



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

Hinder en slaapverstoring door **trillingen** van treinen

Resultaten van de Vervolgmeting “Wonen langs het spoor”

Hinder en slaapverstoring door trillingen van treinen

Resultaten van de Vervolgmeting “Wonen langs het spoor”

RIVM-rapport 2023-0327

Colofon

© RIVM 2023

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

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

DOI 10.21945/RIVM-2023-0327

E. van Kempen (auteur), RIVM
J. Hoekstra (auteur), RIVM
S. Simon (auteur), RIVM
A. Kok (auteur), RIVM
J. van de Kasstele (auteur), RIVM
H. van Wijnen (auteur), RIVM

Contact:

Elise van Kempen
Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid\Milieukwaliteit en Gezondheid
Elise.van.Kempen@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Directoraat Generaal Milieu en Internationaal, Directie Duurzame Leefomgeving en Circulaire Economie in het kader van Deelproject "Effecten van trillingen" van het Expertisecentrum Geluid (ECG)

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

Publiekssamenvatting

Hinder en slaapverstoring door trillingen van treinen

Resultaten van de Vervolgmeting "Wonen langs het spoor"

In 2021 had ongeveer 11 procent van de Nederlanders van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter afstand van het spoor wonen, ernstige hinder van trillingen door treinen. Het gaat naar schatting om 126.500 mensen. Zij hebben last van irritatie, boosheid en onbehagen. 's Nachts kunnen deze trillingen hun slaap ernstig verstoren (13 procent). Vooral de trillingen van goederentreinen veroorzaken hinder en slaapverstoring. Gebieden in de buurt van tunnels, spoorbruggen en sporen die naast elkaar liggen, zijn in deze schatting niet meegenomen.

Dit blijkt uit een vragenlijstonderzoek onder ruim 5600 mensen. In het onderzoeksgebied wonen ongeveer ruim 1,1 miljoen mensen, verdeeld over ongeveer 533.000 woningen.

Verder rapporteren mensen die aan hogere trillingsniveaus blootstaan of dicht bij het spoor wonen, vaker ernstige hinder door trillingen van goederentreinen. Dit verband tussen trillingsniveaus, afstand en ervaren hinder is veel minder duidelijk voor reizigerstreinen.

Naast de trillingen hebben sociale en persoonlijke factoren invloed op de mate waarin mensen hinder ervaren of in hun slaap worden gestoord. Mensen zijn vooral bezorgd dat de waarde van de woning daalt door de trillingen of dat deze schade aan de woning veroorzaken.

Hun beleving wordt ook beïnvloed als zij ramen, deuren of serviesgoed horen, voelen of zien trillen ("*rattle*"). Daarnaast is de mate waarin zij accepteren dat treinen trillingen veroorzaken van invloed, en welke verwachtingen zij voor de toekomst over de trillingen hebben. Het RIVM beveelt daarom aan bij toekomstig beleid over trillingen door treinen met sociale en persoonlijke factoren rekening te houden. Voor geluid van treinverkeer bestaat wetgeving, voor trillingen door treinen niet of nauwelijks. De resultaten van dit onderzoek geven hier input voor.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW). Het is een vervolg op een onderzoek uit 2013 en bevestigt veel van de eerdere resultaten. Voor het nieuwe onderzoek is een model gebruikt dat beter de blootstelling aan trillingen kan inschatten.

Kernwoorden: trillingen, treinen, goederentreinen, reizigerstreinen, blootstellingsrespons-relatie, blootstellingsmaat, geluid, co-determinanten, hinder, slaapverstoring, regelgeving

Synopsis

Annoyance and sleep disturbance caused by vibrations from passing trains

Outcomes of the follow-up survey *Wonen langs het spoor* (Living along the railroad track)

In 2021, around 11 per cent of Dutch people aged 16 and over who lived within 300 metres of a railway line experienced severe annoyance due to vibrations from passing trains. This amounts to an estimated 126,500 people. Among the complaints they reported were irritability, anger and a sense of unease. Areas in the vicinity of tunnels, railway bridges and parallel tracks were excluded from this estimation. Furthermore, 13 per cent experienced severe sleep disturbance due to vibrations from passing trains. The annoyance and sleep disturbance were mainly due to vibrations from passing freight trains.

The above describes the outcomes of a survey among more than 5,600 people. In the study area circa 533,000 residential addresses are located with more than 1.1 million residents.

People who are exposed to higher vibration levels or live closer to railway lines reported severe annoyance caused by vibrations from passing freight trains more often. For vibrations from passing passenger trains, the association between vibration levels or distance and annoyance was much less obvious.

In addition to the vibrations themselves, there are social and personal factors that affect the extent to which people experience annoyance or sleep disturbance. The main concern that people have is that the vibrations may devalue or damage their home.

Other factors that influence their experience include hearing, feeling or seeing the rattling of windows, doors or crockery ("*rattle*"). The extent to which they accept that trains cause vibrations and the expectations that they have about future vibrations also play a role. As a result, RIVM recommends taking all these factors into account when making future policy regarding vibrations caused by trains. While there are several laws that regulate noise from trains, there are few to none when it comes to vibrations from trains. The outcomes of this survey may serve as input for legislation in this area.

This survey was commissioned by the Ministry of Infrastructure and Water Management. It followed up on a survey from 2013 and confirmed many of the earlier outcomes. The latest survey was based on a model that is better able to predict exposure to vibrations.

Keywords: vibrations, trains, freight trains, passenger trains, exposure-response relationship, exposure level, sound, co-determinants, annoyance, sleep disturbance, regulation

Inhoudsopgave

Samenvatting — 11

1 Inleiding — 25

- 1.1 Aanleiding — 25
- 1.2 Voorgeschiedenis — 26
- 1.3 Doel en vraagstellingen — 28
 - 1.3.1 Doel — 28
 - 1.3.2 Vraagstellingen — 29
- 1.4 Leeswijzer — 29

2 Stand van de kennis — 31

- 2.1 Hoe ontstaan trillingen veroorzaakt door treinen? — 31
- 2.2 De waarneming van trillingen — 31
- 2.3 Maten voor de blootstelling aan trillingen — 32
- 2.4 De invloed van frequentieweging — 33
- 2.5 De effecten van trillingen op de gezondheid — 34
 - 2.5.1 Hinder — 34
 - 2.5.2 Effecten op de slaap — 35
- 2.6 Andere effecten op de gezondheid — 36
- 2.7 Blootstelling-responsrelaties — 37
 - 2.7.1 Hinder — 38
 - 2.7.2 Slaapverstoring — 39
- 2.8 De rol van co-determinanten — 39

3 Onderzoeksopzet — 41

- 3.1 Design — 41
- 3.2 Steekproeftrekking — 41
 - 3.2.1 Deelnemers verkregen via een nieuwe steekproef (groep I) — 41
 - 3.2.2 Deelnemers die al een keer eerder hebben deelgenomen (groep II) — 42
- 3.3 Veldwerk — 44
- 3.4 De vragenlijst — 44
- 3.5 Non-responsonderzoek — 46
 - 3.5.1 Gevolgde procedure groep I — 46
 - 3.5.2 Gevolgde procedure groep II — 47
- 3.6 Blootstelling aan trillingen van treinen — 47
- 3.7 Blootstelling aan geluid van treinverkeer — 50
- 3.8 Fysieke en sociale kenmerken van de omgeving — 50
- 3.9 Gebruikte statistiek — 52
 - 3.9.1 Weging voor de wijze van steekproeftrekking — 52
 - 3.9.2 Bepaling van de meest geschikte blootstellingsmaat — 52
 - 3.9.3 Het afleiden van blootstelling-respons relaties — 53
 - 3.9.4 Bepaling van de invloed van co-determinanten: determinanten analyse — 55

4 Beschrijvende resultaten — 57

- 4.1 Respons hoofdonderzoek — 57
- 4.2 Respons non-responsonderzoek — 59
- 4.3 Algemene kenmerken deelnemers hoofdonderzoek — 60
- 4.4 Vergelijking deelnemers groep I met non-responders — 65

4.5	Vergelijking tussen deelnemers groep II en non-responders — 66
5	De prevalentie van zelfgerapporteerde hinder en slaapverstoring door spoortrillingen — 69
5.1	Zelf-gerapporteerde hinder door trillingen — 69
5.1.1	Hinder door trillingen van verschillende spoorbronnen — 70
5.2	Zelf-gerapporteerde slaapverstoring door trillingen — 71
5.2.1	Slaapverstoring door trillingen van verschillende spoorbronnen — 72
6	Blootstelling aan geluid en trillingen van railverkeer — 75
6.1	Blootstelling van de deelnemers aan spoortrillingen — 75
6.2	Blootstelling van de deelnemers aan geluid van railverkeer — 80
6.3	Onderlinge samenhang tussen de verschillende blootstellingsindicatoren — 81
6.4	Welke blootstellingsmaat voor spoortrillingen is het meest geschikt? — 83
6.4.1	Hinder — 83
6.4.2	Slaapverstoring — 85
7	De relatie tussen de blootstelling aan spoortrillingen en hinder en slaapverstoring — 87
7.1	Zelfgerapporteerde hinder — 87
7.2	Zelfgerapporteerde slaapverstoring — 93
7.3	Hoe verhouden de BR-relaties zich tot SBR en Bts? — 99
7.4	Vergelijking met de resultaten van de meting uit 2013 — 100
7.5	Vergelijking met de resultaten van andere studies — 102
7.5.1	De BR-relatie tussen afstand tot het spoor en ernstige hinder — 102
7.5.2	De BR-relatie tussen de blootstelling aan trillingen en ernstige hinder — 102
8	Determinanten van hinder en slaapverstoring door spoortrillingen — 105
8.1	De determinanten van ernstige hinder door spoortrillingen — 105
8.2	De determinanten van ernstige slaapverstoring door spoortrillingen — 111
9	Discussie — 119
9.1	Beantwoording onderzoeksvragen — 119
9.1.1	Wat is de omvang van ernstige hinder en ernstige slaapverstoring ten gevolge van de blootstelling aan trillingen van treinen in de Nederlandse bevolking? — 119
9.1.2	Welke blootstellingsmaat voor trillingen is het meest geschikt om hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinen te voorspellen? — 121
9.1.3	Welke blootstelling-respons relaties kunnen worden afgeleid voor (ernstige) hinder en (ernstige) slaapverstoring door trillingen van treinen en de blootstelling aan trillingen van treinen (reizigers- versus goederentreinen)? — 123
9.1.4	Wat is de invloed van fysieke, contextuele en persoonlijke factoren op ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer? — 125
9.2	Sterke en zwakke punten van de Vervolgmeting — 126
9.2.1	Sterke punten — 126
9.2.2	Zwakke punten — 128
9.3	Betekenis voor beleid: bruikbaarheid van de resultaten — 131

- 9.3.1 De keuze voor een blootstellingsmaat — 131
- 9.3.2 Toepassing van de BR-relaties: schatting van de omvang van het probleem — 132
- 9.3.3 De rol van co-determinanten — 133

10 Conclusies en aanbevelingen — 135

- 10.1 Conclusies — 135
- 10.2 Aanbevelingen — 137

11 Gebruikte referenties — 139

Verklarende woordenlijst en afkortingen — 149

Dankwoord — 153

Bijlage 1 Uitnodigingsbrief Groep I — 155

Bijlage 2 Uitnodigingsbrief groep II — 157

Bijlage 3 Vragenlijst Vervolgmeting Wonen langs het spoor — 159

Bijlage 4 Non-respons-vragenlijst — 174

Bijlage 5 Bepaling weegfactoren — 176

Bijlage 6 Untargeted Analysis — 180

Bijlage 7 Codering van de variabelen in de analyses — 189

Bijlage 8 Vergelijking BR-relaties met en zonder ISO-weging — 193

Bijlage 9 Formules van BR-relaties — 194

Samenvatting

Aanleiding

Nederland heeft een van de drukste sporen van Europa. Onder invloed van beleid dat er op gericht is de bereikbaarheid te verbeteren en de klimaatdoelstellingen van 2050 te behalen zal deze drukte naar verwachting alleen maar toenemen. Dit heeft niet alleen effect op de bestaande woningen, maar ook op de nog te bouwen woningen in de buurt van een spoorlijn.

Behalve geluid kan treinverkeer, net als andere transportmiddelen en installaties, ook trillingen in gebouwen veroorzaken. Voor geluid van treinverkeer is de bescherming van de omgeving vastgelegd in wetgeving; voor trillingen veroorzaakt door treinen is dat nog niet of nauwelijks het geval. Vanuit zowel maatschappij als politiek wordt al langer aandacht gevraagd voor beleid en regelgeving op het gebied van spoortrillingen.

Momenteel is de kennis over trillingen door treinen in relatie tot gezondheidseffecten nog beperkt. Om dit hiaat te dichten heeft het RIVM in 2013 het vragenlijstonderzoek "Wonen langs het spoor" uitgevoerd onder 4.927 personen van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor woonden. Doel was het geven van een landelijk beeld over hoe omwonenden langs het spoor reageren op trillingen van treinverkeer. Op basis van het vragenlijstonderzoek schatte het RIVM in 2013 dat ongeveer 20% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor woont ernstig is gehinderd door trillingen van treinverkeer. Goederentreinen bleken de meeste hinder te veroorzaken. Voor slaapverstoring werden vergelijkbare bevindingen gedaan. Op basis van de gegevens van het vragenlijstonderzoek heeft het RIVM blootstelling-responsrelaties (BR-relaties) afgeleid voor ernstige hinder en ernstige slaapverstoring in relatie tot blootstelling aan trillingen van treinverkeer.

