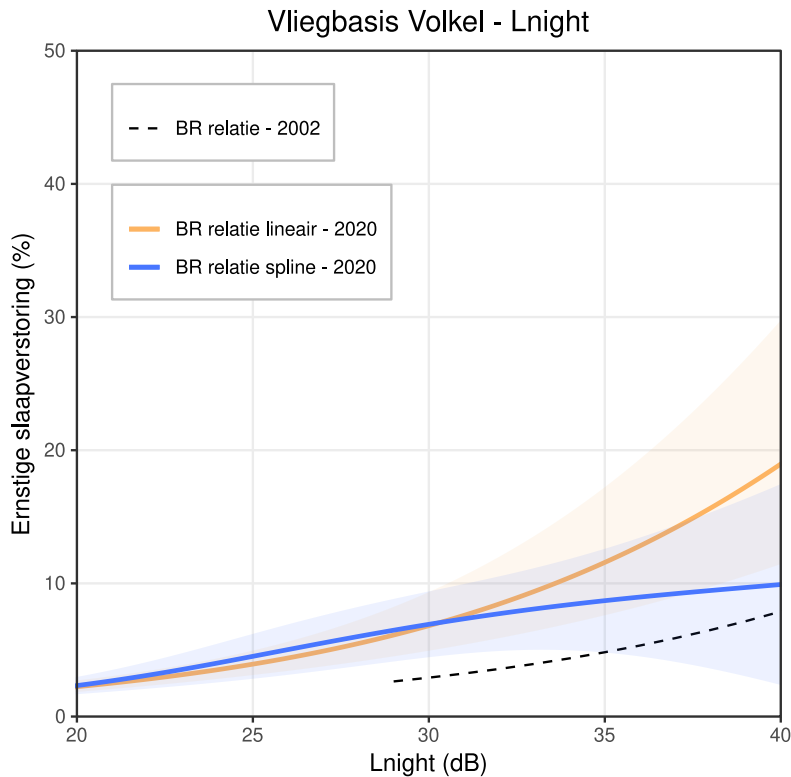
Figuur 44 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Volkel 2020 (GM) weer.



Figuur 44 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Volkel 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

Het stapsgewijze model laat drie categorieën zien boven de 20  $L_{den}$ , waarvan één in de range van de 2002-curve met een relatief groot BI.

Figuur 45 geeft het lineaire model en het stapsgewijze model voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Volkel weer.



Figuur 45 BR-relatie volgens het lineair en 'spline'-model (+BI) voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor Volkel 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES, stippellijn).

Het lineaire en het 'spline'-model volgen elkaar goed op tot ongeveer 30 dB, daarna neemt de betrouwbaarheid af. Het lineaire model stijgt door, het 'spline'-model lijkt af te vlakken. Beide curves liggen boven de 2002-curve.

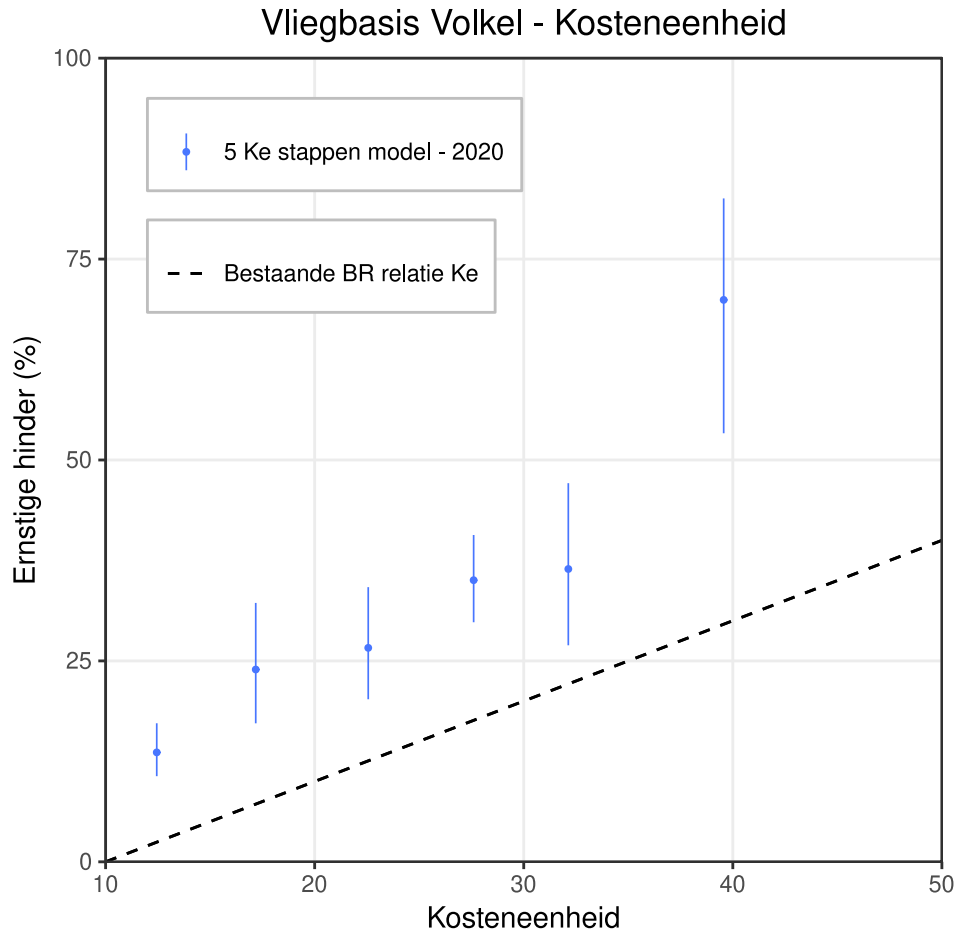
Tabel 35 geeft de blootstellingsverdeling, in categorieën Ke, en ernstige hinder voor Volkel weer.

Tabel 35 Blootstellingscategorieën (G-cat) per 5 Ke voor B van Volkel, gemiddeld geluidniveau per categorie (Ke G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval)

G-cat Ke	Gem. Ke G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
< 5 Ke	<1	6.091	74,9	288	4,4 (3,7-5,1)
5-10 Ke	7,4	483	5,9	41	7,8 (5,3-11,5)
10-15 Ke	12,4	697	8,6	98	13,6 (10,7-17,2)
15-20 Ke	17,2	206	2,5	54	23,9 (17,2-32,2)
20-25 Ke	22,6	182	2,2	55	26,6 (20,2-34,2)
25-30 Ke	27,6	333	4,1	127	35,0 (29,8-40,7)
30-35 Ke	32,1	104	1,3	37	36,4 (26,9-47,1)
>35 Ke	39,6	40	0,5	27	69,9 (53,3-82,5)
<b>Totaal</b>		8.136	100	727	

Boven de 30 á 35 Ke neemt de onzekerheid toe.

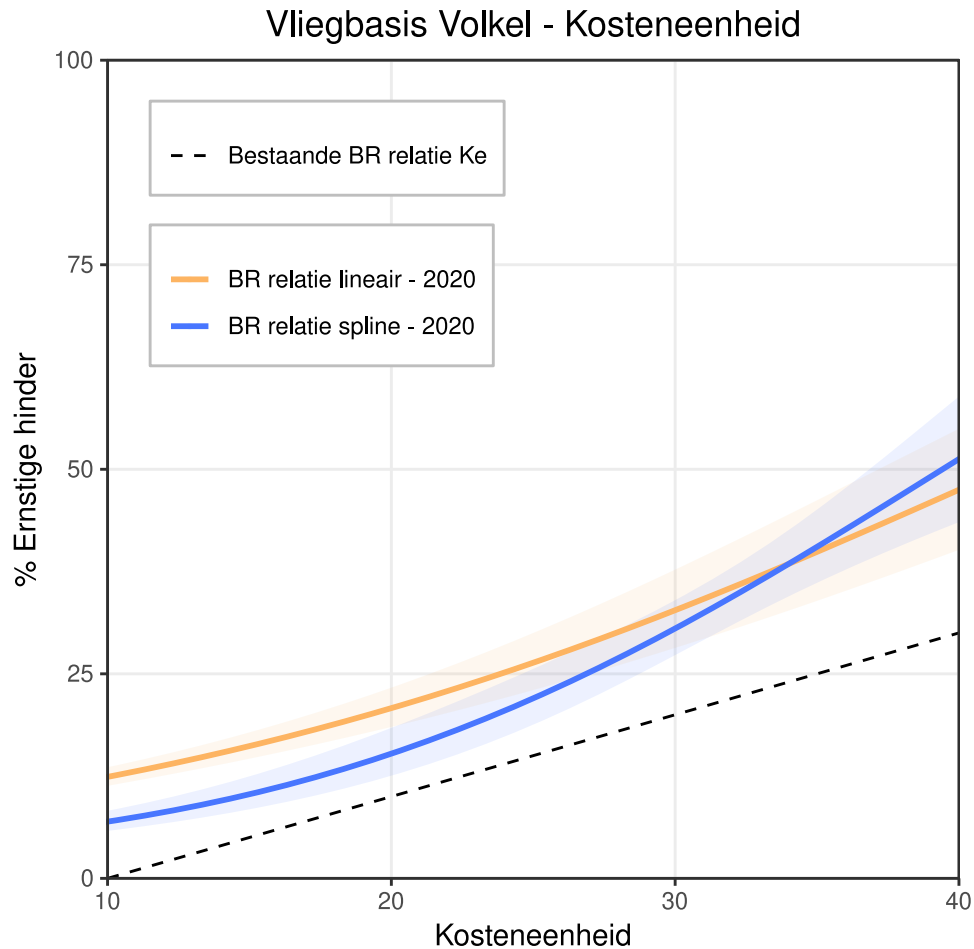
Figuur 46 geeft het stapsgewijze model (+BI) voor Ke en ernstige hinder voor Volkel 2020 (GM) en bestaande BR-relatie voor B (procent ernstige hinder = Ke-10) weer.