Naar aanleiding van toezeggingen van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat in 2018 aan de Tweede Kamer, en als vervolg op de meting uit 2013, is het RIVM gevraagd om een nieuwe meting uit te voeren. Deze opdracht is vertaald in twee deelonderzoeken:

- a) een Herhaalmeting naar effecten van trillingen van treinen onder mensen die in 2013 hebben deelgenomen aan het onderzoek "Wonen langs het spoor", en
- b) een zogenaamde Vervolgmeting onder een nieuwe steekproef van mensen van 16 jaar en ouder, wonend op maximaal 300 meter van het spoor.

Het eerstgenoemde deelonderzoek (de Herhaalmeting) heeft in 2019 plaatsgevonden en is in 2021 gerapporteerd¹. Doel van dit onderzoek was om na te gaan hoe de reacties op trillingen van treinen, in termen van hinder, slaapverstoring en zelfgerapporteerde gezondheid zich

¹ Van Kamp en collega's Herhaalmeting "Wonen langs het spoor" Bilthoven: RIVM, 2021

hebben ontwikkeld in de periode 2013-2019 (monitoring). In het najaar van 2021 heeft het RIVM ten behoeve van het tweede deelonderzoek een nieuwe meting (hier verder aangeduid als de Vervolgmeting) uitgevoerd onder een nieuwe steekproef van mensen van 16 jaar en ouder, wonend binnen maximaal 300 meter van het spoor waarbij een vragenlijst over de effecten van trillingen van treinen is afgenomen. Ter aanvulling zijn ook personen uitgenodigd die mee hebben gedaan aan de Herhaalmeting uit 2019. Deze rapportage richt zich alleen op de Vervolgmeting.

Doel

Met de Vervolgmeting worden de volgende vragen beantwoord:

- a) Wat is de omvang van (ernstige) hinder en (ernstige) slaapverstoring ten gevolge van de blootstelling aan trillingen van treinen in de Nederlandse bevolking (prevalentie)?;
- b) Welke blootstellingsmaat voor trillingen is het meest geschikt om hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinen te voorspellen?;
- c) Welke blootstelling-respons relaties kunnen worden afgeleid voor (ernstige) hinder en (ernstige) slaapverstoring door trillingen van treinen en de blootstelling aan trillingen van treinen (reizigers versus goederen)?; en
- d) Wat is de invloed van fysieke, contextuele en persoonlijke factoren op ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer?

Daar waar mogelijk is steeds zoveel mogelijk een vergelijking gemaakt met de meting uit 2013. Omdat de resultaten van de Herhaalmeting niet geschikt zijn om uitspraken te doen over de situatie in Nederland, is in deze rapportage *geen* vergelijking gemaakt met de resultaten van de Herhaalmeting uit 2019.

Wat is onderzocht?

Om antwoord te geven op de vraagstellingen hebben we een dwarsdoorsnede onderzoek uitgevoerd, waarbij we gebruik hebben gemaakt van een online vragenlijst. Daarbij is de blootstelling aan trillingen afkomstig van treinverkeer geschat met behulp van het OURS-rekenmodel². Net als in 2013, hebben we ook nu een non-responsonderzoek uitgevoerd.

Deelnemers

Voor het hoofdonderzoek hebben we in totaal 17.189 personen uitgenodigd. Deze waren verdeeld over twee groepen:

Groep I: Dit betreft een representatieve steekproef van 16.000 personen van 16 jaar en ouder die binnen maximaal 300 meter van het spoor wonen. Daartoe hebben we een selectie gemaakt van alle adressen (i) die binnen 300 meter van een spoorlijn liggen waarover een trein rijdt, en (ii) met een woonbestemming. In totaal ging het om ruim

² OURS staat voor Ontwikkeling Uniform Rekenmodel Spoortrillingen. Met behulp van dit model, ontwikkeld in opdracht van I&W, kunnen te verwachten trillingsniveaus worden berekend (Kok en collega's. Gebruik rekenmodel spoortrillingen. Bilthoven: RIVM, 2020).

848.000 adressen. Vervolgens hebben we de volgende adressen verwijderd:

- a) alle adressen verwijderd waarvan op voorhand werd ingeschat dat er een kans bestond dat niet goed mogelijk zou zijn om de blootstelling aan spoortrillingen op een betrouwbare wijze te schatten met behulp van het OURS-model. Het ging daarbij om alle adressen in de buurt van spoorbruggen, tunnelbakken en grote stations met veel parallelle sporen;
- b) en alle adressen waar van de bewoners in 2013 al waren uitgenodigd voor het onderzoek³. Uit de resterende 532.730 adressen hebben we, net als bij het onderzoek uit 2013, een steekproef van 16.000 adressen getrokken. Daarbij is gestratificeerd naar afstand en bouwjaar.

Groep II: Dit betreft 1.189 deelnemers die mee hebben gedaan aan de herhaalmeting uit 2019 en ons toestemming hebben gegeven om hen nogmaals te benaderen.

De vragenlijst

Met behulp van een online-vragenlijst hebben we informatie verzameld over zowel de waarneming van trillingen door treinverkeer, de effecten van trillingen als over de mogelijke determinanten daarvan. De vragen zijn grotendeels afgeleid uit de vragenlijst die in 2013 is gebruikt. De vragenlijst is afgenomen in de periode september-november 2021.

Blootstelling aan trillingen van treinverkeer

Voor de adressen van alle deelnemers aan deze Vervolgmeting hebben we de blootstelling aan trillingen afkomstig van treinverkeer geschat met behulp van het OURS-rekenmodel (versie 2.1) en gegevens over snelheden en intensiteiten uit 2019 en spoorligging uit 2021. Met behulp van het OURS-model is voor elke deelnemer aan de Vervolgmeting de blootstelling aan trillingen van treinen aan de hand van verschillende maten uitgedrukt. Een maat die iets zegt over de maximale blootstelling: de $V_{\max}$ ⁴, en twee maten die iets zeggen over de gemiddelde blootstelling: de V_{per} ⁵ en RMS⁶. Bij de berekening werd onderscheid gemaakt tussen verschillende treintypen (treinverkeer, goederentreinen en reizigerstreinen), en verschillende etmaalperiodes (dag, avond, nacht of etmaal). De gevoeligheid van het menselijk lichaam voor trillingen is niet alleen afhankelijk van de trillingssterkte, maar ook van de frequentie en de richting van de trillingen. Met andere woorden, bij eenzelfde trillingssterkte kunnen de frequentie en de richting van de trillingen er voor zorgen dat een trilling juist sterker of minder sterk wordt ervaren. Om daar rekening mee te houden, kunnen de bijdragen van trillingen met een verschillend frequentiebereik en richting anders worden gewogen. Een veelgebruikte methode is vastgelegd in de ISO-2631. Ten behoeve van de Vervolgmeting zijn alle

³ Van Kamp en collega's. Wonen langs het spoor. Gezondheidseffecten van trillingen door treinen. Bilthoven: RIVM, 2015.

⁴ $V_{\max}$ is de hoogste effectieve trillingssterkte tijdens de beoordelings-periode, waarbij 2% van de treinen met hoogste trillingsniveaus niet zijn meegeteld, aangezien ze als uitschieters worden gezien.

⁵ De V_{per} is de gemiddelde trillingssterkte gedurende de blootstellingsperiode, gewogen naar de duur van de blootstelling.

⁶ De RMS ofwel frequentie-gewogen 'Root-mean-square' is een blootstellingsmaat (vaak een gemiddelde) voor trillingen over langere periodes of om de omvang van trillingsgebeurtenissen uit te drukken.

trillingssterktes berekend met *én* zonder richtingsafhankelijke frequentieweging volgens ISO-2631. Daarnaast is voor elke deelnemer de afstand berekend tussen de dichtstbijzijnde gevel van de woning en het spoor.

Blootstelling aan geluid van railverkeer en andere fysieke omgevingskenmerken

Ook hebben we voor elke deelnemer de blootstelling aan geluid van railverkeer berekend. Deze werd berekend volgens de standaard rekenmethode II van het Reken- en Meetvoorschrift geluid, uitgedrukt als jaargemiddelde L_{den} en L_{night} , en is geldig voor de hoogst belaste gevel. Daarbij is gebruik gemaakt van de snelheden en intensiteiten van 2019.

Ten slotte zijn verschillende fysieke en sociale omgevingskenmerken aan de adressen van de deelnemers gekoppeld. Het gaat hier bijvoorbeeld om de mate van stedelijkheid.

Het non-responsonderzoek

De deelname aan een vragenlijstonderzoek kan beïnvloed worden door factoren die rechtstreeks samenhangen met het onderwerp van de studie. Het non-responsonderzoek bestond uit twee onderdelen:

- a) Uit de adressen van de personen uit groep I die geen vragenlijst ten behoeve van de Vervolgmeting hadden ingevuld, is een *willekeurige* steekproef getrokken. Naar deze adressen hebben we een uitnodiging gestuurd voor deelname aan het non-responsonderzoek. Dit betrof een korte online vragenlijst (acht vragen). Om na te gaan of er mogelijk sprake is geweest van selectieve non-respons, hebben we de deelnemers aan het non-responsonderzoek vergeleken met de deelnemers van groep I die wel de vragenlijst ten behoeve van de Vervolgmeting hadden ingevuld.
- b) Over de deelnemers uit groep II hadden we zowel in 2013 als in 2019 al informatie verzameld. Ten behoeve het non-responsonderzoek is daarom met behulp van al in 2013 en 2019 verzamelde informatie een vergelijking gemaakt tussen personen uit groep II die de vragenlijst ten behoeve van de Vervolgmeting hadden ingevuld en de personen uit groep II die dit niet hadden gedaan.

Respons

Het totaal aantal geretourneerde vragenlijsten bedroeg 5.611. Dit is 33,0% van de bruikbare steekproef. De respons in groep I was 30,2%. Dit is iets lager maar vergelijkbaar met de 32% die in 2013 was behaald tijdens het vergelijkbare vragenlijstonderzoek. De respons in groep II was 69,1%.

Uit vergelijkingen tussen groepen deelnemers en niet-deelnemers blijkt dat er mogelijk sprake is geweest van onbedoelde selectie: Zo bleek namelijk dat de hinderscore onder de deelnemers hoger is dan in de groep non-respondenten. Daardoor zijn de deelnemers niet helemaal representatief voor de totale steekproef, met een mogelijke lichte vertekening van de resultaten tot gevolg.

Beantwoording van de vragen aan de hand van de belangrijkste bevindingen

In het onderzoeksgebied van de Vervolgmeting wonen naar schatting ruim 1,1 miljoen mensen, verdeeld over ongeveer 533.000 woningen. Hierbij zijn gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd.

Wat is de omvang van ernstige hinder door de blootstelling aan trillingen van treinen in Nederland?

Op basis van het vragenlijstonderzoek van de Vervolgmeting hebben we geschat dat ongeveer 11% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter afstand van een spoorlijn woont, ernstig wordt gehinderd door trillingen van railverkeer. Hierbij zijn gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd. Het gaat naar schatting om 126.500 personen.

Wanneer we kijken naar de verschillende treintypen, dan blijkt dat trillingen veroorzaakt door goederentreinen nog steeds verreweg de meeste hinder veroorzaken: Op basis van het vragenlijstonderzoek van de Vervolgmeting is geschat dat in 2021 ongeveer 22,6% van de Nederlandse bevolking, die binnen 300 meter afstand van een spoorlijn woont, ernstig wordt gehinderd door trillingen van goederentreinen. Hierbij zijn gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd. Het percentage ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen wordt geschat op 8% en is laag in vergelijking met ernstige hinder door trillingen van goederentreinen.

De resultaten van de Vervolgmeting zijn een bevestiging van de resultaten van het onderzoek uit 2013: Ook in 2013 veroorzaakten goederentreinen verreweg de meeste hinder; de prevalentie werd destijds geschat op 22,7%. En net als bij de Vervolgmeting, was de prevalentie van ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen in 2013 laag in vergelijking met de prevalentie van ernstige hinder door goederentreinen. Het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen werd destijds geschat op 3%.

Met betrekking tot de hoeveelheid hinder door trillingen van andere bronnen is er een verschil tussen de resultaten van de Vervolgmeting en het onderzoek uit 2013. In tegenstelling tot de situatie in 2013, is namelijk uit de Vervolgmeting gebleken dat railverkeer in 2021 niet langer meer de belangrijkste hinderbron van trillingen is onder de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend binnen 300 meter van een spoorlijn. In 2021 veroorzaken trillingen door wegverkeer en bouwactiviteiten de meeste hinder onder de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor woont.

Wat is de omvang van ernstige slaapverstoring ten gevolge van de blootstelling aan trillingen van treinen in Nederland?

Op basis van de resultaten van Vervolgmeting is geschat dat in 2021 ongeveer 13% van de personen van 16 jaar en ouder die in Nederland binnen 300 meter van een spoorlijn wonen ernstig wordt slaapverstoord

door trillingen van railverkeer. Hierbij zijn gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd.

Railverkeer is de belangrijkste bron van slaapverstoring door trillingen onder de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend binnen 300 meter van een spoorlijn. Dit is dus in tegenstelling met de bevindingen bij ernstige hinder, waar wegverkeer de belangrijkste bron was.