*Figuur 46 Stapsgewijze model (+BI) voor B (in Ke) en ernstige hinder voor Volkel 2020 (GM) en de standaard BR-relatie voor Ke (procent ernstige hinder = Ke-10).*

Voor B ligt het stapsgewijze model in z'n geheel boven de bestaande BR- relatie voor Ke. Dat wil zeggen dat het percentage ernstige hinder voor Volkel 2020 hoger is, bij gelijke blootstelling, dan volgens de standaardcurve voor B.

Figuur 47 geeft de BR-curves voor het lineair en 'spline'-model (+ BI) voor B (in Ke) en percentage ernstige hinder voor Volkel weer.



Figuur 47 BR-relatie volgens lineair en 'spline'-model (+ BI) voor B (in Ke) en percentage ernstige hinder Volkel 2020 (GM) en standaard curve voor Ke (procent ernstig hinder is Ke-10).

Het lineaire en 'spline'-model liggen boven de standaard Ke-curve. De 'spline'-curve ligt voor een groot deel onder de lineaire curve. Vanaf ongeveer 25 Ke komt de 'spline'-curve dichterbij de lineaire curve. Bij ongeveer 34 dB ligt de 'spline'-curve boven de lineaire curve.

Van de vliegbasis Volkel zijn geen historische relaties tussen geluid van vliegverkeer en effecten bekend.

### Leeuwarden

Vliegbasis Leeuwarden<sup>71</sup> (EHLW) heeft een heli-square en twee start- en landingsbanen: een in oostwest (09-27)-richting en een in noordoost-zuidwest (05-23)-richting. In 2020 werden er 10.158 vliegbewegingen gemaakt, 2.649 minder dan in 2019. De meeste bewegingen werden op de noordoost-zuidwestbaan (89 procent) gemaakt. Dit waren vooral vliegbewegingen met F-16s (64 procent). Voor het eerst dit jaar werd met F-35s gevlogen (15 procent van alle vliegbewegingen in dat jaar).

<sup>71</sup> Hoekerswever, B. (2021). De geluidbelasting random de militaire luchthaven Leeuwarden voor het jaar 2020 NLR -CR-2021-014-Hzv-1.

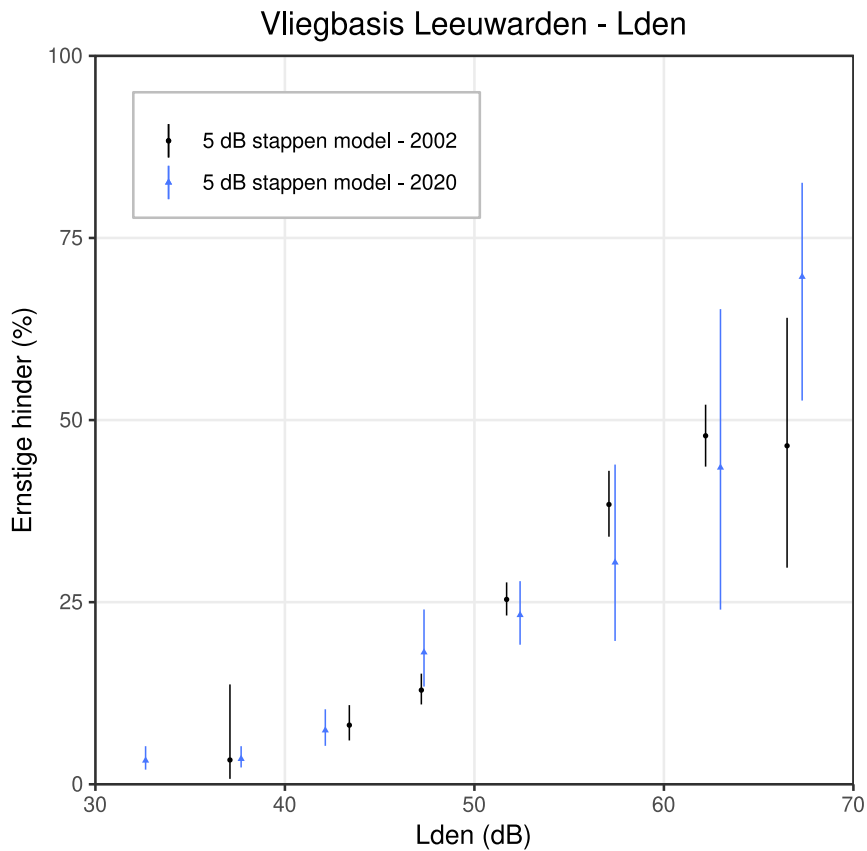
Tabel 36 geeft de blootstellingsverdeling in  $L_{den}$  en hinder voor Leeuwarden weer. Bij waarden boven 55 tot 60 dB neemt de onzekerheid in schattingen van ernstig gehinderden toe.

*Tabel 36 Blootstellingcategorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{den}$  van Leeuwarden, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{den}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).*

<b>G-cat</b>	<b>Gem. <math>L_{den}</math> G-cat</b>	<b>Aantal</b>	<b>% Aantal</b>	<b>Aantal EH</b>	<b>Schatting % EH (95% BI)</b>
<b>&lt; 30 dB</b>	25,4	795	14,7	10	0,8 (0,4-1,8)
<b>30-35 dB</b>	32,6	1.360	25,1	33	3,3 (2,0-5,2)
<b>35-40 dB</b>	37,7	1.494	27,6	46	3,5 (2,3-5,2)
<b>40-45 dB</b>	42,1	798	14,7	55	7,4 (5,3-10,3)
<b>45-50 dB</b>	47,3	476	8,8	85	18,1 (13,4-24)
<b>50-55 dB</b>	52,4	375	6,9	98	23,2 (19,2-27,9)
<b>55-60 dB</b>	57,4	53	1,0	20	30,4 (19,7-43,9)
<b>60-64.5 dB</b>	63,0	21	0,4	10	43,5 (24,0-65,2)
<b>&gt;64.5 dB</b>	67,3	41	0,8	30	69,7 (52,7-82,6)
<b>Totaal</b>		5.413	100	387	

Figuur 48 geeft de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Leeuwarden 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES) weer.

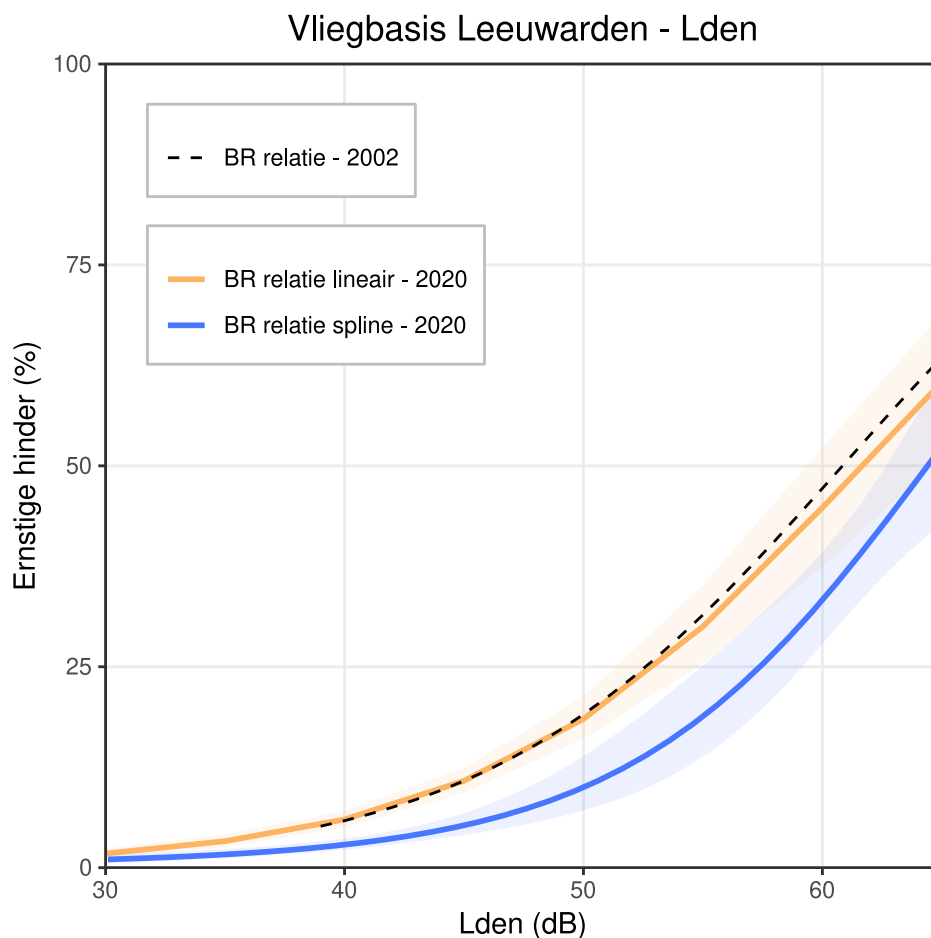




*Figuur 48 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Leeuwarden 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).*

De stapsgewijze modellen vallen voor een groot deel samen, waarbij model het voor Leeuwarden 2020 voor enkele categorieën lagere waarden en voor enkel categorieën hogere waarden dan het 2002-model laat zien.

Figuur 49 geeft het lineaire model (+ BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Leeuwarden weer.



Figuur 49 Lineaire model (+ BI) voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor Leeuwarden 2020 (GM).

Het lineaire model voor Leeuwarden valt samen met het lineaire model 2002. Het 'spline' model ligt in zijn geheel onder beide lineaire modellen.

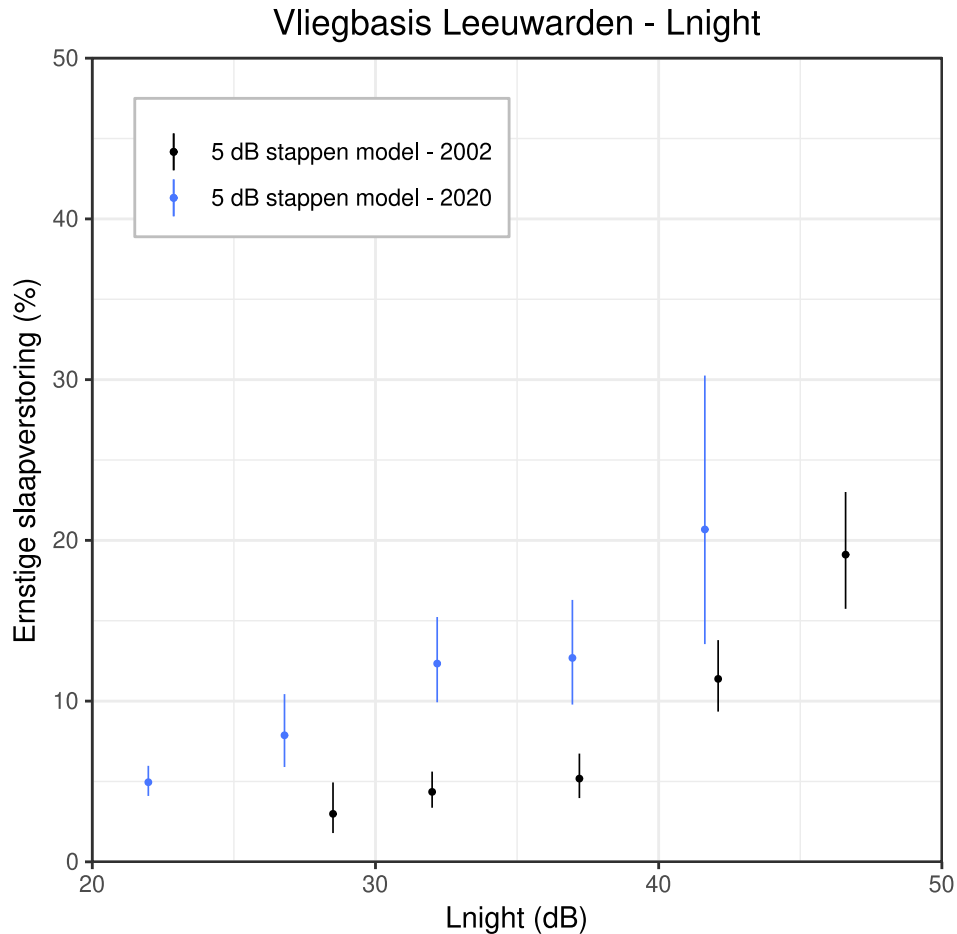
Tabel 37 geeft de blootstellingsverdeling voor nachtelijk geluid  $L_{night}$  en ernstige *slaapverstoring* voor Leeuwarden weer.

Tabel 37 Blootstelling categorieën (G-cat) per 5 dB voor  $L_{night}$  van Leeuwarden, gemiddeld geluidniveau per categorie ( $L_{night}$  G-cat), aantal deelnemers en percentage, aantal ernstig slaapverstoorden ES en schatting procent ernstige slaapverstoring (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

G-cat	Gem. $L_{night}$ G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal ES	Schatting % ES (95% BI)
< 20 dB	14,1	9.893	68,5	238	2,1 (1,8-2,4)
20-25 dB	22,0	2.503	17,3	144	5,0 (4,1-6,0)
25-30 dB	26,8	912	6,3	72	7,9 (5,9-10,4)
30-35 dB	32,2	628	4,3	82	12,3 (9,9-15,2)
35-40 dB	37,0	407	2,8	58	12,7 (9,8-16,3)
> 40 dB	41,6	97	0,7	22	20,7 (13,5-30,3)
<b>Totaal</b>		14.440	100	616 (= 4,3% ES)	

De onzekerheid van de schatting van ernstige slaapverstoring neemt boven de 40 dB toe.

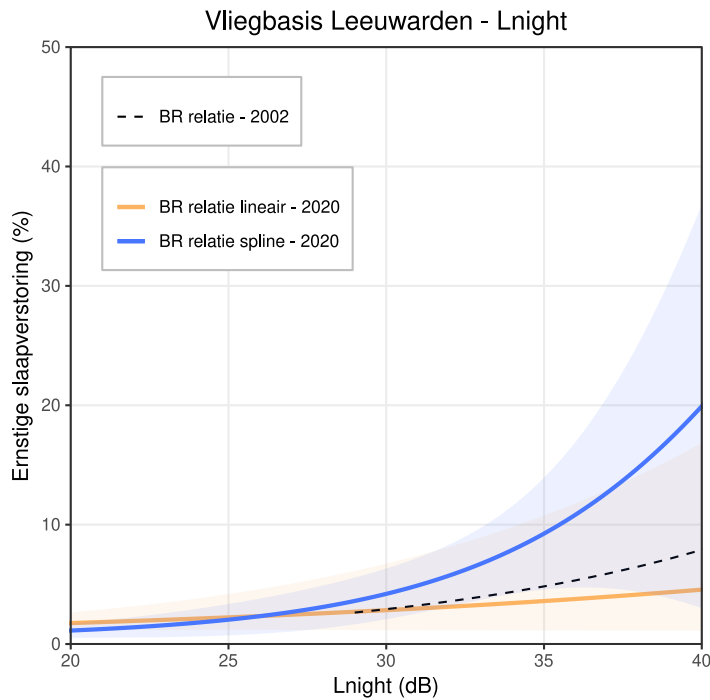
Figuur 50 toont de stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige hinder voor Leeuwarden 2020 (GM).



*Figuur 50 Stapsgewijze modellen (+BI) voor  $L_{\text{den}}$  en ernstige slaapverstoring voor Leeuwarden 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).*

Het stapsgewijze model voor Leeuwarden ligt in z'n geheel boven het stapsgewijze model voor Schiphol/GES 2002. Bij een gelijke blootstelling is de gemiddelde gemeten ernstige hinder voor Leeuwarden 2020 groter dan volgens Schiphol/GES 2002.

Figuur 51 geeft het lineaire model en het 'spline'-model voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige slaapverstoring voor Leeuwarden weer.



Figuur 51 BR-relatie lineair en 'spline'-model (+ BI) voor  $L_{\text{night}}$  en ernstige slaapverstoring voor Leeuwarden 2020 (GM) en 2002 (Schiphol/GES).

Het lineaire model volgt het 2002-model beter dan het 'spline'-model dat vanaf ongeveer 30 dB naar boven afbuigt. Rondom beide 2020-modellen zijn de betrouwbaarheidsintervallen bij hogere blootstellingswaarden groot.

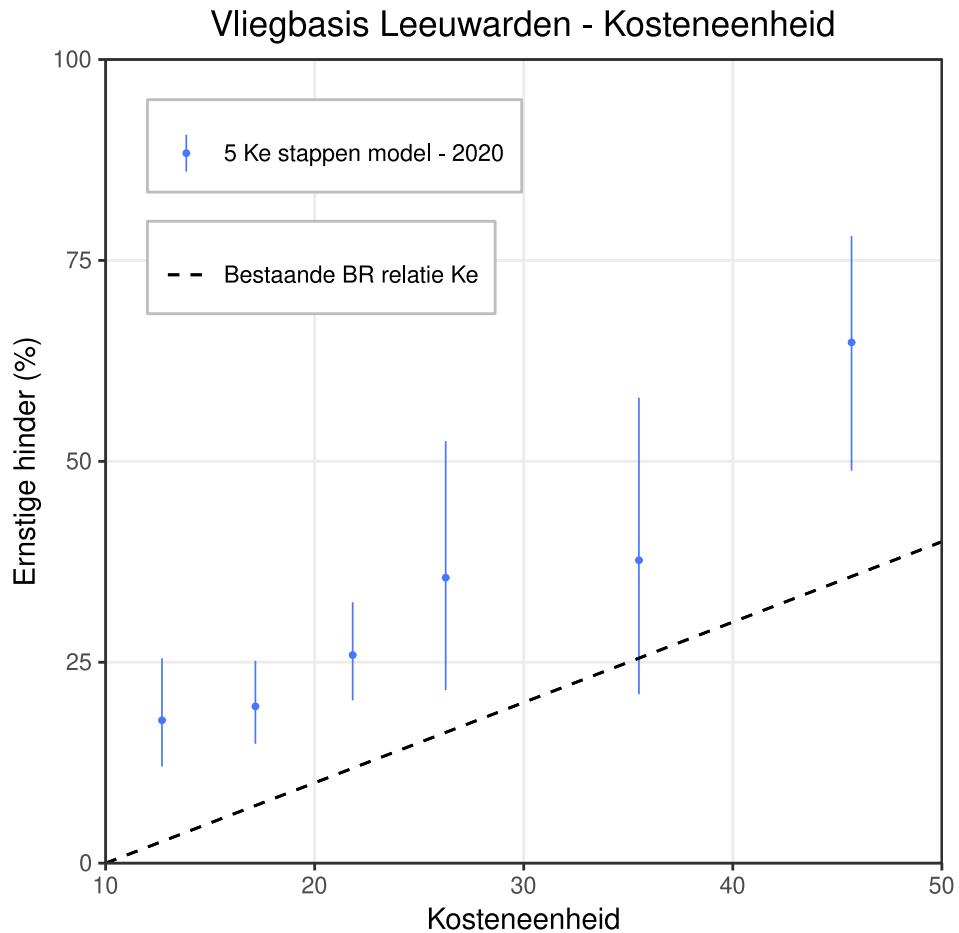
Tabel 38 geeft de blootstellingsverdeling B, in categorieën Ke, en ernstige hinder voor Leeuwarden weer.