Wanneer we kijken naar de verschillende treintypen, dan blijkt dat trillingen door goederentreinen de meeste slaapverstoring veroorzaakt. Op basis van het vragenlijstonderzoek van de Vervolmeting is geschat dat in 2021 ruim 18% van de Nederlandse bevolking die binnen 300 meter afstand van een spoorlijn woont, ernstig wordt slaapverstoord door trillingen van goederentreinen. Het percentage ernstige slaapverstoring ten gevolge van trillingen van reizigerstreinen wordt geschat op 6% en is laag in vergelijking met ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen.

De resultaten van de Vervolmeting zijn een bevestiging van de resultaten van het onderzoek uit 2013: ook in 2013 veroorzaakten goederentreinen verreweg de meeste slaapverstoring. Het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen werd destijds geschat op ruim 16%. En net als bij de Vervolmeting, was de prevalentie van ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen in 2013 in vergelijking met de prevalentie van ernstige slaapverstoring door goederentreinen laag. De prevalentie van ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen werd destijds geschat op ruim 3,5%.

Welke blootstellingsmaat voor trillingen is het meest geschikt om hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinen te voorspellen?

Om te bepalen welke van de verschillende blootstellingsmaten het beste de hinder en slaapverstoring door spoortrillingen voorspelt, hebben we een aantal zaken onderzocht:

- a. Er is getest welk model met de onderliggende data de hinder en/of slaapverstoring het beste kan voorspellen. Hiervoor is gekeken naar de fit (hoe goed sluit het model aan op de onderliggende data) en de nauwkeurigheid (hoe precies zijn de voorspellingen van het model).
- b. Ook is er gekeken naar de onderlinge correlaties tussen de verschillende blootstellingsmaten.

Het blijkt dat er een sterke correlatie is tussen de verschillende onderzochte maten (V_{per} , V_{max} , RMS en afstand) waarmee de blootstelling aan spoortrillingen kan worden uitgedrukt. Ook wat betreft nauwkeurigheid waren de verschillen tussen de onderzochte maten klein. Dit betekent dat een voorspelling van het percentage ernstige hinder of slaapverstoring op basis van een van de geteste blootstellingsindicatoren (bijvoorbeeld de V_{max}), ongeveer even

nauwkeurig is als de voorspelling gebaseerd op een andere blootstellingsindicator.

Wanneer we kijken naar welk model het beste aansluit op de onderliggende data (de fit van het model), zien we wel een aantal verschillen: Zo bleken de modellen gebaseerd op blootstellingsmaten *zonder* ISO-weging een betere fit te geven met de onderliggende data dan de modellen met blootstellingsmaten *met* ISO-weging. Sterker nog, de ISO-weging lijkt er voor te zorgen dat de waarden minder voorspellend worden.

Bij zowel ernstige hinder als slaapverstoring zijn de verschillen in fit tussen $V_{\max}$, V_{per} en RMS (alle *zonder* ISO-weging) klein. Alleen bij ernstige hinder door trillingen van goederentreinen doet de afstand tot het spoor het wat betreft fit een stuk beter dan de andere onderzochte maten. Maar daarbij is het wel opmerkelijk dat de nauwkeurigheid minder sterk is.

Op basis van de resultaten van de Vervolgmeting komt er geen maat voor de blootstelling aan spoortrillingen naar voren die duidelijk de voorkeur verdient.

Welke blootstelling-respons relaties kunnen worden afgeleid voor (ernstige) hinder en (ernstige) slaapverstoring door trillingen van treinen en de blootstelling aan trillingen van treinen (reizigers- versus goederentreinen)?

Voor zowel totaal railverkeer als goederentreinen is er een duidelijke relatie gevonden tussen de door OURS berekende trilling sterkte (uitgedrukt als $V_{\max}$, RMS of V_{per}) en het percentage ernstige hinder door trillingen van deze treintypen. Uit de analyses bleek dat het percentage ernstige hinder door trillingen van totaal railverkeer en/of goederentreinen toeneemt naarmate de blootstelling aan trillingen groter wordt. Voor reizigerstreinen waren deze relaties een stuk minder duidelijk.

Ook werden er relaties gevonden tussen de door OURS berekende trillingssterkte (uitgedrukt als $V_{\max}$, $\text{RMS}_{\text{nacht}}$ of $V_{\text{per,nacht}}$) en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van zowel railverkeer als goederentreinen. Net als bij hinder, waren deze relaties voor goederentreinen het sterkst. De BR-relaties tussen de blootstelling aan trillingen door reizigerstreinen en ernstige slaapverstoring waren zwak.

De relatie tussen blootstelling en respons is niet altijd lineair. Wanneer voor het afleiden van de BR-relatie een methode wordt gebruikt die alleen maar lineaire relaties kan beschrijven, kan dit resulteren in onbetrouwbare BR-relaties. Daarom hebben we in onze analyses twee verschillende soorten modellen gebruikt: continue en categorische modellen. Met behulp van de categorische modellen kunnen ook non-lineaire verbanden tussen de blootstelling en respons worden onderzocht; met de lineaire modellen kan dit niet. Uit de analyses bleek dat het uitmaakt welke methode gebruikt wordt voor het afleiden van de BR-relaties. In de meeste gevallen bleek dat het categorische model de ernstige hinder en/of slaapverstoring door spoortrillingen beter kon voorspellen dan het lineaire model. Ook bleek dat de BR-relaties van

continue en categorische modellen van elkaar verschilden, met name in het hogere bereik van de blootstelling. Dit suggereert dat er geen lineaire relatie is tussen blootstelling aan spoortrillingen en ernstige hinder en/of slaapverstoring door spoortrillingen.

Om de resultaten van de Vervolgmeting zo goed mogelijk te kunnen vergelijken met die van de meting uit 2013, is de blootstelling van de deelnemers aan het onderzoek uit 2013 aan trillingen van treinen met terugwerkende kracht opnieuw geschat met het OURS-model. De blootstelling van de deelnemers uit 2013 was destijds geschat met behulp van het SRM-t-model. Op basis van de nieuwe blootstellingen zijn vervolgens nieuwe BR-relaties voor 2013 geschat. Uit de vergelijking van de BR-relaties voor 2013 en 2021 blijkt dat bij gelijke maximale trillingsniveaus, de kans op ernstige hinder door trillingen van railverkeer in 2021 lager is dan in 2013. Wanneer de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van de RMS of de V_{per} zien we een vergelijkbaar beeld.

Bij ernstige slaapverstoring is het beeld anders: uit de vergelijking van de BR-relaties tussen de maximale blootstelling aan trillingen van totaal railverkeer en ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer voor 2013 en 2021 bleek dat bij gelijke maximale trillingsniveaus de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer in 2021 *hoger* is dan in 2013. Wanneer de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van de RMS zien we een vergelijkbaar beeld.

Wat is de invloed van fysieke, contextuele en persoonlijke factoren op ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer?

Uit de analyses is gebleken dat, naast de blootstelling aan spoortrillingen, vooral de hinder en slaapverstoring die mensen door het *geluid* van de treinen ervaren, van invloed blijkt te zijn op de gerapporteerde hoeveelheid hinder en slaapverstoring door spoortrillingen. Daarnaast spelen sociale en persoonlijke factoren een belangrijke rol. Het gaat dan met name om bezorgdheid over waardedaling van de woning en/of schade aan de woning, het horen, voelen of zien trillen van ramen, deuren of serviesgoed horen ("rattle"), acceptatie van trillingen door treinen en de verwachtingen over de trillingen van de treinen.

Sociaal-demografische factoren zoals leeftijd, geslacht, opleiding en stedelijkheid bleken nauwelijks van invloed te zijn op de gerapporteerde hinder en slaapverstoring door trillingen van de verschillende treintypen. Wat betreft stedelijkheid blijkt deze alleen van invloed te zijn op de gerapporteerde hoeveelheid ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer.

Ook de blootstelling aan geluid van railverkeer (L_{den} of L_{night}) bleek met ernstige hinder door spoortrillingen te zijn geassocieerd. Dit was echter alleen het geval wanneer er geen rekening wordt gehouden met ernstige hinder door het geluid van treinen. Voor ernstige slaapverstoring door spoortrillingen werden vergelijkbare bevindingen gedaan.

Specifiek voor ernstige slaapverstoring door spoortrillingen maakt het uit of de ramen in de zomer en/of de winter openstaan of niet.

Kanttekeningen

Er kan een aantal belangrijke kanttekeningen worden gemaakt bij de resultaten van dit onderzoek.

Het extra onderzoek dat is uitgevoerd onder non-respondenten heeft aangetoond dat de (non-) respons niet willekeurig is. Zo bleek namelijk dat de hinderscore onder de deelnemers hoger is dan in de groep non-respondenten. De deelnemers zijn daardoor niet helemaal representatief zijn voor de totale steekproef, met een mogelijke lichte vertekening van de resultaten tot gevolg. Het kleine aantal deelnemers dat bereikt is in het non-responsonderzoek (19%) maakt het helaas niet mogelijk om op verantwoorde wijze de invloed van selectieve non-respons op het gerapporteerde percentage ernstige hinder in de Vervolgmeting te kwantificeren.

De Vervolgmeting is in het najaar van 2021 uitgevoerd tijdens de Covid-19-pandemie. Tijdens de pandemie is er door de overheid een groot aantal maatregelen genomen die waren bedoeld om de verspreiding van het coronavirus tegen te gaan. Dit had vooral in 2020 gevolgen voor de dienstregeling van reizigerstreinen en het aantal goederentreinen dat over de verschillende trajecten en baanvlakken reed. Vanaf de versoepelingen eind april 2021 is de Nederlandse Spoorwegen (NS) echter weer gaan opschalen totdat eind augustus 2021 alle treinen reden. Ook het spoorgoederenvervoer heeft zich in 2021 goed hersteld. We denken dan ook dat de trillingsniveaus door treinverkeer tijdens de uitvoering van het onderzoek door de Covid-19-pandemie nauwelijks zijn veranderd. Uit de resultaten bleek bovendien dat een groot deel van deelnemers aan de Vervolgmeting dit ook zo heeft ervaren: Het overgrote deel geeft namelijk aan te hebben ervaren dat zowel trillingen als geluid door treinen niet zijn veranderd ten gevolge van de Coronapandemie.

Onder invloed van de pandemie waren mensen echter meer aangewezen op hun directe leefomgeving: ze werkten niet alleen vaker thuis, maar maakten ook vaker gebruik van bijvoorbeeld parken en pleinen in de buurt van hun woning. Doordat mensen vaker thuis moesten werken, reisden ze ook minder vaak met de trein. Deze ontwikkelingen zijn mogelijk van invloed geweest op de hoeveelheid gerapporteerde hinder en slaapverstoring: Uit landelijk belevingsonderzoek is gebleken dat mensen tijdens de Covid-19-pandemie gehinderd werden door geluid en trillingen van andere bronnen dan in de periode voorafgaand aan de pandemie. Dit lijkt ook het geval te zijn geweest bij de Vervolgmeting, waar we zagen dat treinverkeer in 2021 niet meer de belangrijkste hinderbron van trillingen is onder de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend binnen 300 meter van een spoorlijn. In 2021 veroorzaken trillingen door wegverkeer en bouwactiviteiten de meeste hinder onder de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend binnen 300 meter van het spoor.

Omdat de Covid-19-pandemie voor en tijdens de veldwerkperiode van de Vervolgmeting speelde, zou er dus mogelijk sprake kunnen zijn van een zogenaamde verandersituatie. Uit onderzoek naar de relatie tussen geluid en hinder weten we dat mensen bij veranderingen in omgevingsgeluid vaak een sterkere of juist een minder sterke reactie vertonen dan op basis van de dan geldende BR-relaties wordt verwacht. Het was niet mogelijk om te onderzoeken in welke mate de Covid-19-pandemie de relatie tussen de blootstelling aan trillingen en ernstige hinder of slaapverstoring door trillingen van treinen heeft beïnvloed.

Daarnaast kunnen de resultaten van de Vervolgmeting niet helemaal worden vergeleken met de resultaten van de meting uit 2013. Ten behoeve van de Vervolgmeting zijn adressen in de buurt van spoorbruggen, tunnelbakken, en stations met veel parallelle sporen werden uitgesloten van deelname; bij de meting uit 2013 is dit niet gebeurd. Met behulp van een analyse hebben we geprobeerd na te gaan in hoeverre dit verschil in steekproeftrekking de voor 2013 gerapporteerde prevalentie van ernstige hinder door trillingen van railverkeer heeft beïnvloed. Uit die analyse blijkt dat de invloed waarschijnlijk beperkt is. Wel weten we dat de adressen van de deelnemers aan het onderzoek uit 2013 die buiten de uitsluitingsgebieden vallen, gemiddeld dichter bij het spoor liggen dan de adressen van de deelnemers die in de uitsluitingsgebieden liggen. We verwachten dan ook dat de blootstelling aan trillingen van deze deelnemers wat hoger is dan de blootstelling van de deelnemers wiens adres wel in een uitsluitingsgebied ligt. Op basis daarvan is te verwachten dat de BR-relaties die zijn afgeleid met behulp van de onderzoeksgegevens uit 2013 na exclusie van deelnemers uit de uitsluitingsgebieden mogelijk iets steiler zullen verlopen.