Tabel 38 Geluidblootstellingscategorieën (G-cat) per 5 Ke voor B van Leeuwarden, gemiddeld geluidniveau per categorie (Ke G-cat), aantal deelnemers, aantal ernstig gehinderden EH en schatting procent ernstige hinder (en 95 procent betrouwbaarheidsinterval).

G-cat	Gem. Ke G-cat	Aantal	% Aantal	Aantal EH	Schatting % EH (95% BI)
< 5 Ke		4.332	80,0	135	3,4 (2,7-4,2)
5-10 Ke	7,3	218	4,0	28	14,1 (8,3-23)
10-15 Ke	12,7	303	5,6	52	17,8 (12-25,5)
15-20 Ke	17,2	250	4,6	53	19,5 (14,9-25,2)
20-25 Ke	21,8	203	3,8	61	25,9 (20,3-32,5)
25-30 Ke	26,3	35	0,6	15	35,5 (21,5-52,5)
30-40 Ke	35,5	26	0,5	11	37,7 (21-57,9)
>40 Ke	45,7	46	0,8	32	64,8 (48,8-78,0)
<b>Totaal</b>		5.413	100	387	

Boven de 20 á 25 Ke neemt de onzekerheid van de schatting van ernstige hinder sterker toe.

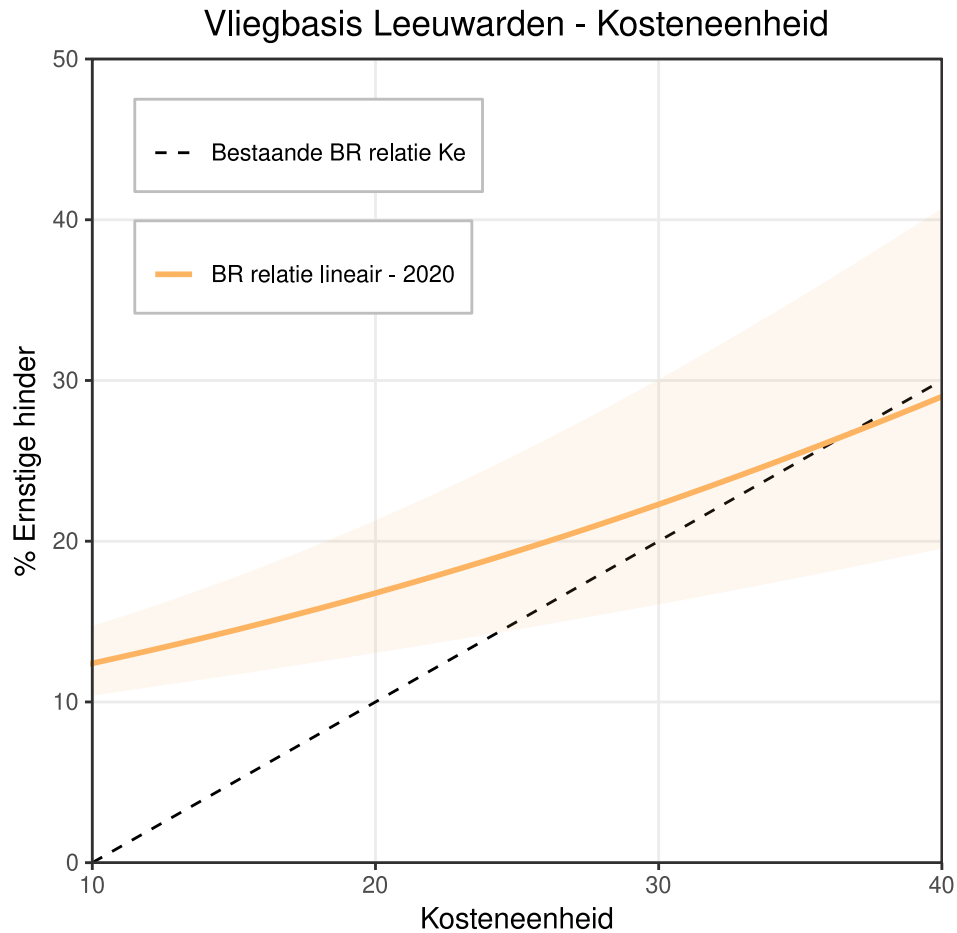
Figuur 52 geeft het stapsgewijze model voor B (in Ke) en ernstige hinder voor Leeuwarden weer.



*Figuur 52 Stapsgewijze model voor B (in Ke) en ernstige hinder voor Leeuwarden 2020 (GM) en standaardcurve voor Ke (procent ernstige hinder = Ke-10).*

Voor Leeuwarden ligt het stapsgewijze model hoger dan de standaardcurve Ke.

Figuur 53 geeft het lineaire model en de standaard curve B, in Ke voor Leeuwarden weer. Ook voor Leeuwarden is het 'spline'-model niet weergegeven, omdat er niet voldoende data waren om dit valide te doen.



*Figuur 53 BR-relatie lineair-model (+ BI) voor B (in Ke) en percentage ernstige hinder voor Leeuwarden Leeuwarden 2020 (GM) en standaardcurve voor Ke (procent ernstige hinder is Ke-10).*

Het lineaire model ligt tot ongeveer 36 dB boven de standaardcurve voor Ke. De betrouwbaarheidsintervallen zijn over de hele blootstellingsrange groot.

Van de vliegbasis Leeuwarden zijn geen historische relaties tussen geluid van vliegverkeer en effecten bekend.

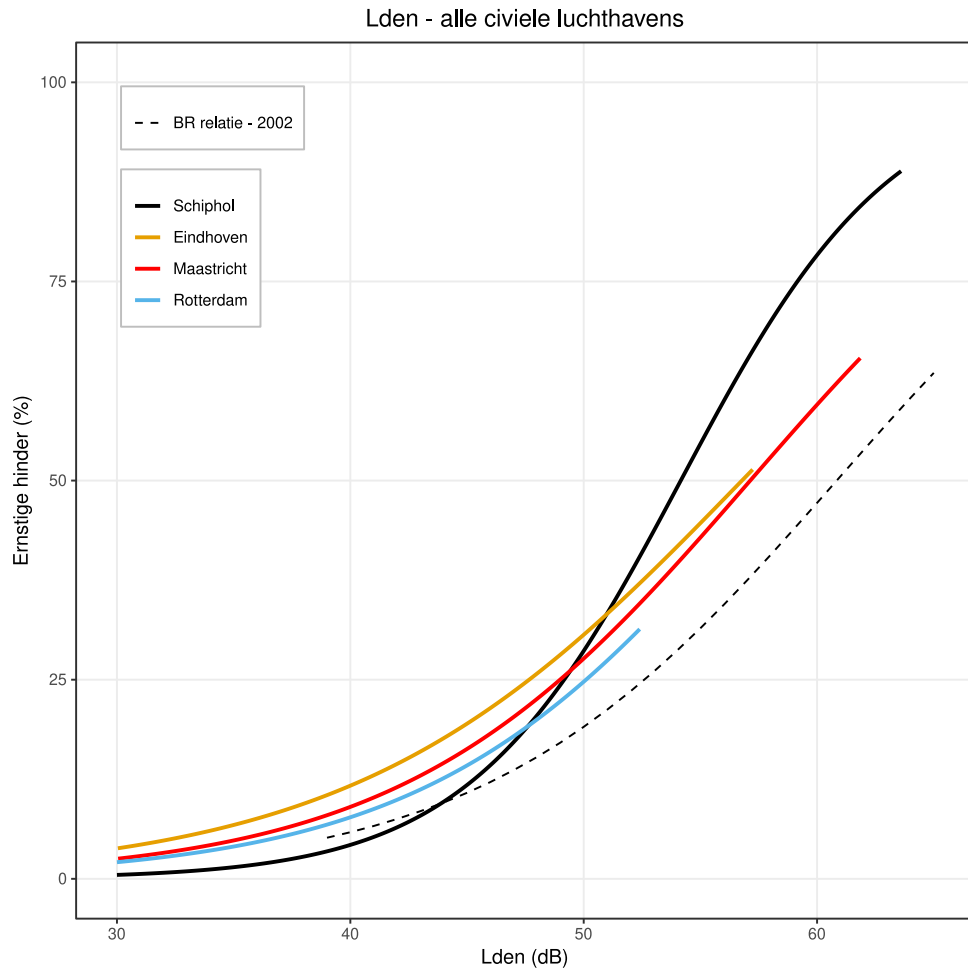
### 3.5 Samenvatting resultaten

#### *Vergelijking BR-relaties 2020*

Figuur 54 geeft alle BR-relaties voor  $L_{den}$  en ernstige geluidhinder weer voor de civiele luchthavens, inclusief luchthaven Eindhoven. Figuur 54 laat zien dat de BR-relaties voor de regio's rondom de luchthavens Eindhoven, Maastricht en Rotterdam dicht bij elkaar liggen. Ten opzicht van de Amsterdam (Schiphol) curve wijken de overige curves af. Tot ongeveer 47 dB liggen ze boven de Schipholcurve, vanaf ongeveer 52 dB liggen ze eronder.