De blootstelling van de deelnemers aan de Vervolgmeting aan spoortrillingen is geschat met behulp van het OURS-model. Ten opzichte van het SRM-t-model, dat is gebruikt tijdens het onderzoek uit 2013, is het OURS-model beter in staat om de blootstelling aan spoortrillingen in te schatten. Gebleken is dat de trillingsniveaus die worden geschat met behulp van het OURS-model beter lijken te corresponderen met het bereik van meetwaarden. Bijkomend voordeel van dit model was, dat het in staat was om meer blootstellingsparameters te berekenen. Een goed voorbeeld daarvan is het bepalen van blootstellingsindicatoren met en zonder ISO-2631-weging. Daarnaast was het OURS-model in staat om de gemiddelde blootstelling (uitgedrukt als V_{per} of RMS) te schatten voor verschillende periodes van de dag. Met het SRM-t-model was dit niet mogelijk.

Conclusies

Op basis van de Vervolgmeting is geschat dat ongeveer 11% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend binnen 300 meter afstand van een spoorlijn (met uitzondering van gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen), ernstig worden gehinderd door trillingen van railverkeer. Het gaat naar schatting om 126.500 personen. Het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer wordt op bijna 13% geschat.

De meeste hinder en slaapverstoring wordt veroorzaakt door goederentreinen, en in mindere mate door reizigerstreinen: bij 22,6% van alle omwonenden in deze leeftijdsgroep gaat het dan om ernstige hinder door goederentreinen en bij 18% om ernstige slaapverstoring door goederentreinen. De omvang van ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen wordt geschat op respectievelijk 8 en 6%.

In de huidige regelgeving (Bts en SBR) wordt de ISO-2631-weging momenteel niet toegepast. Uit de Vervolgmeting is gebleken dat de trillingsmaten *zonder* richtingsafhankelijke frequentieweging volgens ISO-2631 zowel hinder als slaapverstoring door trillingen van treinverkeer beter voorspellen. Het is een bevestiging van de resultaten uit eerdere onderzoeken waarin is onderzocht wat de invloed is van richtingsafhankelijke frequentieweging. Toepassing van de ISO-weging bij mogelijk nieuw te ontwikkelen regelgeving lijkt dan ook niet wenselijk.

In de Vervolgmeting zijn verschillende soorten blootstellingsmaten voor trillingen onderzocht: een maat die iets zegt over de maximale blootstelling ($V_{\max}$) en maten die iets zeggen over de gemiddelde blootstelling rekening houdend met het aantal treinen en/of de lengte van de treinen (bijvoorbeeld de RMS). Gebleken is dat er niet één maat is die duidelijk de voorkeur verdient boven de andere maten. Het is een bevestiging van de resultaten uit eerdere onderzoeken waarin verschillende blootstellingsmaten voor trillingen zijn onderzocht. Dit betekent dat het beleid bij het verder te ontwikkelen regelgeving op het gebied van trillingen door treinverkeer moet afwegen waar het zich ten aanzien van blootstelling op wil gaan richten: op de waarneembaarheid van trillingen en/of de hinderlijkheid van trillingen, of op andere aspecten zo de effecten van nachtelijke blootstelling.

Voor zowel railverkeer als goederentreinen is er een duidelijk verband gevonden tussen de trillingssterkte en het percentage ernstige hinder door trillingen veroorzaakt door deze treintypen: het percentage ernstige hinder door trillingen van treinen neemt toe naarmate de blootstelling aan trillingen van treinen groter wordt. Voor goederentreinen waren deze relaties het sterkst. Voor reizigerstreinen waren deze relaties een stuk minder duidelijk. Bij slaapverstoring was het beeld vergelijkbaar met dat bij hinder.

Naast de blootstelling aan trillingen is er ook een aantal andere factoren van invloed op de gerapporteerde ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van treinen. Verreweg de belangrijkste factor was hinder door het geluid van de treinen. In relatie tot ernstige slaapverstoring door trillingen van treinen was slaapverstoring door het geluid van treinen de belangrijkste voorspeller. Daarnaast waren zowel voor ernstige hinder als slaapverstoring door trillingen met name sociale en persoonlijke factoren van belang: acceptatie van de trillingen, bezorgdheid, verwachtingen en de waarneming van trillende, bewegende of rammelende objecten in de woning ("rattle").

De resultaten van de Vervolgmeting zijn op belangrijke punten een bevestiging van de resultaten van de meting uit 2013. Ook in 2013

bleek dat de meeste hinder wordt veroorzaakt door trillingen van goederentreinen, en in mindere mate door trillingen van reizigerstreinen. Naast de blootstelling aan trillingen, waren vooral sociale en persoonlijke factoren van invloed op de hoeveelheid gerapporteerde hinder en slaapverstoring door spoortrillingen.

Ook in 2013 werd voor zowel railverkeer als goederentreinen een duidelijk verband gevonden tussen de trillingssterkte en het percentage ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen. Voor reizigerstreinen waren deze relaties een stuk minder duidelijk. Er waren echter ook verschillen: bij gelijke (maximale) trillingsniveaus is de kans op ernstige hinder door trillingen van railverkeer in 2021 lager dan in 2013. Bij gelijke (maximale) trillingsniveaus, is de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer in 2021 juist hoger dan in 2013.

In principe kunnen alle BR-relaties die in de Vervolgmeting zijn afgeleid, worden gebruikt om een schatting te maken van de omvang van de ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van respectievelijk railverkeer, goederentreinen en passagierstreinen. Daarbij verdient het echter de voorkeur om vooral gebruik te maken van die BR-relaties: (i) waarbij de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van afstand tot het spoor (m), of (ii) waarbij de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van een maat waarbij *geen* ISO-2631-weging is toegepast. Gebleken is dat de relatie tussen de blootstelling aan trillingen van treinverkeer en ernstige hinder of slaapverstoring in de meeste gevallen niet lineair was. Het verdient dan ook de voorkeur om in die gevallen waar dit het geval is, gebruik te maken van de BR-relaties die zijn afgeleid door middel van de categorische modellen.

Aanbevelingen

Op basis van de Vervolgmeting komen we tot de volgende aanbevelingen:

Bekijk over vijf jaar of het op basis van de dan bestaande kennis nodig is om de BR-relaties die zijn afgeleid in deze Vervolgmeting, te verversen.

BR-relaties zijn belangrijk voor het Nederlandse milieubeleid. Ze kunnen onder meer worden gebruikt om een schatting te maken van de omvang van het aantal ernstig gehinderden en slaapverstoorden in een gebied. Echter de omstandigheden in een gebied zijn aan verandering onderhevig. Daarnaast kan er nieuwe kennis verschijnen. Om te voorkomen dat er een te lange tijdspanne zit tussen veranderingen in lokale omstandigheden, het verschijnen van nieuwe kennis en de implementatie daarvan in de wet- en regelgeving, adviseren we de kennis actueel te houden en in de toekomst nieuwe metingen te verrichten.

Er moet meer inzicht komen in de mogelijke invloed van co-determinanten op de associatie tussen de blootstelling aan spoortrillingen en de ervaren hinder, de onderlinge samenhang tussen de co-determinanten en in welke mate ze te beïnvloeden zijn. Als onderdeel daarvan zou ook naar de rol van geluid moeten worden gekeken.

Uit de resultaten van de Vervolgmeting, kwamen een aantal demografische, contextuele en persoonlijke factoren naar voren die de relatie tussen trillingen van treinen en effecten mede kunnen beïnvloeden. In hoeverre deze co-determinanten van invloed zijn op de associatie tussen de blootstelling aan trillingen van treinen en hinder of slaapverstoring door trillingen van treinen is in het huidige onderzoek niet onderzocht.

Meer kennis over co-determinanten kan niet alleen aangrijpingspunten en interventiemogelijkheden bieden om de blootstelling aan spoortrillingen te reduceren; het kan ook gevolgen hebben voor hoe trillingsreducerende maatregelen en/of beleid worden geïmplementeerd, dan wel voor de communicatie over en/of het betrekken van omwonenden bij het welslagen van maatregelen en/of beleid.

Maak, net als in de Vervolgmeting, bij het afleiden van toekomstige BR-relaties gebruik van technieken waarbij ook rekening kan worden gehouden met het feit dat BR-relaties niet lineair zijn.

Voor het afleiden van de BR-relaties zijn verschillende methodes gebruikt. Daaruit bleek dat de relatie tussen blootstelling en respons niet altijd lineair verloopt. Het maakt dus uit welke methode gebruikt wordt voor het afleiden van de BR-relaties. Voor toekomstige onderzoek bevelen we aan om net als in het huidige onderzoek ten behoeve van het afleiden van toekomstige BR-relaties gebruik te maken van technieken, waarbij rekening kan worden gehouden met het feit dat BR-relaties niet altijd lineair zijn.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Nederland heeft een van de drukste sporen van Europa. Het afgelopen decennium is het alleen maar drukker geworden: tussen 2010 en 2019 groeide het treingebruik met ongeveer 18%, van 17 miljard kilometer in 2010 tot 20,3 miljard kilometer in 2019. Als gevolg van de Covid-19-pandemie daalde de door reizigers afgelegde afstand tussen 2019 en 2020 met ongeveer 55% naar 9,1 miljard kilometer [5]. Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) verwacht echter dat reizigers in 2025 de trein weer net zoveel zullen gaan gebruiken als in 2019. Verder verwacht het KiM dat reizigers in 2026 naar verwachting 1-7% meer afstand afleggen met de trein in vergelijking met 2019. De omvang van het spoorgoederenvervoer is tussen 2010 en 2019 met ongeveer 19,5% gegroeid; in 2020 nam het af met 6,1%. Het KiM verwacht echter dat het spoorgoederenvervoer in de periode 2019-2026 met 11% zal groeien [5].

In het kader van de verbetering van bereikbaarheid en het behalen van de klimaatdoelstellingen van 2050 zal het spoor in de nabije toekomst naar verwachting nog drukker worden: met het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) worden voorzieningen gebouwd en maatregelen getroffen (bijvoorbeeld "spoorboekloos" rijden) waarmee intercity's en sprinters los van elkaar in hoge frequentie rijden. Daardoor worden reistijden steeds korter [6].

Daarnaast wordt er een intensivering van het spoorgoederenvervoer voorzien. Zo heeft de Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) in 2018 de ambitie uitgesproken dat de omvang van het goederenvervoer per spoor moet groeien van 42 miljoen ton in 2016 naar 54-61 miljoen ton in 2030. In december 2020 presenteerde de Europese Commissie de Greendeal. Om in 2050 klimaatneutraal te kunnen zijn, streeft de commissie naar een forse vermindering van de CO₂-uitstoot (reductie van 55% in 2030 ten opzichte van 1990) [7]. Dit betekent dat een groot deel van het binnenlandse goederenvervoer dat nu over de weg gaat moet worden overgeheveld naar het spoor. De wens om te intensiveren heeft effecten op bestaande woningen langs het spoor.

Niet alleen zal de omvang van het treinverkeer groeien; ook zal de gebouwde omgeving naar verwachting groeien. Om het woningtekort terug te dringen moeten er tot 2030 pakweg 900.000 woningen bij komen in Nederland [8]. Een deel van deze nieuwe woningen zal naar verwachting in de buurt van spoorlijnen worden gebouwd. Daardoor kan er spanning ontstaan tussen verschillende ambities en functies op het gebied van duurzaam (trein)vervoer, en het wonen in een gezonde en veilige leefomgeving.

Treinverkeer veroorzaakt niet alleen geluid, maar kan net als andere transportmiddelen en installaties ook trillingen in gebouwen veroorzaken. Voor geluid is de bescherming van de omgeving vastgelegd in wetgeving; voor trillingen veroorzaakt door treinverkeer is dat nog niet of nauwelijks het geval (zie ook box 1). Momenteel is de kennis over trillingen door treinen in relatie tot gezondheid nog beperkt. Een ander probleem is dat momenteel niet goed duidelijk is welke blootstellingsmaat voor trillingen het meest geschikt is om gezondheidseffecten door trillingen van treinen te voorspellen.

1.2 Voorgeschiedenis

Zowel de maatschappij als de politiek vragen al langer om regelgeving voor trillingen langs het spoor. Zo werden in 2010 twee moties aanvaard waarin de regering werd verzocht om a) wettelijke normen voor trillingen voor treinverkeer op te stellen, en b) op korte termijn voorstellen te doen voor een handhavingsinstrumentarium voor geluid en trillingen langs het spoor. Het RIVM werd daarop gevraagd om een zogenaamde programmeringsstudie⁷ te doen naar de effecten van aan treinverkeer gerelateerd geluid en trillingen op welzijn en gezondheid. Aanleiding waren toezeggingen van de toenmalige staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu (IenM) op 18 januari 2011 aan de Tweede Kamer [9]. Als onderdeel van de programmeringsstudie werd door middel van een literatuurstudie de laatste stand van zaken in kaart gebracht met betrekking tot de effecten van trillingen en (laagfrequent) geluid door treinen op gezondheid en welzijn [10]. In de review werd ook een aantal kennishiaten geconstateerd. Een van de geconstateerde hiaten was dat de destijds beschikbare gegevens onvoldoende waren om een gedegen schatting te kunnen maken van de mate waarin de gezondheidseffecten ten gevolge van trillingen van spoor zich voordoen [10]. Om dit hiaat te dichten werd in 2013 een vragenlijstonderzoek ("Wonen langs het spoor") uitgevoerd onder 4.927 personen van 16 jaar en ouder die binnen een afstand van 300 meter van het spoor woonden. Het belangrijkste doel van dit onderzoek was om een landelijk beeld te geven hoe omwonenden langs het spoor reageren op trillingen en geluid veroorzaakt door reizigers- en goederentreinen, zowel overdag als in de nacht. Op basis van het vragenlijstonderzoek werd geschat dat in 2013 ongeveer 20% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor woont, ernstig werd gehinderd door trillingen van treinverkeer. Veruit de meeste hinder werd veroorzaakt door trillingen van goederentreinen: op basis van het vragenlijstonderzoek werd geschat dat ruim 22% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor woont, ernstig wordt gehinderd door trillingen van goederentreinen. Het percentage ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen lag een stuk lager, en werd geschat op 3%. Voor slaapverstoring was het beeld vergelijkbaar. Ruim 16% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor woont, rapporteerde ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen. Het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen werd geschat op ruim 3,5%. Op basis van het vragenlijstonderzoek zijn

⁷ Een programmeringsstudie is een onderzoek waarin niet alleen wordt onderzocht welke kennis er al aanwezig is, maar waarin ook wordt bekeken welke kennis ontbreekt en/of welke knelpunten er zijn. Vaak worden hierin ook voorstellen voor nieuw onderzoek opgenomen.

blootstelling-responsrelaties (BR-relaties) afgeleid voor de associatie tussen de blootstelling aan trillingen en ernstige hinder en ernstige slaapverstoring [11].