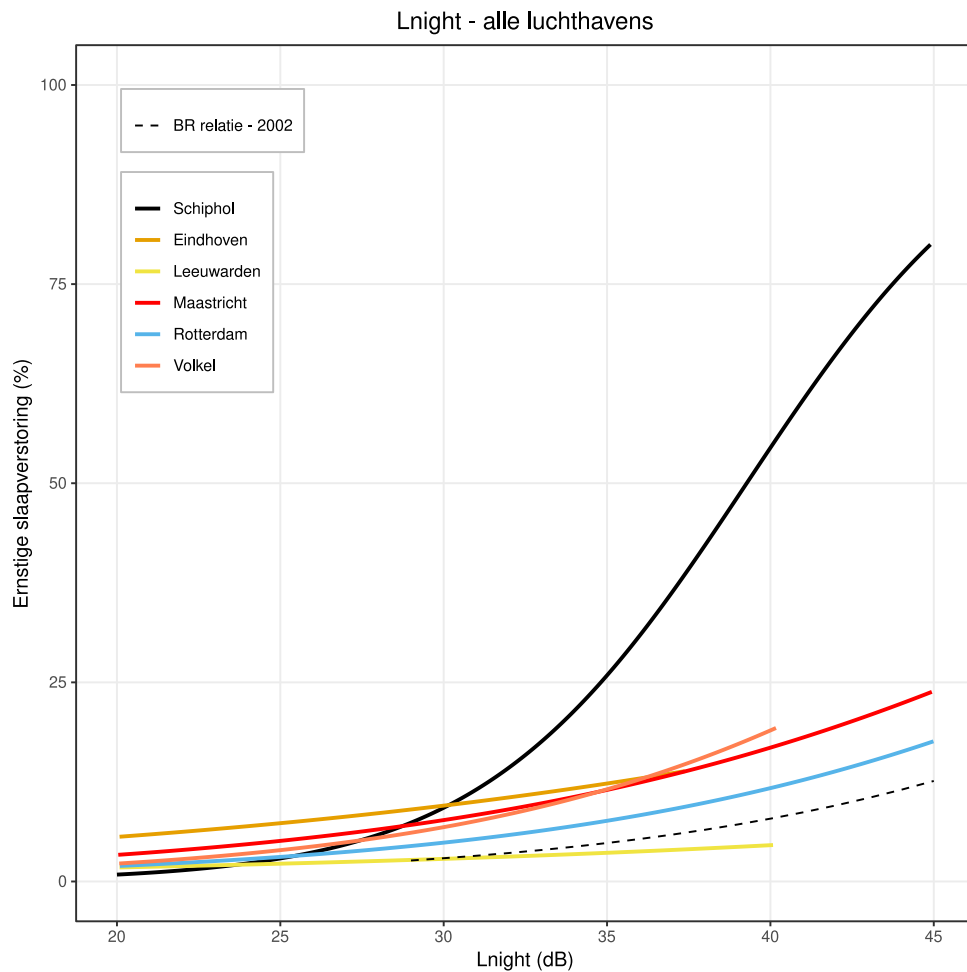
De onderliggende data zijn verzameld in hetzelfde onderzoek, met dezelfde vragenlijsten. De waargenomen verschillen zijn dus niet direct te verklaren door methodologische verschillen. Het ligt voor de hand dat de variatie wordt veroorzaakt door enerzijds akoestische factoren en

anderzijds co-determinanten. Variatie in het aantal deelnemers speelt ook een rol. Het aantal deelnemers per luchthaven varieerde van 24.672 rondom de luchthaven Eindhoven tot 126.946 rondom de luchthaven Schiphol.



Figuur 54 Vergelijking blootstelling-respons relaties GM 2020 voor  $L_{den}$  en ernstige hinder voor civiele luchthavens (Schiphol,, Eindhoven, Groningen, Maastricht en Rotterdam). Gestreepte lijn is BR-curve van  $L_{den}$  2002 (Schiphol/GES).

Figuur 55 toont de vergelijking van blootstelling-responsrelaties voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor zowel de civiele en militaire luchthavens.

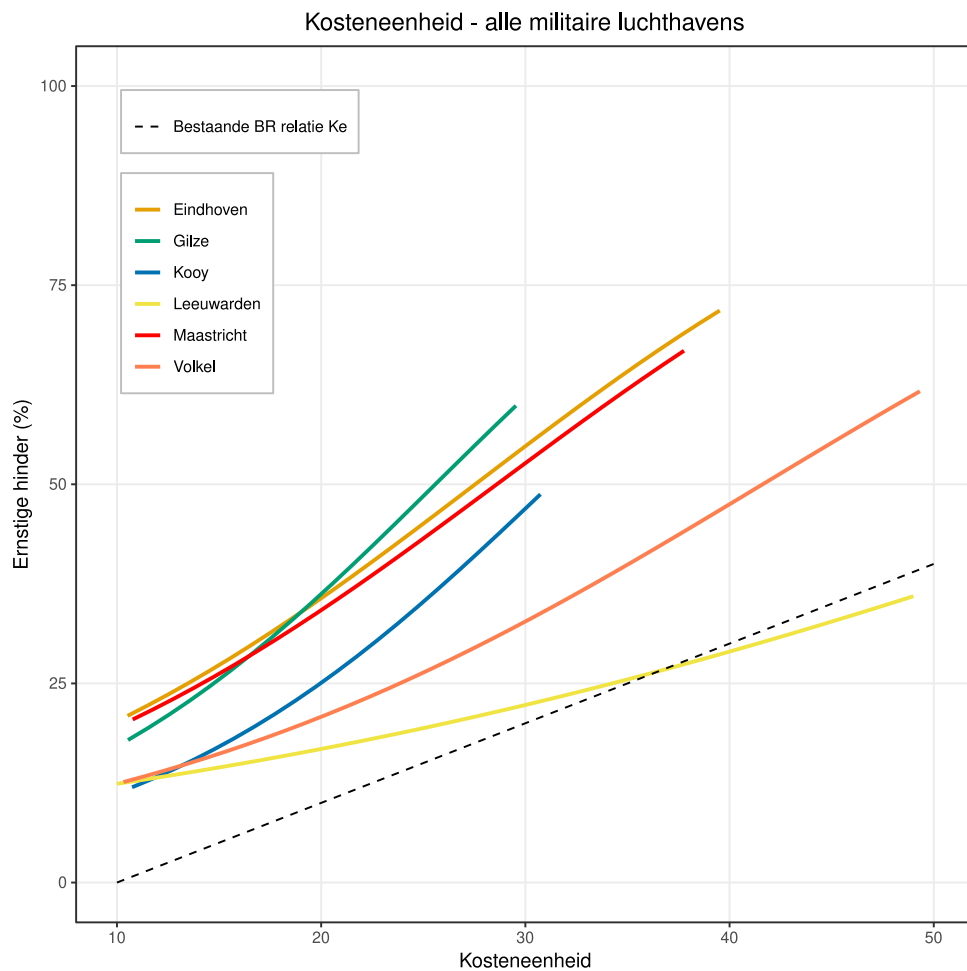


Figuur 55 Vergelijking blootstelling-respons relaties GM 2020 voor  $L_{night}$  en ernstige slaapverstoring voor civiele en militaire luchthavens (Schiphol, Eindhoven, Gilze-Rijen, Kooy, Leeuwarden, Maastricht, Rotterdam, Volkel). Gestreepte curve is van  $L_{night}$  2002 (Schiphol/GES).

Hoe hoger de geluidblootstelling, hoe meer variatie er is tussen de verschillende luchthavens. De variatie tussen de blootstelling-respons relatie van Schiphol in vergelijking met de andere luchthavens is groot. In 2020 werd boven een geluidsbelasting vanaf ongeveer 30 dB meer ernstige hinder gerapporteerd rond Schiphol airport dan rond de overige luchthavens in Nederland, met uitzondering van Leeuwarden.

Figuur 56 toont de vergelijking van blootstelling-responsrelaties voor Ke en ernstige hinder voor de militaire luchthavens.





Figuur 56 Vergelijking blootstelling-respons relaties GM 2020 voor Kosteneenheid en ernstige hinder voor militaire luchthavens (Eindhoven, Gilze-Rijen, De Kooy, Leeuwarden, Maastricht, Volkel en Woensdrecht) en standaard voor B (gestreepte lijn, Percentage ernstige hinder =  $Ke-10$ ).

Figuur 56 laat veel variatie in blootstelling-respons relaties voor militaire luchthavens zien. Zeker bij hogere geluidblootstelling lopen de percentages ernstig gehinderden bij dezelfde Kosteneenheid ver uiteen.

#### Formules BR-relaties

Voor een aantal luchthavens was het mogelijk een BR-relatie af te leiden voor  $L_{den}$ ,  $L_{night}$  of  $Ke$ . Voor deze luchthavens en indicatoren per luchthaven zijn curves opgesteld en is aangegeven wat het toepassingsbereik is. Dit is samengevat in Tabel 39.

Tabel 39 Blootstelling – respons relatie per luchthaven en per type geluidindicator. Luchthaven: betreffende luchthaven, Type indicator: geluidindicator ( $L_{den}$ ,  $L_{night}$  of B). BR relatie: blootstelling – respons relatie, Toepassingsbereik tot: waarde tot waar BR-relatie van toepassing is.

Luchthaven	Type indicator	BR-relatie (EH= ernstige hinder, ES= ernstige slaapverstoring)	Toepassingsbereik tot:
Schiphol	$L_{den}$	% EH Schiphol = $(1 / (1 + e^{-(-11,91 + 0,22 * L_{den})}) * 100\%$ .	55 dB
Schiphol	$L_{night}$	% ES Schiphol = $(1 / (1 + e^{-(-9,58 + 0,24 * L_{night})}) * 100\%$ .	35 dB
Rotterdam	$L_{den}$	% EH Rotterdam = $(1 / (1 + e^{-(-7,95 + 0,14 * L_{den})}) * 100\%$ .	51,5 dB
Rotterdam	$L_{night}$	% ES Rotterdam = $(1 / (1 + e^{-(-5,83 + 0,10 * L_{night})}) * 100\%$ .	40 dB
Maastricht-Geilenkirchen	$L_{den}$	% EH Maastricht-Geilenkirchen = $(1 / (1 + e^{-(-7,70 + 0,13 * L_{den})}) * 100\%$ .	58 dB
Maastricht-Geilenkirchen	$L_{night}$	% ES Maastricht-Geilenkirchen = $(1 / (1 + e^{-(-5,13 + 0,09 * L_{night})}) * 100\%$ .	40 dB
Eindhoven	$L_{den}$	% EH Eindhoven = $(1 / (1 + e^{-(-6,84 + 0,12 * L_{den})}) * 100\%$ .	54 dB
Eindhoven	$L_{night}$	% EH Eindhoven = $(1 / (1 + e^{-(-3,97 + 0,06 * L_{night})}) * 100\%$ .	25 dB
Eindhoven	B	% EH Eindhoven = $(1 / (1 + e^{-(-2,15 + 0,12 * Ke)}) * 100\%$ .	25 Ke
Gilze-Rijen	B	% EH Gilze-Rijen = $(1 / (1 + e^{-(-2,59 + 0,10 * Ke)}) * 100\%$ .	22,5 Ke
Gilze-Rijen	$L_{den}$	% EH Gilze-Rijen = $(1 / (1 + e^{-(-10,31 + 0,20 * L_{den})}) * 100\%$ .	50 dB
Volkel	B	% EH Volkel = $(1 / (1 + e^{-(-2,57 + 0,06 * Ke)}) * 100\%$ .	35 Ke
Volkel	$L_{den}$	% EH Volkel = $(1 / (1 + e^{-(-7,15 + 0,12 * L_{den})}) * 100\%$ .	60 dB
Volkel	$L_{night}$	% ES Volkel = $(1 / (1 + e^{-(-6,10 + 0,12 * L_{night})}) * 100\%$ .	30 dB
Leeuwarden	B	% EH Leeuwarden = $(1 / (1 + e^{-(-2,63 + 0,01 * Ke)}) * 100\%$ .	40 Ke
Leeuwarden	$L_{den}$	% EH Leeuwarden = $(1 / (1 + e^{-(-7,83 + 0,13 * L_{den})}) * 100\%$ .	64,5 dB
Leeuwarden	$L_{night}$	% ES Leeuwarden = $(1 / (1 + e^{-(-5,01 + 0,05 * L_{night})}) * 100\%$ .	40 dB

## 4 Conclusie-discussie

In deze studie hebben we de relatie tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid (civiel en militair) en effect op hinder en slaapverstoring onderzocht voor 14 luchthavens. De blootstelling aan vliegtuiggeluid werd gemodelleerd door het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum, hinder en slaapverstoring werd onderzocht met behulp van de Gezondheidsmonitor Volwassen en Ouderen 2020 (GM V&O 2020, kort GM). Het doel was om Blootstellings-respons relaties (BR-relaties) op te stellen.

### 4.1 Beantwoording onderzoeksdoelen

In deze paragraaf volgt de beantwoording van de specifieke onderzoeksdoelen.

Deze beide doelen waren:

1. Vaststellen of de blootstelling-respons (BR-) relatie uit 2002, die gebruikt wordt om het aandeel ernstig gehinderden en slaapverstoorden te berekenen op basis van de geluidblootstelling uitgedrukt in  $L_{den}$  en  $L_{night}$ , nog steeds een adequate beschrijving van de ervaren geluidhinder en slaapverstoring van de omwonenden van Schiphol geeft.
2. Afleiden van BR-relaties rond (regionale) luchthavens en vaststellen in welke mate de BR-relaties rond de (regionale) luchthavens overeenkomen/verschillen met de BR-relatie voor luchthaven Schiphol 2002.

Ad 1.

De BR-relatie voor vliegtuiggeluid en hinder uit 2002 (Schiphol/GES) is geen adequate beschrijving van de ervaren hinder in 2020. De BR-relatie voor vliegtuiggeluid en slaapverstoring geeft geen adequate beschrijving van de slaapverstoring.

Voor Schiphol bleek het mogelijk BR-relaties voor hinder en slaapverstoring op te stellen in 2020 (zie Tabel 39).

In 2002 is in het kader van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol een BR-relatie voor hinder en slaapverstoring opgesteld. Vergeleken met de BR-relatie voor hinder uit 2002 (Schiphol/GES) komt de BR-relatie uit 2020 voor een deel met deze curve overeen. Aan de onderzijde van de range van blootstellingsniveau 's (tot 45 dB) en aan de bovenzijde (60 dB en hoger) komen beide BR-relaties redelijk overeen. In de range daartussenin (45-60 dB) zijn beide relaties verschillend van elkaar; de BR-relatie 2020 ligt in deze range hoger dan de BR-relatie voor 2002. Dit houdt in dat bij gelijk geluidniveau de BR-relatie uit 2020 een groter aandeel ernstig gehinderden voorspelt dan de BR-relatie uit 2002. Ten opzichte van de 2020 BR-relatie onderschat de 2002 BR-relatie de mate van ernstige hinder.

Een soortgelijke vergelijking voor de BR-relatie voor slaapverstoring laat zien dat de BR-relatie uit 2002 over de héle blootstellingsrange tot een

lagere (verlaagde) schatting van het aantal ernstige slaapverstoorden ten opzicht van de BR-relatie uit 2020 zal leiden.

De 2020 BR-relaties voor Schiphol liggen ook hoger (meer hinder bij gelijke geluidblootstelling) dan enkele historische curves, zoals de curve op basis van de Gezondheidsmonitor 2016-data en de curve uit 2018 van de WHO.

Tot slot, de vergelijking tussen de resultaten van de berekeningen van blootstelling op receptorpunten laat zien dat de berekeningen voor het ECAC Doc29-model voor een groot deel van de range tot een lagere schatting leidt dan met het NRM, behalve tussen ongeveer 49 dB en 58 dB. Daar is dit omgekeerd. Dit leidt logischerwijs ook tot voor een deel afwijkende BR-relaties, afhankelijk van het model dat wordt toegepast. In dit geval laat de vergelijking tussen de BR-relatie op basis van het ECAC Doc29-rekenmodel met de BR-relatie op basis van het Nederlandse Reken Model (NRM) zien dat het ECAC Doc29-rekenmodel doorgaans (voor een groot deel van range van geluidblootstelling) tot een lager percentage ernstig gehinderden leidt dan het NRM, bij gelijke geluidblootstelling op adresniveau.

#### *Kanttekeningen bij beantwoording 1*

In 2020 waren er minder vliegbewegingen dan in 2002. In 2002 registreerde Schiphol ruim 401.000 vliegbewegingen. In 2020 waren dit er ruim 227.000, een teruggang ten opzichte van 2019 van ongeveer 175.000 vliegbewegingen door de maatregelen rond de Sars-COVID-19-pandemie.

Het aantal deelnemers in 2002 bedroeg 5.734 als onderdeel van een luchthaven specifiek onderzoek. In 2020 waren dit er ruim 126.000 in de regio rond de luchthaven Schiphol als onderdeel van een landelijk onderzoek.

In 2002 is een non-responsonderzoek uitgevoerd om eventueel te controleren en corrigeren voor selectieve non-respons. In GM 2020 is geen non-responsonderzoek uitgevoerd, maar heeft er wel een weging van de uitkomsten plaatsgevonden zodat deze voor een aantal variabelen representatief zijn voor de primaire eenheden (wijken, buurten of gemeenten). Het is dus niet uit te sluiten dat selectieve non-respons heeft plaatsgevonden, hoewel niet heel erg aannemelijk is dat dit de resultaten heeft beïnvloed.

#### Ad 2.

Voor het tweede doel van dit onderzoek, afleiden van blootstelling – respons relaties (BR-relaties) tussen geluid van (militair) vliegverkeer en ernstige hinder/slaapverstoring voor verschillende regionale en een nationale luchthavens in Nederland, werd informatie uit de Gezondheidsmonitor 2020 gekoppeld aan de door het NLR berekende geluidblootstellingen.

Voor een aantal luchthavens en per luchthaven per indicator was het mogelijk een BR-relatie op te stellen voor ernstige hinder of ernstige slaapverstoring (Tabel 39). Voor de meeste luchthavens was er een verband tussen blootstelling en effect en was dit verband in de

verwachte richting (positief: bij toenemende blootstelling is er een toenemend effect). Voor een aantal luchthavens (Woensdrecht, De Kooy, Groningen, Lelystad, Deelen en De Peel) zijn geen BR-relaties gegeven. Dit kwam door de lage blootstelling en/of relatief weinig deelnemers, waardoor er een grote onbetrouwbaarheid rond de schatting van de hinder of slaapverstoring lag.

Uit de resultaten van de 5 dB stappenmodellen 2020 in vergelijking tot het stappenmodel 2002 (Schiphol/GES) laten vrijwel alle modellen uit 2020 een hoger percentage ernstig gehinderden en ernstig slaapverstoorden zien dan in 2002. De gemeten waarden voor ernstige hinder en ernstige slaapverstoring zijn bij gelijke blootstelling in 2020 hoger dan voor het 2002-model. Bij visuele inspectie van Figuur 54 en Figuur 55 lijken de BR-relaties van alle andere luchthavens uit dit onderzoek bij alle luchthavens hoger te liggen dan de Schiphol/GES BR-relaties uit 2002. In ieder geval voor  $L_{den}$  tot ongeveer 45 dB en voor  $L_{night}$  tot ongeveer 25 dB. Dit houdt in dat er bij een gelijke geluidblootstelling meer ernstige hinder en meer ernstige slaapverstoring zal worden geschat op basis van de luchthaven-specifieke BR-relaties dan op basis van de 2002 Schiphol/GES BR-relaties. Ook is bij een aantal luchthavens bij een lagere geluidblootstelling te zien dat er een hoger aandeel ernstig gehinderden en ernstig slaapverstoorden is dan de Schiphol 2002 BR-relatie, die vanaf ongeveer 40 dB (hinder) respectievelijk 30 dB (slaapverstoring) zijn opgesteld.

De 2002 Schiphol/GES BR-relaties werden en worden voor veel civiele luchthavens gebruikt om het aantal ernstig gehinderden en ernstig slaapverstoorden te berekenen voor beleid, bijvoorbeeld voor de MER-procedure. Voor de meeste civiele luchthavens lijken de Schiphol/GES-curves (hinder en slaapverstoring, 2002) geen adequate weergave te zijn voor de relatie tussen blootstelling aan vliegtuiggeluid en ernstige hinder of ernstige slaapverstoring rondom de desbetreffende luchthavens. Voor luchthavens waarvoor, voor een of meerdere indicatoren, geen BR-relatie is afgeleid, zou men kunnen terugrijpen op de BBT (best beschikbare technieken): andere BR-relaties. Dit kan zijn in de vorm van een BR-relatie van een regionale luchthaven die overeenkomsten met de betreffende luchthaven vertoont, de Schiphol BR-relatie of een Europese BR-relatie.