Het vragenlijstonderzoek uit 2013 had een aantal belangrijke beperkingen. De belangrijkste beperking had te maken met de schatting van de blootstelling aan trillingen. Deze was in het onderzoek uit 2013 geschat met behulp van het rekenmodel Standaard Rekenmethode voor Trillingen (SRM-t) [12]. Op basis van gegevens over de afstand tot het spoor, bodemtype, treintype, rijsnelheid en vloerconstructie berekende het model de blootstelling aan trillingen. Echter, doordat het model gebruikmaakte van standaardwaarden en lokale kentallen, is er mogelijk misclassificatie van de blootstelling ontstaan. Afhankelijk van de richting van de misclassificatie kan dit hebben geleid tot een onder- of overschatting van de BR-relatie.

Ontwikkeling van rekenmodel trillingen

In 2016 kreeg het RIVM, naar aanleiding van een brief van de Staatssecretaris van I&W aan de Tweede Kamer [13], de opdracht om tot een uniforme rekenmethode te komen voor spoortrillingen [14]. In 2020 resulteerde dit in de eerste versie van het OURS-model (Ontwikkeling Uniform Rekenmodel Spoortrillingen), waarmee te verwachten trillingsniveaus kunnen worden berekend [15]. Het model kan onder andere worden ingezet bij de voorbereiding van spoorprojecten. Ook kan het model worden gebruikt om onderzoek te doen naar de schaal van de blootstelling en mogelijke effecten. Na gebruik en testen van professionele gebruikers is het model verbeterd. In november 2021 is er een nieuwe versie ontwikkeld [16].

Box 1. Bestaande regelgeving op het gebied van spoortrillingen

Hoewel het aspect trillingen wel een aandachtspunt is bij het opstellen van ruimtelijke plannen (Art 3.1 Wet Ruimtelijke Ordening), is er in Nederland momenteel nauwelijks wetgeving voorhanden voor het voorkomen van hinder of schade door trillingen. Ten behoeve van het meten en beoordelen van hinder voor personen in gebouwen afkomstig van trillingen buiten het gebouw is er sinds 1993 een richtlijn beschikbaar die is opgesteld door de Stichting Bouwresearch. Deze richtlijn staat ook wel bekend als de SBR-richtlijn [1]. Als onderdeel van de richtlijn wordt aan de hand van waarnemingscurves beoordeeld of er sprake is van trillinghinder. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de waarnemingsdrempel (het niveau waarbij 50% van de bevolking een trilling waarneemt) en de hinderdrempel (het niveau waarop mensen een trilling als hinderlijk ervaren).

In 2012 werd de Beleidsregel trillinghinder Spoor (Bts) geïntroduceerd [2]. Doel was om vast te leggen hoe om moet worden gegaan met enkele aspecten van trillingshinder bij de vaststelling van een Tracébesluit (TB) tot aanleg/wijziging van een landelijke spoorweg als bedoeld in de Tracé-wet. De Bts bevat bepalingen over de maximaal toegestane trillingssterkte als gevolg van treinverkeer. Het gaat hierbij om de beoordeling van trillingen in relatie tot hinder voor personen in gebouwen. In 2014 is, na rechterlijke uitspraken, een aangepaste versie van de Bts gepubliceerd [3]. In zowel de SBR-richtlijn (hoofdstuk 10) als de Bts (artikelen 5, 6 en 7) zijn streefwaarden opgenomen; in de Bts zijn ook grenswaarden opgenomen. In onderstaande tabel is een

overzicht weergegeven van de streef- en grenswaarden voor trillingen in gebouwen met een woonfunctie in de bestaande situatie.

Tabel B1 Streef- en grenswaarden (uitgedrukt als $V_{\max}$ en V_{per})^a voor herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd voor bestaande situaties in gebouwen met een woonfunctie

	Periode Indicator	Dag en avond			Nacht		
		$V_{\max}$	$V_{\max}$	V_{per}	$V_{\max}$	$V_{\max}$	V_{per}
SBR	Streefwaarde	0,2 ^b	0,8 ^c	0,1	0,2 ^b	0,4 ^c	0,1
	Grenswaarde	-	-	-	-	-	-
Bts	Streefwaarde	0,2	-	-	0,2	-	-
	Grenswaarde	0,8	-	0,1	0,4	-	0,1

^a $V_{\max}$ = De hoogste effectieve trillingssterkte gedurende de beoordelingsperiode (een week); V_{per} = De gemiddelde trillingssterkte gedurende de beoordelingsperiode, gewogen naar de duur van de blootstelling; ^bHet gaat hier om de onderste streefwaarde, wordt hier aan voldaan dan wordt niet naar de V_{per} gekeken; ^cHet gaat hier om de bovenste streefwaarde die dan gecombineerd wordt met de V_{per} eis.

Op basis van de SBR wordt voldaan aan de streefwaarde als (i) de waarde voor de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ in een ruimte kleiner is dan de onderste streefwaarde, of als (ii) de waarde voor de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ in een ruimte kleiner is dan de onderste streefwaarde en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} kleiner is dan de streefwaarde 0,1. In de Bts wordt de koppeling tussen $V_{\max}$ en V_{per} losgelaten. De periode waarin de streef- of grenswaarde wordt overschreden is afhankelijk van SBR of Bts ook van belang. De Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen [4] is een hulpmiddel om bij nieuwbouw langs het spoor op tijd en concreet rekening te houden met trillingen van het spoor. De handreiking is er sinds 2019. In de Handreiking zijn geen nieuwe grens- of streefwaarden opgenomen. Afhankelijk van of het wel of niet om een TB gaat, moet de SBR-richtlijn of de Bts worden gehanteerd.

1.3 Doel en vraagstellingen

1.3.1 Doel

Naar aanleiding van Kamervragen in 2018 en 2019 over de effecten van de uitbreiding van het spoornetwerk, heeft Staatssecretaris van Veldhoven van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) aan de Tweede Kamer in 2018 toezeggingen gedaan voor het doen uitvoeren van een grootschalig landelijk vragenlijstonderzoek bij omwonenden om de ervaren hinder en slaapverstoring te inventariseren [7, 17, 18]. In overleg met het Ministerie van I&W is deze opdracht aan het RIVM vertaald in twee deelonderzoeken:

- Een Herhaalmeting waarbij een vragenlijst over de effecten van trillingen van treinen is afgenomen onder mensen die in 2013 al hebben deelgenomen aan het onderzoek "Wonen langs het spoor" (Wlws) [11], en
- Een Vervolgmeting waarbij een vragenlijst over de effecten van trillingen van treinen is afgenomen onder een nieuwe steekproef van mensen van 16 jaar en ouder, wonend op maximaal 300 meter van het spoor.

In deze rapportage presenteren we de resultaten van de Vervolgmeting. Net als bij de meting uit 2013, is het doel om een landelijk beeld te

geven hoe omwonenden langs het spoor reageren op trillingen en geluid veroorzaakt door reizigers- en goederentreinen, zowel overdag als in de nacht. De resultaten van het eerste deelonderzoek (de Herhaalmeting) zijn al gepubliceerd in 2021 [19]. Doel van dit onderzoek was om na te gaan hoe de reacties op trillingen van treinen, in termen van hinder, slaapverstoring en zelfgerapporteerde gezondheid zich hebben ontwikkeld in de periode 2013-2019 (monitoring).

1.3.2 *Vraagstellingen*

In de Vervolgmeting worden de volgende vraagstellingen behandeld:

- Wat is de omvang van (ernstige) hinder en (ernstige) slaapverstoring ten gevolge van de blootstelling aan trillingen van treinen onder de Nederlandse bevolking (prevalentie)?
- Welke blootstellingsmaat voor trillingen is het meest geschikt om hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinen te voorspellen?
- Welke blootstelling-respons relaties (BR-relaties) kunnen worden afgeleid voor (ernstige) hinder en (ernstige) slaapverstoring door trillingen van treinen en de blootstelling aan trillingen van treinen (reizigers- versus goederentreinen)?, en
- Wat is de invloed van fysieke, contextuele en persoonlijke factoren op ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer?

Ten behoeve van de beantwoording van bovengenoemde vraagstellingen wordt gebruik gemaakt van de gegevens die zijn verzameld als onderdeel van de Vervolgmeting. Het gaat hierbij om een in 2021 uitgevoerd vragenlijstonderzoek onder ruim 5.600 personen van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen. Voor alle deelnemers aan dit vragenlijstonderzoek hebben we de blootstelling aan spoortrillingen geschat met behulp van versie 2.1 van het OURS-model en de nieuwste inputgegevens. Daarmee zal naar verwachting de kans op misclassificatie van de blootstelling kleiner zijn dan tijdens de meting uit 2013. Dit maakt de resultaten beter bruikbaar.

Daar waar mogelijk, zullen de resultaten van deze Vervolgmeting steeds worden vergeleken met de meting uit 2013 [11]. Omdat de resultaten van de Herhaalmeting [19] niet geschikt zijn om uitspraken te doen over de situatie in Nederland, hebben we in de huidige rapportage *geen* vergelijking gemaakt met de resultaten van de Herhaalmeting uit 2019.

De resultaten van de Vervolgmeting vormen belangrijke input voor de te ontwikkelen wet- en regelgeving op het gebied van spoortrillingen.

1.4 **Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 geven we een kort overzicht van de stand van de kennis op het gebied van trillingen van treinen en gezondheid. Daarbij richten we ons in het bijzonder op BR-relaties en de invloed van factoren anders dan trillingen (co-determinanten). Nadat we in hoofdstuk 3 de onderzoeksopzet en de gebruikte methodes beschrijven, zullen we in hoofdstuk 4 inzicht geven in de respons op zowel het vragenlijstonderzoek als het bijbehorende non-responsonderzoek. Ook beschrijven we de deelnemers aan de hand van algemene kenmerken. In hoofdstuk 5 presenteren we de prevalenties van ernstige hinder en

ernstige slaapverstoring in relatie tot het vragenlijstonderzoek dat was uitgevoerd in 2013. In hoofdstuk 6 geven we een beeld van de niveaus van spoortrillingen en railverkeersgeluid waaraan onze deelnemers worden blootgesteld en gaan we na welke blootstellingsmaat voor trillingen het meest geschikt is om hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinen te voorspellen. De BR-relaties tussen de blootstelling aan spoortrillingen en ernstige hinder en ernstige slaapverstoring worden in hoofdstuk 7 beschreven. Naast de blootstelling aan spoortrillingen zijn andere factoren mogelijk ook van invloed op de gerapporteerde hoeveelheid hinder en slaapverstoring door spoortrillingen. De invloed van deze zogenaamde co-determinanten op beide eindpunten worden in hoofdstuk 8 beschreven. Nadat we de resultaten in hoofdstuk 9 hebben besproken, beschrijven we in hoofdstuk 10 de belangrijkste conclusies en eindigen we met enkele aanbevelingen.

2 Stand van de kennis

2.1 Hoe ontstaan trillingen veroorzaakt door treinen?

Passerende treinen kunnen trillingen in gebouwen veroorzaken. Welke trillingsniveaus uiteindelijk in een gebouw optreden is afhankelijk van een aantal factoren. Op de eerste plaats van de veroorzaker van de trillingen: de passerende trein. Trillingen worden veroorzaakt doordat een trein passeert en daarbij de bodem in beweging brengt. Op plekken waar de wielen van de trein in contact staan met het spoor, wordt kracht uitgeoefend op het spoor. Omdat de trein rijdt, bewegen deze krachten zich over het spoor; dit resulteert in trillingen. De grootte van deze krachten en optredende trillingsniveaus hangt af van bijvoorbeeld het gewicht van de trein, de snelheid van de trein, de aanwezigheid van onregelmatigheden op het spoor en in de wielen en de bodemopbouw. Vervolgens planten de trillingen zich vanuit de spoorbaan door de bodem voort naar een gebouw. Daarbij zijn bodemgesteldheid, bodemopbouw en de karakteristieken van de trillingen van belang. Wanneer de trillingen bij een gebouw aankomen, kan het gebouw in beweging komen. Belangrijk zijn daarbij de fundering van het gebouw en de grootte van de trillingsgolf ten opzichte van het gebouw. Het trillen van de fundering van een gebouw zorgt ervoor dat de trillingen zich via de draagconstructie voortplanten naar de vloeren. Afhankelijk van de constructie en het ontwerp van het gebouw treedt verzwakking dan wel versterking van de trilling ten opzichte van de fundering op [4].