#### *Kanttekeningen bij beantwoording 1 en 2*

Het Schiphol/GES onderzoek werd in 2002 uitgevoerd, het GM onderzoek in 2020. In die periode van 18 jaar is veel van de vloot in kwantiteit en kwaliteit verandert, niet alleen op Schiphol maar ook op de meeste andere luchthavens.

Het doel van het GM onderzoek was niet primair bedoeld voor het opstellen van BR-relaties maar zelf-gerapporteerde gezondheid van bewoners in beeld brengen. Een van de doelen van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol in 2002 was een onderzoek naar de relatie tussen blootstelling en effect. In de opzet van het onderzoek en de steekproeftrekking is hiermee rekening gehouden door een gestratificeerde steekproef te nemen om naar verschillende gebieden en geluidblootstellingsniveaus te kijken. Zo zijn er rond de luchthaven extra

mensen uitgenodigd om deel te nemen en is erop gelet of er voldoende spreiding in de blootstelling was. De Gezondheidsmonitor in 2020 had als primair doel om de zelf-gerapporteerde gezondheid van bewoners in beeld te brengen voor het gemeentelijk gezondheidsbeleid. De steekproeftrekking was erop gericht zo goed mogelijk de ervaren gezondheid van 'primaire eenheden' (gemeenten, wijken, buurten) in beeld te krijgen. Met een ophoging van in totaal ongeveer 30.000 extra deelnemers in hoger belaste gebieden is gepoogd in deze omissie in het oorspronkelijke design te voorzien. Gelet op de grote betrouwbaarheidsintervallen bij hogere blootstellingscategorieën had dit aantal groter mogen zijn. Dit is een belangrijk aandachtspunt voor eventueel volgend onderzoek naar BR-relaties met de Gezondheidsmonitor als onderzoeksinstrument.

## 4.2 Discussie(punten)

### Representativiteit (corona)

De Gezondheidsmonitor 2020 is uitgevoerd tijdens de COVID-19-pandemie. Kijken we naar de vliegbewegingen, dan zien we dat het aantal vliegbewegingen voor de civiele luchthavens tussen 2019 en 2020 is afgenomen. Voor een aantal militaire luchthavens is het aantal vliegbewegingen van 2019 naar 2020 toegenomen. Daarmee zal ook de mate van blootstelling aan geluid zijn veranderd. De ernstige geluidhinder en ernstige slaapverstoring voor geluid van vliegverkeer waren in 2020 lager dan voor 2019, tenminste landelijk gezien<sup>72</sup>. De resultaten van de Gezondheidsmonitor 2020 laten zien dat regionaal, in de gemeenten rondom de luchthavens, ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door geluid van vliegverkeer is toegenomen in 2020 ten opzichte van 2016<sup>73</sup>. Al met al betekenisvolle verschillen in de situatie tussen 2019 en 2020. Daarmee lijkt het waarschijnlijker dat de gevonden BR-relaties uit 2020 representatiever zijn voor de opvolgende jaren (2021-2023) dan dat BR-relaties op basis van 2019-data zouden zijn. Dit omdat de situatie in 2020 meer van toepassing is op de opvolgende jaren (2021-2023) dan de situatie van 2019. In 2019 waren er in totaal 655.572 vliegbewegingen op de Nederlandse luchthavens voor commercieel vliegverkeer. In 2020 waren dit 349.837 vliegbewegingen en in 2021 in totaal 424.288<sup>74</sup>.

### Trends in de tijd:

Ten opzichte van de BR-relaties afgeleid met de GM 2016-data is voor de data uit de GM 2020 een toename (BR-relatie ligt hoger) te zien voor de luchthaven Schiphol, terwijl dezelfde onderzoeksmethodiek gebruikt is, zij het met een iets andere samenstelling van de onderzoekspopulatie (geen Ouderen). Voor de andere luchthavens is een toename te zien ten opzichte van de 2002 Schiphol/GES BR-relatie, die veelvuldig wordt ingezet om beleidskeuzes op te baseren. Eindhoven en Maastricht/Geilenkirchen vormen hierop een uitzondering. Voor Eindhoven ligt de BR-relatie van 2020 voor een groot deel onder die van GM 2016. Vergelijking met andere luchthaven specifieke BR-relaties is moeilijker, omdat daarin een andere onderzoeksdesign is gebruikt, zoals het bepalen van de studiepopulatie en het doel van de studies

<sup>72</sup> Van Poll, R. and S. Simon (2021). Ernstige hinder en slaapverstoring in Nederland – Onderzoek Beleving Woonomgeving (OBW) 2020 Hinder in tijden van corona. RIVM-rapport 2021-0236.

<sup>73</sup> GGD GHOR Nederland, GGD Brabant-Zuidoost en werkgroep luchtvaart. 2022. Belevingsonderzoek geluidhinder en slaapverstoring luchtvaart 2020. 25 feb 2022.

<sup>74</sup> <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/verkeer/vliegbewegingen>, d.d. 07 juli 2022.

(onderzoek naar geluidshinder van vliegverkeer). Om de vier jaar BR-relaties afleiden zou men te vaak kunnen noemen. Eenmaal in de achttien jaar een mogelijke update uitvoeren, zou men iets te weinig kunnen noemen. Een meer frequenter actualisering van BR-relaties is aan te bevelen. De resultaten van dit onderzoek laten zien dat het gebruik van een actuele, lokale, BR-relatie adequaat is. Het verdient daarom aanbeveling frequenter de BR-relatie te actualiseren. Op die manier kan beter rekening gehouden worden met het feit dat situaties rondom een luchthaven kunnen veranderen.

### **4.3 Onderzoeksaanbevelingen**

#### *4.3.1 Vervolgonderzoek*

De Gezondheidsmonitor als instrument is bedoeld om gemeenten periodiek inzicht te geven in de ervaren gezondheid van hun burgers. Dat is het primaire doel. In de verkenning PAMV werd voor vervolgonderzoek aanbevolen zoveel mogelijk uit te gaan van bestaande voorzieningen en beschikbare data. Hiervoor werd als instrument de Gezondheidsmonitor aangewezen. Zij het met enkele aanpassingen ten opzichte van eerdere versies. Zo werd aanbevolen naast 'volwassen' ook de 'ouderen'-populatie in het onderzoek op te nemen. Niet alle GGD'en hebben aan dat verzoek gevolg gegeven, vooral de zuidelijke GGD'en niet, om naast vragen over geluidshinder, ook vragen over slaapverstoring en timing van geluidsoverlast door vliegverkeer op te nemen. Ook is geprobeerd om meer respondenten in de buurt van de luchthavens op te nemen in het onderzoek; ophoging met ongeveer 30.000 vragenlijsten. De ophoging heeft vermoedelijk tot ongeveer 12.000 extra reacties rondom de luchthavens geleid, hetgeen de betrouwbaarheid van de schattingen heeft doen toenemen maar wat waarschijnlijk nog niet genoeg is. Met behulp van een 'power-analyse' kan in toekomstige situaties daarop beter worden geanticipeerd.

Als het onderzoek wordt herhaald, is het raadzaam om de steekproef meer op de onderzoeksvraag af te stemmen (ophogen van steekproef in hoger belaste gebieden). Maar ook om co-determinanten op te nemen in het vragenlijstonderzoek (zie 4.3.3) en onderscheid te maken naar vliegtuiggeluid algemeen, vliegtuiggeluid civiel en vliegtuiggeluid militair in de vragen naar hinder en slaapverstoring.

Met de data van de Gezondheidsmonitor lijken trends in hinder en/of slaapverstoring rondom individuele luchthavens goed gemonitord te kunnen worden. Voor het afleiden van BR-relaties, rekening houdend met de invloed van co-determinanten, zouden ingrijpende aanpassingen van de Gezondheidsmonitor nodig zijn die wellicht buiten de scope van het primaire doel van de Gezondheidsmonitor vallen. Hiervoor zou apart onderzoek gericht op co-determinanten wenselijk zijn.

#### *4.3.2 Niet lineaire effecten vliegtuiggeluid*

De relatie tussen blootstellingsniveaus van vliegtuiggeluid en ernstige hinder respectievelijk slaapverstoring zijn via een curve weergegeven. Deze curve is opgesteld op basis van een lineaire logistische regressie. Dit is gedaan omdat eerdere curves nationaal en internationaal op soortgelijke wijze zijn opgesteld. Daarmee is de vergelijkbaarheid in tijd tussen de curves zoveel mogelijk constant gehouden. Er is echter niet

altijd sprake van een lineaire relatie tussen blootstelling en response. De stapsgewijze modellen voor  $L_{den}$  en  $L_{night}$  rondom Schiphol laten bijvoorbeeld zien dat de verwachte hinder-/slaapverstoring bij hogere blootstelling kan afvlakken. Met behulp van 'splines' kunnen ook mogelijke niet-lineaire verbanden worden onderzocht. Hierbij wordt de data-range in gelijke delen verdeeld. En voor elk deel van het geheel wordt een (deel van de) curve gefit, die in het uiteindelijke resultaat tot een geheel wordt gevormd. Het 'spline'-model laat doorgaans een betere fit, beter passend bij de data, zien dan het veel restrictievere lineaire model, waarbij wordt aangenomen dat het effect van de blootstelling op de log-odds op hinder altijd lineair verloopt. Deze aanname blijkt dus in een aantal gevallen niet juist te zijn, zoals ook valt op te merken aan de resultaten van het stapsgewijze model. Bij toepassing van het 'spline'-model in dit onderzoek blijkt dat in de meeste gevallen, maar niet alle, het 'spline'-model lager ligt dan het lineaire 2020-model, maar hoger dan de BR-relatie uit 2002 voor Schiphol/GES. De 'spline'-modellen lijken meer op het 2002-model dan de lineaire 2020-modellen. Ook op basis van de 'spline'-modellen is de conclusie dat de 2002 BR-relaties afgeleid met behulp van gegevens rondom Schiphol geen adequate weergave meer zijn voor de huidige situatie rondom andere luchthavens. Het verdient aanbeveling om in de toekomst dit soort meer verfijnde technieken toe te passen in het schatten van blootstellings-respons relatie van vliegtuiggeluid en hinder respectievelijk slaapverstoring.