2.2 De waarneming van trillingen

Trillingen met een frequentierange van 1 tot ongeveer 80 Hertz (Hz) worden gevoeld wanneer het menselijke lichaam in contact komt met een trillend oppervlak [10]. Of mensen trillingen waarnemen, hangt af van een aantal kenmerken van de trilling (de sterkte, de frequentie en de richting), waar op het lichaam de trilling wordt ervaren, en van de lichaamshouding (bijvoorbeeld liggend of staand). Trillingen kunnen we ook horen: (i) Op de eerste plaats doordat een trillend oppervlak (laagfrequent) geluid kan emitteren (constructiegeluid); (ii) ook kan indirect geluid optreden door het gerammel van kopjes, ramen of deuren; (iii) ten slotte kan er ook sprake zijn van visuele waarneming doordat mensen objecten zien trillen of door de beweging van schaduwen in spiegels en/of ramen [4].

Net als bij geluid, kunnen mensen trillingen als onplezierig en/of storend ervaren. Toch zijn er verschillen met geluid: geluid is een prikkel buiten het lichaam, waaraan je kunt ontsnappen door bijvoorbeeld naar een rustige kamer te gaan of door de ramen te sluiten. Bij trillingen is dat anders: trillingen worden in het lichaam gevoeld en je kunt er in huis moeilijk aan ontsnappen. Of zoals Meloni [20] het omschrijft: "Vibration 'shakes' people in the truest sense of the word; it gets under one's skin and causes the entire body to vibrate". Dit maakt dat mensen vaak het gevoel hebben dat ze er niet aan kunnen ontsnappen.

2.3 Maten voor de blootstelling aan trillingen

Momenteel zijn er verschillende maten in gebruik om de blootstelling aan trillingen door treinverkeer uit te drukken. Veel maten drukken de sterkte van een trilling uit als een versnelling (mm/s^2) of snelheid (mm/s); maar de trillingssterkte kan ook worden uitgedrukt als een verplaatsing (mm). Daarnaast kan nog onderscheid worden gemaakt tussen maten die iets zeggen over a) de gemiddelde versnelling of snelheid over een bepaalde periode, en b) de maximale versnelling of snelheid. Er zijn ook cumulatieve maten (bijvoorbeeld de Vibration Dose Value, ofwel VDV⁸).

In het recente verleden is een aantal keren geprobeerd om meer inzicht te krijgen in het antwoord op de vraag: welke maat is de beste voorspeller voor hinder en/of slaapverstoring door trillingen. In aanloop naar een revisie van de Bts is door TNO [21] gekeken naar de waarde van verschillende blootstellingsmaten voor trillingen door treinverkeer bij het voorspellen van het percentage ernstige hinder door trillingen van treinen. Hierbij werd gebruik gemaakt van een eerder uitgevoerde meta-analyse op zeven studies (4.129 respondenten) in het kader van het Europese project CargoVibes⁹ [22]. Omdat de oorspronkelijke indicatoren voor trillingen verschilden, zijn deze met behulp van een omrekenmethode vergelijkbaar gemaakt. Uiteindelijk is in elke studie de relatie met hinder bepaald, waarbij de blootstelling aan trillingen van treinverkeer werd uitgedrukt aan de hand van drie maten: i) $V_{\text{dir,max}}$ de maximale trillingssterkte in snelheid¹⁰, ii) RMS (Root-Mean-Square): tijdgemiddelde trillingssterkte, en iii) VDV. Uit de analyse bleek dat er kleine verschillen waren tussen de drie indicatoren in de voorspelling van hinder, waarbij de RMS iets beter scoorde dan de $V_{\text{dir,max}}$ en de VDV. De verklaarde varianties waren echter in dezelfde orde van grootte. Omdat de drie indicatoren onderling sterk met elkaar samenhangen, kon er geen conclusie worden getrokken over welk van de drie indicatoren de beste was. In alle onderzochte blootstellingsmaten was bovendien de ISO-2631-weging [23] toegepast. Daarbij wordt rekening gehouden met het feit dat het menselijk lichaam niet even gevoelig is voor trillingen van verschillende frequenties en richtingen (zie ook paragraaf 2.4).

Ook als onderdeel van het onderzoek "Wonen langs het spoor" uit 2013 [11] is geprobeerd een antwoord te krijgen op de vraag: wat is de beste blootstellingsindicator? De blootstelling werd destijds geschat met behulp van het SRM-t-model [12], waarbij de blootstelling werd uitgedrukt door middel van een V_{max} en een RMS. Daarnaast werd ook de afstand van de woning tot het spoor (m) meegenomen. Uit de bevindingen bleek geen voorkeur voor één bepaalde blootstellingsindicator. De drie maten bleken i) vergelijkbaar samen te hangen met effecten, en ii) onderling sterk samen te hangen. Bovendien boden ze theoretisch een vergelijkbare beschermingsgraad bij een

⁸ De Vibration Dose Value (VDV) is een cumulatieve blootstellingsmaat voor trillingen over een specifieke beoordelingsperiode (in $\text{m/s}^{1,75}$). Deze blootstellingsmaat wordt vooral gebruikt als de trillingen onregelmatig voorkomen.

⁹ CargoVibes is een onderzoek naar de invloed van trillingen door goederentreinen op de gezondheid van mensen die in de buurt van een spoorlijn wonen dat is uitgevoerd in het kader van het Zevende Kaderprogramma van de Europese Unie in de periode 2011-2014. CargoVibes is een acroniem voor "Attenuation of ground-borne vibration affecting residents near freight railway lines". Zie ook: <https://cordis.europa.eu/project/id/266248>

¹⁰ $V_{\text{dir,max}}$ is een trillingsmaat waarmee het maximale trillingsniveau wordt uitgedrukt, waarbij een frequentieweging heeft plaatsgevonden door middel van de ISO-2631.

“steady state”-situatie¹¹. Afstand bleek het hoogste percentage verklaarde variantie¹² op te leveren, gevolgd door de RMS en tot slot de $V_{\max}$. Omdat bij de $V_{\max}$ en RMS dezelfde weging was toegepast, was het niet mogelijk een uitspraak te doen over de invloed van het gebruik daarvan op de voorspelde hinder en/of slaapverstoring.

Ondanks het feit dat er uit de verschillende studies op basis van de data geen voorkeur voor een bepaalde blootstellingsmaat naar voren komt, kan er op basis van theoretische analyse wel iets gezegd worden over de mate van bescherming die bepaalde maten kunnen bieden [21, 22]: Hoewel blootstellingsmaten die naast de trillingssterkte ook iets zeggen over aantallen en duur van de passages niet meer bescherming lijken te bieden dan maten die alleen een indicatie van de maximale trillingssterkte weergeven, kan het wel uitmaken in situaties waarin het aantal treinen en/of duur van de passages sterk toeneemt. In deze situaties zal een maat als de RMS sterk worden beïnvloed, terwijl een $V_{\max}$ nauwelijks zal worden beïnvloed. Een $V_{\max}$ lijkt een goede indicator te zijn voor de waarneembaarheid van trillingen, terwijl een maat als de RMS waarschijnlijk een betere indicator is voor de hinder door trillingen en andere gezondheidseffecten [22].

2.4 De invloed van frequentieweging

De gevoeligheid van het menselijk lichaam voor trillingen is niet alleen afhankelijk van de trillingssterkte, maar ook van de frequentie (eenheid Hertz) en de richting¹³ van de trillingen [24]. Dat wil zeggen dat bij eenzelfde trillingssterkte deze andere factoren er voor kunnen zorgen dat een trilling meer of minder wordt ervaren. Om daar rekening mee te houden, kunnen de bijdragen van trillingen met een verschillend frequentiebereik en richting anders worden gewogen. Op welke manier deze weging plaatsvindt, kan verschillen. Momenteel zijn er verschillende methodes in gebruik. Een veelgebruikte methode is vastgelegd in de ISO-2631 [23]: daarin worden aparte wegingsfuncties gebruikt voor de horizontale en verticale richting, uitgaande van staande en zittende personen. In de Nederlandse SBR-richtlijn B en de Bts wordt gebruik gemaakt van een benadering, namelijk een gemiddelde van de twee richtingsafhankelijke functies van de ISO [11]. Het is echter niet duidelijk of gebruik van wegingsmethodes zoals ISO-2631 [23] ook daadwerkelijk leiden tot een betere voorspelling van de hinder en slaapverstoring door trillingen van treinen.

In de studie van de Universiteit van Salford [25] is het effect van de manier van frequentieweging onderzocht. Zo heeft men de voorspelbaarheid van de maten die zijn gedefinieerd in ISO-2631 [23, 26] en de BS-6472 [27] met elkaar vergeleken. De ISO en BS verschillen van elkaar met betrekking tot de frequentieweging. De verschillende soorten frequentiewegingen waren niet van invloed op de

¹¹ Een “steady state”-situatie is een situatie waarin geen veranderingen zijn in trillingsniveaus.

¹² In de literatuur wordt vaak aangegeven hoeveel procent van de variantie in een model wordt verklaard door de blootstelling of andere factoren (bijvoorbeeld persoonlijke en contextuele factoren). De hoeveelheid verklaarde variantie heeft vooral een statistische betekenis en is een indicatie van de betrouwbaarheid van de individuele voorspelling. Hoe hoger de verklaarde variantie, hoe beter het model in staat is de werkelijke waarden te voorspellen op grond van de factoren in het model. Let op: de hoeveelheid verklaarde variantie is geen indicatie voor de grootte van het effect of voor de invloed die een factor op de omvang van bijvoorbeeld het percentage ernstige hinder kan uitoefenen (Bron: Dusseldorp en collega's. Handreiking geluidhinder wegverkeer. Berekenen en meten. Bilthoven: RIVM, 2011).

¹³ Het maakt dus uit of het lichaam heen en weer beweegt of op en neer.

gevonden correlaties tussen trillingen en hinder: de correlaties tussen trillingen en hinder waren in beide gevallen vergelijkbaar. Ook Zapfe en collega's [28] hebben geprobeerd te onderzoeken wat de invloed was van de manier van frequentieweging. Daarbij is een aantal wegingsmethodieken met elkaar vergeleken waaronder de ISO-2631 en de BS-6841. Daarnaast hebben Zapfe en collega's [28] gekeken of het uitmaakt in welke soort maat de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt. Er werd geconcludeerd dat de verschillende maten eigenlijk allemaal als een variant kunnen worden beschouwd van dezelfde fysieke kwantiteit en dat ze daarom dan ook hoog met elkaar waren gecorreleerd. Volgens de onderzoekers betekent dit dat er niet echt één maat is die de voorkeur verdient.

2.5 De effecten van trillingen op de gezondheid

In de loop van de tijd zijn er bij mensen verschillende effecten gemeten die met trillingen (afkomstig van treinen) in verband worden gebracht. Het gaat om: verstoring van activiteiten (inclusief slaapkwaliteit), hinder, vermindering van kwaliteit van leven, vermoeidheid, verminderde taakprestatie of werkfocus, bewegingsziekte en verminderde gezondheid [10, 11, 19, 24, 29]. In deze paragraaf beschrijven we kort wat er tot nog toe bekend is over de invloed van langdurige blootstelling aan spoortrillingen op gezondheidseffecten als hinder en slaapverstoring. Andere gezondheidseffecten op de lange termijn zijn nauwelijks onderzocht [30].

2.5.1 *Hinder*

Hinder is het meest beschreven en onderzochte gezondheidseffect van omgevingsgeluid. Ook in relatie tot trillingen is het vaak onderzocht en beschreven. Het wordt door de Gezondheidsraad [31] omschreven als "een gevoel van afkeer, boosheid, onbehagen, onvoldaanheid, of gekwetstheid dat optreedt wanneer een milieufactor iemands gedachten, gevoelens of activiteiten negatief beïnvloedt". Of iets als hinderlijk wordt ervaren of niet verschilt per persoon. Analooq aan de definitie van gezondheid die door de Wereldgezondheid Organisatie (WHO) wordt gehanteerd¹⁴, beschouwen we hinder als een gezondheidseffect [32]. Vanuit geluidsonderzoek weten we dat chronische hinder ook als een stressor kan worden beschouwd die met andere gezondheidseffecten is geassocieerd (bijvoorbeeld: [33-37]). Hinder wordt gemeten met behulp van vragenlijsten [38].

In Van Kempen et al [10] werd al een overzicht gegeven van studies waarin de invloed van trillingen veroorzaakt door treinen op de mate van hinder werd bestudeerd [25, 28, 39-51]. Sindsdien zijn er verschillende nieuwe onderzoeken verschenen [11, 19, 22, 30, 52-56]. De resultaten van deze studies hebben het beeld dat door Van Kempen en collega's [10] geschetst werd, echter niet veranderd: de meeste studies vonden een associatie tussen (een indicator van) de blootstelling aan trillingen door treinverkeer en hinder door trillingen van treinverkeer. Vergelijking van de resultaten van de verschillende studies blijft om een aantal redenen echter lastig: (i) De blootstelling aan trillingen werd in de verschillende studies uitgedrukt aan de hand van

¹⁴ De WHO hanteert sinds 1948 de volgende definitie voor gezondheid: "Health is a state of completely physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity" (WHO, 1948).

verschillende maten. (ii) Onduidelijk is welke maat de beste is. (iii) Ook verschillen de onderzochte trillingsbronnen van elkaar: goederentreinen, reizigerstreinen, metro, hogesnelheidstreinen. (iv) Bovendien werd hinder op verschillende manieren gemeten: met behulp van één of meer vragen als onderdeel van een vragenlijst en/of interview. Daarbij werd steeds een andere vraagstelling gebruikt.

2.5.2 *Effecten op de slaap*

Vanuit geluidsonderzoek weten we dat de effecten van een omgevingsstressor, zoals geluid, op de slaap zich op verschillende manieren kunnen manifesteren: a) in het slaapgedrag (bijvoorbeeld men ontwaakt eerder, vaker of langer), b) in de structuur van de slaap (bijvoorbeeld veranderingen in de duur van de slaapstadia), c) als lichamelijke reacties (bijvoorbeeld verandering in de hartslag), of d) als effecten in de periode na de slaap [57-59].

In de loop van de tijd is vooral naar de invloed van nachtelijk omgevingsgeluid op slaapverstoring gekeken. Slaapverstoring is een term die vaak wordt gebruikt als het gaat om het aanduiden van het effect van de blootstelling aan geluid tijdens de nachtperiode. Vaak wordt de (ervaren hinderlijkheid van) slaapverstoring gemeten als onderdeel van een vragenlijst. Daarin wordt gevraagd naar de frequentie en/of mate van slaapverstoring van de afgelopen periode [60]. Echter, tijdens de nacht zijn mensen zich vaak niet bewust van zichzelf of hun omgeving. Het proces van inslapen en de perioden dat men wakker is tijdens de nacht, dragen daarom disproportioneel bij aan de inschatting van de frequentie en/of de mate van slaapverstoring [61].

Desondanks wordt zelfgerapporteerde slaapverstoring beschouwd als een goede weergave van de invloed van geluid op de slaap zoals die voor langere tijd wordt ervaren door een persoon. Net als bij hinder, wordt slaapverstoring gemeten door middel van vragenlijsten. De respondenten wordt daarbij direct gevraagd naar de mate waarin zij slaapverstoring ervaren door geluid van een bepaalde bron. Net als hinder, is ook slaapverstoring geassocieerd met andere gezondheidseffecten [62].

In Van Kempen et al [10] werd ook een overzicht gegeven van studies waarin de invloed van trillingen veroorzaakt door treinen op de slaapverstoring werd bestudeerd [25, 44-47, 49]. Nadien is er een aantal nieuwe studies [11, 19, 22, 63-65] verschenen. In een aantal studies zijn aanwijzingen gevonden dat trillingen veroorzaakt door treinverkeer van invloed zijn op de slaap [11, 22, 25, 49, 64, 65]: de kans op verstoring van de slaap nam toe bij een toenemende blootstelling aan trillingen door treinverkeer. Kanttekening daarbij is dat, met uitzondering van de CargoVibes-studie [64, 65], de blootstelling aan trillingen in geen van de studies werd uitgedrukt met een maat voor de blootstelling aan trillingen die specifiek iets over de blootstelling tijdens de nacht zegt. Net als bij hinder, zijn de resultaten van de verschillende studies ook weer lastig met elkaar te vergelijken. Dit komt onder meer door dat de verschillende studies verschillende maten voor de blootstelling aan trillingen gebruiken. Daarvan is onduidelijk wat de

beste maat is. Net als bij hinder, wordt slaapverstoring op verschillende manieren gemeten [25, 44-47, 49].

In de Cargovibes-studie [64, 65] zijn de effecten van trillingen door treinverkeer op slaap niet alleen door middel van observationeel onderzoek onderzocht; ook is er gebruikgemaakt van experimenteel onderzoek. Daarbij werden deelnemers gedurende een aantal nachten in een laboratorium onder gecontroleerde omstandigheden blootgesteld aan trillingen en geluid van treinverkeer. Als onderdeel van de Cargovibes-studie werden er verschillende experimentele studies uitgevoerd [64, 66-69]. Daarbij werden de effecten op de slaap zowel met vragenlijsten als met behulp van polysomnografie (PSG)¹⁵ gemeten. Bij toenemende trillingsniveaus werden zowel biologische veranderingen, veranderingen in de slaapstructuur, ontwaakreacties, als veranderingen in de zelfgerapporteerde slaapkwaliteit gemeten. In 2019, hebben Persson Wayne en collega's [64] nog een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van de experimentele studies en de vragenlijstonderzoeken. Laatstgenoemde onderzoeken waren uitgevoerd in Nederland en Polen; de experimentele studies waren uitgevoerd in Zweden. De belangrijkste bevinding was dat blootstelling aan trillingen significant geassocieerd was met zelfgerapporteerde slaapverstoring en dat er geen significant verschil was tussen de resultaten van het experimentele onderzoek en de observationele studies. De onderzoekers hebben ook gekeken naar verschillen tussen landen. Het bleek dat bij gelijke niveaus van trillingen door treinverkeer, de kans op slaapverstoring in Nederland (observationeel onderzoek) hoger was dan in Zweden (laboratorium setting). Voor Polen (observationeel onderzoek) was de associatie tussen de blootstelling aan trillingen van treinen en slaapverstoring niet significant.

2.6 Andere effecten op de gezondheid

In tegenstelling tot hinder en effecten op slaap, is er tot nog toe nauwelijks onderzoek gedaan naar andere gezondheidseffecten van de blootstelling aan spoortrillingen. Een van de meest recentste onderzoeken die de invloed van de langdurige blootstelling aan spoortrillingen op gezondheid hebben onderzocht is de Zweedse EpiVib-studie [30]. Het doel van deze studie was om de gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan spoortrillingen te onderzoeken. De studie is in 2016 van start gegaan en bestond uit een aantal onderdelen. Tijdens de eerste fase zijn er 57 diepte-interviews uitgevoerd. Doel was om exploratief te onderzoeken hoe spoortrillingen werden ervaren en wat de attitudes van mensen waren tegenover spoortrillingen. De resultaten [53] vormden belangrijke input voor een vragenlijst waarmee zowel informatie is verzameld over de waarneming van trillingen door treinverkeer, de effecten van trillingen (hinder, slaapverstoring en andere zelfgerapporteerde gezondheidseffecten) als over de mogelijke determinanten daarvan. Voor de vragenlijst, werden 35.011 personen tussen 18 en 80 jaar uitgenodigd die in 2017 binnen een kilometer van een spoorlijn woonden in de Zweedse regio's Hallands, Västra Götaland, Värmland en Örebro. Personen die in gebieden woonden in de buurt van een spoorlijn a) waarover minder dan tien goederentreinen per etmaal

¹⁵ Polysomnografie is een slaaponderzoek waarbij verschillende fysiologische parameters tijdens de slaap van een persoon opgenomen worden. Het resultaat wordt een polysomnogram genoemd.

reden, en/of b) waar ook belangrijke snelwegen en/of luchthaven in de buurt lagen, werden uitgesloten van deelname. Ook personen die in een gebied woonden in de buurt van de spoorlijn waarvoor niet meerdere metingen van spoortrillingen beschikbaar waren, werden uitgesloten van deelname. Uiteindelijk hebben 7.707 personen (~22%) de vragenlijst ingevuld. Daarvan gaf 89,8% (n = 6.922) toestemming om hun gegevens te koppelen aan gezondheidsregistraties. Voor de adressen van alle deelnemers die de vragenlijst hebben ingevuld, is de blootstelling aan trillingen geschat met behulp van een model dat is ontwikkeld op basis van 643 trillingsmetingen die in het verleden in het studiegebied waren uitgevoerd (zie ook [70]). De blootstelling aan trillingen werd uitgedrukt als de "maximum vibration velocity on the building foundation" ($V_{\max}$). Recent zijn de eerste resultaten gerapporteerd [30, 52, 71-73].

Als onderdeel van de EpiVib-studie werd ook de invloed van de blootstelling aan trillingen van treinverkeer op het hartvaatstelsel en het metabole stelsel onderzocht. Daarnaast werd er onderzocht wat het effect is op mentale gezondheid. De belangrijkste onderzochte effecten zijn hypertensie (verhoogde bloeddruk), beroerte, ischemische hartziekten, diabetes, en indicatoren voor overgewicht (Body Mass Index ≥ 30 kg/m² en een hoge middelomtrek), depressie, angst, en het gebruik van psychofarmaca¹⁶. Uit de analyses bleek dat de kans op hypertensie, beroerte, ischemische hartziekten, diabetes en overgewicht toeneemt naarmate de blootstelling aan trillingen van treinen toeneemt. De gevonden toename was alleen voor ischemische hartziekten en diabetes statistisch significant. Voor zowel diabetes als ischemische hartziekten werd na correctie voor versturende variabelen een Odds Ratio (OR) van 1,06 per 0,1 toename in trillingsniveau ($V_{\max}$) gevonden. Er werd geen associatie gevonden tussen de blootstelling aan trillingen van treinen en mentale gezondheid. Een belangrijke kanttekening bij de interpretatie van de resultaten van het onderzoek is dat het aantal deelnemers dat was blootgesteld aan hogere niveaus van trillingen relatief klein was. Bovendien waren de waargenomen verhogingen op het risico op ischemische hartziekten en diabetes onder deelnemers die waren blootgesteld aan hogere trillingsniveaus gebaseerd op kleine gevallen van respectievelijk ischemische hartziekten en diabetes. Daarnaast waren de gevonden verhogingen van het risico op het krijgen van respectievelijk ischemische hartziekten en diabetes niet altijd statistisch significant, waardoor deze observaties ook zouden kunnen worden verklaard door toeval [30, 71, 72].

In het Europese CargoVibes-project is ook naar andere gezondheidseffecten dan hinder en slaapverstoring gekeken. Omdat het hier veelal om effecten gaat die optreden na kortdurende blootstelling [64] worden ze hier niet verder besproken.

2.7 Blootstelling-responsrelaties

Blootstelling-responsrelaties geven aan hoeveel kans er op een bepaald effect/respons is te verwachten bij een bepaalde blootstelling. Ze kunnen op een aantal manieren worden afgeleid: a) op basis van de

¹⁶ Psychofarmaca zijn medicijnen die ingezet worden bij de behandeling van psychiatrische aandoeningen en psychische problemen.

resultaten van enkelvoudige studies, b) met behulp van een kwantitatieve samenvatting van de resultaten van een aantal enkelvoudige studies (ook wel aangeduid als een meta-analyse), of c) met behulp van een her-analyse van individuele data afkomstig van een aantal enkelvoudige studies of een deel van een studie [74, 75].

2.7.1 *Hinder*

In de loop van de tijd hebben verschillende onderzoekers geprobeerd een BR-relatie af te leiden voor de associatie tussen de blootstelling aan trillingen door treinverkeer en hinder [11, 22, 25, 30, 49, 52, 76, 77]. Hierbij maken we onderscheid tussen twee groepen:

- a) BR-relaties die, zoals het eerste onderzoek "Wonen langs het spoor" uit 2013 [11], zijn gebaseerd op de resultaten van een enkele studie [25, 30, 49, 52, 76]), en
- b) BR-relaties die zijn afgeleid op basis van de resultaten van meerdere studies [22, 77].

Ad a) De meest recente BR-relatie die is afgeleid op basis van een enkele studie is afkomstig van de Zweedse EpiVib-studie. Als onderdeel van dit project is de relatie tussen de blootstelling aan trillingen (uitgedrukt aan de hand van de afstand tot het spoor en de $V_{\max}$) onderzocht [30, 52]. Net als bij het eerste onderzoek "Wonen langs het spoor" [11], bleek dat mensen, naarmate ze dichter bij het spoor wonen, meer waren gehinderd door trillingen van treinen. En naarmate mensen waren blootgesteld aan hogere niveaus van trillingen, waren ze meer gehinderd door trillingen van treinen. De sterkste relaties werden steeds gevonden voor goederentreinen. Ook als onderdeel van de Britse Salford-studie zijn BR-relaties afgeleid tussen de blootstelling aan trillingen van treinen en ernstige hinder door trillingen van treinen. Net als in de EpiVib-studie werd de blootstelling uitgedrukt aan de hand van een aantal maten: de afstand tot het spoor, de VDV en de RMS. De BR-relaties die zijn afgeleid in de Salford-studie zijn gebaseerd op de gegevens van 752 personen [25].

Ad b) Het gaat hier om twee BR-relaties: (i) een relatie tussen de afstand tot het spoor en hinder door trillingen van treinverkeer, afgeleid door Janssen en collega's [77], en (ii) een BR-relatie afgeleid voor de associatie tussen trillingen van treinverkeer en hinder door trillingen van treinverkeer afgeleid als onderdeel van het CargoVibes-project [22, 78]. Janssen en collega's [77] hebben een BR-relatie afgeleid voor de associatie tussen afstand tot het spoor en hinder door trillingen van treinverkeer door middel van een meta-analyse waarin de resultaten van negen internationale vragenlijstonderzoeken werden gecombineerd. Ook in de CargoVibes-studie zijn BR-relaties afgeleid door middel van een meta-analyse. Daartoe werden de resultaten van zeven vragenlijstonderzoeken met elkaar gecombineerd. Daarvan waren vijf studies al in het verleden uitgevoerd [28, 43-47, 49, 51, 76, 79-81]; twee studies (Polen en Nederland) waren uitgevoerd als onderdeel van CargoVibes. In de zeven studies werden de effecten van verschillende spoorbronnen op hinder onderzocht. Er werden drie BR-relaties afgeleid, waarbij de blootstelling aan trillingen werd uitgedrukt door middel van drie verschillende blootstellingsindicatoren, namelijk $V_{\text{dir,max}}$, RMS en VDV. Hier werd gebruikt gemaakt van de ISO-weging. Er werd door de

onderzoekers geen conclusie getrokken over welke van de onderzochte blootstellingsindicatoren het beste was.