#### 4.3.3 *Co-determinanten (niet-akoestische factoren)*

Uit de wetenschappelijke literatuur is bekend dat naast akoestische factoren ook co-determinanten, zoals persoonlijke en contextuele factoren, van invloed kunnen zijn op de ervaren hinder en slaapverstoring. De variatie tussen de luchthavens kan waarschijnlijk voor een deel verklaard worden door co-determinanten. Binnen de huidige vorm van de GGD Gezondheidsmonitor is er niet uitgebreid gevraagd naar informatie over persoonlijke, sociale, situationele en contextuele factoren. Informatie is beschikbaar over enkele demografische factoren, maar we weten dat de bijdrage van deze minimaal is in vergelijking tot bijvoorbeeld geluidgevoeligheid van mensen, isolatie van de woning en houding ten opzichte van de luchthaven. Een overzicht van relevante co-determinanten staat in het rapport 'Kennisscan hinder door luchtvaartgeluid: Effecten van woningisolatie en niet-akoestische factoren'<sup>75</sup>. De GGD Gezondheidsmonitor is niet geschikt als onderzoeksinstrument om de invloed van deze factoren te onderzoeken. Het primaire doel van de Gezondheidsmonitor is anders dan het onderzoeken van de relatie tussen vliegtuiggeluid en hinder respectievelijk slaapverstoring. Vervolgonderzoek naar de invloed van verschillende co-determinanten kan meer inzicht geven om de gevonden variatie in BR-relatie tussen de luchthavens nader te verklaren. Naast co-determinanten is een deel van de variatie tussen luchthavens wellicht ook te verklaren door verschillen in akoestische parameters, zoals type vliegtuig, maximale geluidniveaus, frequenties en rustmomenten tussen vliegbewegingen. Dit zou in meer detail onderzocht kunnen worden, om zo verschillen tussen de verschillende luchthavens te verklaren.

<sup>75</sup> <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2019-0096.pdf>.



Daarnaast kan gekeken worden welke geluidindicator, aanvullend op  $L_{den}$  en  $L_{night}$ , bijvoorbeeld  $NA_x$ ,  $TA_x$  of  $L_{max}$ , de beste voorspeller is voor de ervaren hinder en slaapverstoring. Hiervoor zullen aanvullende analyses worden uitgevoerd.

#### 4.3.4 Gevoeligheidsanalyse

##### Overlap

Voor de keuze van het modelleergebied per luchthaven is een 'ernstige hinderdrempel' gebruikt. De keuze van de rekengebieden was een afweging tussen enerzijds het voorkomen van ernstige hinder in de buurten in de omgeving (ernstige hinder  $\geq 2,5$  procent) van de luchthavens én de mogelijkheid van het NLR om verantwoord berekeningen binnen het gebied te kunnen uitvoeren (zie Figuur 1, paragraaf 2.1.1). Hierdoor is voor sommige luchthavens een overlap tussen rekengebieden ontstaan. Hiervan is sprake bij Schiphol Airport en Lelystad Airport, Schiphol Airport en Rotterdam/The Hague Airport, Eindhoven Airport en vliegbasis Volkel en Maastricht/Aachen Airport en Vliegbasis Geilenkirchen (zie Figuur 2). Het verdient aanbeveling om de invloed hiervan op de verschillende BR-relaties nader te onderzoeken via een sensitiviteitsanalyse. Daarbij worden de overlappende gebieden beurteling wel en niet opgenomen in de analyse van de blootstellings-respons relatie. De mate van afwijking is een indicatie voor de grootte van de invloed op de BR-relaties van deze overlap gebieden.

##### Afkap

Voor de analyse van de BR-relaties is de volledige ranges van geluidwaarden gebruikt, zoals die voor een modelleergebied zijn berekend. Nog niet zolang geleden was het gebruikelijk om BR-relaties te laten beginnen bij 40 dB  $L_{den}$ . Al langer is duidelijk dat ook beneden 40 dB  $L_{den}$  ernstige hinder voorkomt onder inwoners van de invloedssfeer van een luchthaven. Het is aan te bevelen na te gaan wat de invloed is op de analyse van BR-relaties van het gebruik van een afkappunt op de ligging van de curve.

## 4.4 Conclusies en aanbevelingen

Het onderzoek toont aan dat de blootstelling-respons relatie voor Schiphol uit 2002 geen adequate beschrijving meer is voor de huidige relatie tussen vliegtuiggeluid en hinder en slaapverstoring rond Schiphol. Bij gelijke geluidniveaus is het aandeel bewoners dat ernstige hinder ervaart in 2020 groter dan in 2002. Hetzelfde geldt voor slaapverstoring.

*Dit geldt zowel voor de resultaten van de lineaire modellen als voor de 'spline'-modellen. De BR-relaties van de luchthavens Eindhoven en Maastricht-Geilenkirchen vormen hierop een uitzondering<sup>76</sup>.*

Uit het onderzoek blijkt ook dat de blootstelling-respons relatie voor Schiphol uit 2002 ook geen adequate beschrijving is voor regionale luchthavens. Ook hier geldt dat bij gelijke geluidniveaus het aandeel bewoners dat ernstige hinder en slaapverstoring ervaart in 2020 groter is dan in 2002.

<sup>76</sup> Mogelijke verklaringen: er wordt met onderzoek vergeleken waarin mogelijk niet goed is gecorrigeerd voor selectieve non-response (Eindhoven) of dat er sprake was van belangrijke situationele factoren (bomenkap in het Nederlandse deel rond vliegbasis Geilenkirchen bomenkap).

*Hierbij lijkt elke van de regionale luchthavens een luchthaven-specifieke blootstellings-respons relatie te hebben, mogelijk door lokale verschillen in zowel de geluidbelasting als ervaren hinder per regio. Het is aan te bevelen om de blootstelling-respons relaties per luchthaven afzonderlijk te bepalen, in plaats van bijvoorbeeld de internationale WHO BR-relatie uit 2018 of de BR-relatie die is afgeleid voor de luchthaven Schiphol in 2002 te gebruiken. Het verklaren van verschillen tussen de BR-relaties was geen onderdeel van dit onderzoek. Verklaringen kunnen waarschijnlijk enerzijds gezocht worden in akoestische factoren, waarbij in meer detail gekeken kan worden naar andere geluidindicatoren, zoals piekniveaus en aantal events. Anderzijds kunnen co-determinanten mogelijk een deel van de gevonden variatie verklaren.*

De Gezondheidsmonitor biedt, met enkele aanpassing in de uitvoering, een goede manier om op basis van bestaande methoden periodiek blootstelling-respons voor vliegtuiggeluid en hinder/slaapverstoring af te leiden. Voor onderzoek naar co-determinanten (niet-akoestische factoren) om zo mogelijke verschillen in BR-relaties te onderzoeken is de Gezondheidsmonitor niet geschikt.

Dit keer is ook een andere methode ('spline-methode') gebruikt om een BR-relatie te maken. Deze methode is ingewikkelder om uit te voeren maar laat de relatie tussen de blootstelling en ervaren ernstige hinder preciezer zien.

Het RIVM beveelt aan vaker BR-relaties rondom luchthavens te updaten. Een eerstvolgende update zou uitgevoerd kunnen worden met de Gezondheidsmonitor 2024. Daarnaast beveelt het RIVM aan om voor elke luchthaven een luchthaven-specifieke BR-relatie te gebruiken en deze in de toekomst met de 'spline-methode' te bepalen.

## Afkortingen

AWACS	Airborne Warning And Control System
B	Geluidbelasting met eenheid Ke, wordt tegenwoordig enkel gebruikt voor militaire luchthavens.
BI:	Betrouwbaarheidsinterval
BAG	Basisregistratie Adressen en Gebouwen
BR-relatie	Blootstellings-respons-relatie. 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
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
GM	Gezondheidsmonitor
ICAO	International Civil Aviation Organisation
ISO	International Organization for Standardization
Hinder	Hinder is een gevoel van afkeer, boosheid, onbehagen, onvoldaanheid of gekwetstheid, dat optreedt wanneer een milieufactor iemands gedachten, gevoelens of activiteiten negatief beïnvloedt. Er bestaan verschillende methoden om te bepalen hoeveel mensen er op een bepaalde locatie geluidhinder ervaren. Met vragenlijsten kan het percentage gehinderden worden gemeten. Daarnaast kan het percentage gehinderden worden berekend met de geluidblootstelling en een BR-relatie.
Ke	Kosteneenheid, eenheid van B.
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
L <sub>den</sub>	Level-day-evening-night. Jaargemiddelde maat voor geluid in het gehele etmaal, met een weging naar dag, avond en nacht.
L <sub>night</sub>	Jaargemiddelde maat voor geluid in de nacht
NAVO	Noord-Atlantische Verdragsorganisatie
NA <sub>x</sub>	aantal vliegbewegingen boven een bepaalde dB(A) waarde (x)
NLR	Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
NRM	Nederlands Reken Model
PAMV	Programmatische Aanpak Meten Vlieggeluid
RIVM	Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieu
TA <sub>x</sub>	tijdsduur van vliegbeweging boven bepaalde dB(A) waarde x.
WHO	World Health Organization (Wereld Gezondheid Organisatie)

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

januari 2023

De zorg voor morgen  
begint vandaag