2.7.2 *Slaapverstoring*

Voor slaapverstoring door trillingen van treinen zijn er twee studies beschikbaar [11, 25] waarin een BR-relatie is afgeleid voor de associatie tussen de blootstelling aan trillingen en het percentage ernstige slaapverstoring. Beide BR-relaties zijn gebaseerd op de resultaten van een vragenlijstonderzoek. Daarbij drukten Woodcock en collega's [25] de nachtelijke blootstelling aan trilling uit door middel van de $VDV_{b23:00-7:00}$. Van Kamp en collega's [11] drukten de blootstelling uit door middel van afstand tot het spoor, V_{max} en RMS.

2.8 De rol van co-determinanten

Naast de blootstelling aan trillingen zijn er ook andere factoren die van invloed zijn op de ervaren hinder en/of slaapverstoring. Analoot aan de literatuur over omgevingsgeluid (bijvoorbeeld [38, 82]), gebruiken we de term co-determinanten om deze factoren aan te duiden.

We onderscheiden de volgende groepen potentiële co-determinanten:

- Situationele of contextuele factoren: Hieronder vallen bijvoorbeeld dag/nacht-ratio, ratio reizigers-/goederentreinen, aantal treinpassages, aantrekkelijkheid van de buurt, geluidsniveaus, bouwconstructie van de woning, rammelen ("rattle");
- Demografische en (sociaal)economische factoren: hier gaat het om leeftijd, geslacht, sociaaleconomische status (SES) of opleiding;
- Persoonlijke factoren: hierbij is er sprake van bijvoorbeeld angst voor schade aan de woning, angst voor onveilige stoffen, gezondheidsschade van trillingen en acceptatie, (geluid)gevoeligheid;
- Sociale factoren: het gaat over de houding ten aanzien van de trillingsbron of verantwoordelijken, houding ten aanzien van de toename van treinverkeer, houding ten opzichte van het huidige en toekomstig beleid ten aanzien van treinverkeer, houding ten opzichte van reizigers- en goederentreinen in termen van noodzaak en milieuvriendelijkheid en/of verwachtingen over de toekomst van het spoor.

Tot nog toe is het onderzoek naar de invloed van co-determinanten op het optreden van hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinverkeer beperkt. In de review van Van Kempen en collega's [10] en in hoofdstuk 2 van Van Kamp en collega's [11] wordt een overzicht van de bevindingen van eerdere studies gegeven. Uit deze overzichten bleek dat een aantal demografische, situationele/contextuele en persoonlijke factoren naar voren komt, die de relatie tussen trillingen van treinen en effecten mede kunnen beïnvloeden. Het gaat dan om aspecten als woonduur, woningtype, constructie van de woning, verhouding dag- en nachtbelasting door treinen, de ratio reizigers-/goederentreinen, de houding van mensen ten opzichte van treinverkeer, verwachtingen, acceptatie en angst voor bijvoorbeeld schade aan de woning. Deze factoren komen ook grotendeels naar voren in de eerste meting van "Wonen langs het spoor" uit 2013 [11]. Daaruit bleek dat factoren als

houding ten opzichte van treinverkeer, angst voor schade aan de woning en de (visuele) waarneming van trillende objecten, verwachtingen over toekomstige niveaus en acceptatie van de trillingen van invloed zijn op hoeveel hinder mensen van de trillingen van treinen ondervinden.

3 Onderzoeksopzet

3.1 Design

De Vervolgmeting "Wonen langs het spoor" is een dwarsdoorsnede-onderzoek, waarbij we gebruik hebben gemaakt van een online vragenlijst. Hierin is gevraagd naar zowel gezondheidseffecten als de mogelijke determinanten daarvan. Het veldwerk heeft plaatsgevonden in de periode september-november 2021.

3.2 Steekproeftrekking

Aan het onderzoek hebben twee groepen deelnemers meegedaan: (i) deelnemers verkregen via een nieuwe steekproef (groep I), en (ii) deelnemers die al aan eerdere vragenlijstonderzoeken van "Wonen langs het spoor" [11, 19] hadden deelgenomen (groep II). Hieronder beschrijven we voor beide groepen de steekproeftrekking.

3.2.1 *Deelnemers verkregen via een nieuwe steekproef (groep I)*

Op basis van het bestand Basis Administratie Gebouwen (BAG) (januari 2018) en het Spoorbanen bestand uit 2019 hebben we met behulp van Geografisch Informatie Systemen (GIS) (ArcMap) een selectie gemaakt van alle adressen die (i) binnen 300 meter van een spoorlijn liggen waarover een trein rijdt, en (ii) die volgens BAG een woonbestemming hadden en/of de status "in gebruik". In totaal ging het om ruim 848.000 adressen. Vervolgens hebben we de volgende adressen verwijderd:

- We hebben alle adressen verwijderd waarvan op voorhand werd ingeschat dat er een kans bestond dat niet goed mogelijk zou zijn om de blootstelling aan spoortrillingen op een betrouwbare wijze te schatten met behulp van het OURS-model. De gebieden waarin deze adressen liggen, duiden we ook wel aan als uitsluitingsgebieden. Het gaat om adressen in de buurt van de volgende spoorlocaties: spoorbruggen (n = 268.697), tunnelbakken (n = 34.536) en grote stations met veel parallelle sporen (n = 2.524). De adressen in de uitsluitingsgebieden liggen mogelijk buiten het toepassingsgebied van het OURS-model. In totaal gaat het om 305.757 adressen. De uitsluitingsgebieden zijn op een generieke wijze ruim gekozen. Voor veel van de adressen binnen de uitsluitingsgebieden geldt dat als deze individueel beoordeeld zouden worden ze wel goed berekend zouden kunnen worden. Maar dit is een erg bewerkelijk en langdurig proces, waarvoor de tijd en het budget ontbrak;
- We hebben alle adressen verwijderd waarvan de bewoners al waren uitgenodigd voor het onderzoek uit 2013. Het gaat in totaal om 16.000 adressen. Ruim 6.000 adressen bleken ook in een uitsluitingsgebied te liggen.

Uit de resterende 532.730 adressen hebben we, net als bij het onderzoek uit 2013, een steekproef van 16.000 adressen getrokken. Om een zo goed mogelijke verdeling te krijgen over de blootstelling aan trillingen, is gestratificeerd op afstand tot het spoor en bouwjaar van de woning. Dit is vergelijkbaar met de aanpak zoals die in 2013 is

gehanteerd (zie ook [11]). In tabel 3.1 wordt een beschrijving gegeven van de gebruikte strata.

De blootstelling aan spoortrillingen wordt gemodelleerd (zie ook paragraaf 3.6). Daarbij maken we gebruik van verschillende invoergegevens. Belangrijke invoergegevens zijn sonderingen die zijn opgenomen in de Basisregistratie Ondergrond (BRO) en de geomorfologische ondergrondkaart. Wanneer er geen sonderingen aanwezig zijn in de nabijheid van het adres (600 meter) of binnen een geomorfologisch ondergrondtype in de nabijheid van het adres, kan de blootstelling voor dat adres niet worden berekend. Dit is omdat er onvoldoende informatie is over de opbouw van de ondergrond. Het gaat naar schatting om ongeveer 15-20% van de adressen. Het is zeer complex om op voorhand te bepalen om welke adressen binnen 300 meter van het spoor het gaat. Bovendien vergt dit veel rekentijd. Wel is bekend dat het aantal beschikbare sonderingen en daarmee de dekking van het model in de toekomst zal toenemen. Omdat we toch van zoveel mogelijk deelnemers de blootstelling aan spoortrillingen wilden schatten, hebben we na het *willekeurig* trekken van adressen uit het steekproefkader (bestaande uit 532.730 adressen) gecontroleerd of ze in de buurt liggen van een sondering. Wanneer dit niet het geval was, werd er gerandomiseerd een nieuw adres getrokken. Deze procedure ging net zolang door totdat het aantal van 16.000 adressen was gehaald. Uiteindelijk bleken er daardoor 4.495 extra adressen te zijn getrokken.

Tabel 3.1 Totaal aantal uitgenodigde adressen per stratum, geselecteerd door middel van een nieuwe gestratificeerde steekproef.

Stratum	Afstand tot spoor (m)	Bouwjaar woning	Aantal uitgenodigde adressen
1	Tot 50 m	Voor 1950	4.000
2	Tot 50 m	Vanaf 1950	4.000
3	50 – 100 m	Voor 1950	2.400
4	50 – 100 m	Vanaf 1950	2.400
5	100 – 300 m	Voor 1950	1.600
6	100 – 300 m	Vanaf 1950	1.600
Totaal			16.000

Ten behoeve van het onderzoek uit 2013 is met behulp van power-berekeningen geschat dat er 13.000 à 16.000 deelnemers voor het onderzoek nodig zijn om uiteindelijk voldoende mensen over te houden om een betrouwbare uitspraak mee te kunnen doen. Hierbij is uitgegaan van een betrouwbaarheid van 95% en een power van 60-90% om een effect op hinder waar te nemen, en een verwachte respons van 30% te halen [11].

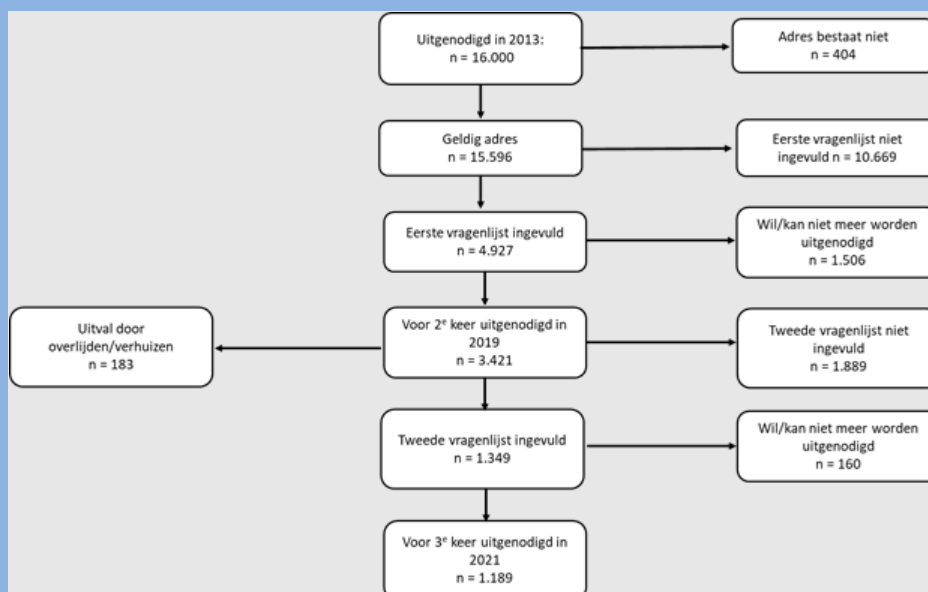
3.2.2 *Deelnemers die al een keer eerder hebben deelgenomen (groep II)*

In aanvulling op de 16.000 adressen hebben we ook nog 1.189 personen uitgenodigd die al in 2013 en 2019 aan het onderzoek "Wonen langs het spoor" hadden deelgenomen [11, 19], en die hebben aangegeven dat we ze nog een keer mochten benaderen. In box 2 wordt kort beschreven hoe we aan deze 1.189 personen zijn gekomen. Tabel 2

laat zien hoe de 1.189 uitgenodigde deelnemers waren verdeeld qua afstand en bouwjaar van de woning.

Box 2 Verkrijging deelnemers die in 2013 en 2019 hebben deelgenomen

In 2013 is aan bewoners van 16 jaar en ouder van 16.000 adressen binnen een afstand van maximaal 300 meter van het spoor een uitnodiging gestuurd voor deelname aan het onderzoek "Wonen langs het spoor". Deze 16.000 adressen waren verkregen door middel van een willekeurige steekproef waarbij werd gestratificeerd op basis van de afstand van de woning tot het spoor, het bouwjaar van de woning en het type bodem waarop de woning was gebouwd. De 16.000 aspirant-deelnemers werden in oktober 2013 uitgenodigd om een vragenlijst (online of op papier) in te vullen. Uiteindelijk werd de vragenlijst ingevuld door 4.927 deelnemers (respons 29%). Van deze 4.927 deelnemers gaven 3.421 mensen aan dat zij opnieuw benaderd mochten worden voor een eventueel vervolgonderzoek. Deze 3.421 mensen zijn in 2019 uitgenodigd voor een herhaalmeting. Dat betekende dat aan deze mensen een brief werd gestuurd met daarin een uitnodiging voor deelname aan een vragenlijstonderzoek. Er werd gevraagd dezelfde persoon te laten deelnemen als de deelnemer van 2013. Van de 3.421 genodigden hebben 1.349 personen de vragenlijst ingevuld. Na aanschrijving bleek dat op verschillende adressen de post onbestelbaar was of dat personen waren overleden of verhuisd. De uiteindelijke respons bedroeg 40%. Van de 1.349 deelnemers die in 2019 hadden deelgenomen aan de Herhaalmeting gaven 1.189 mensen aan dat zij opnieuw benaderd mochten worden voor een eventueel vervolgonderzoek. In 2021 zijn deze 1.189 personen uitgenodigd ten behoeve van de Vervolgmeting.



Figuur B2 Stroomdiagram deelname aan het onderzoek "Wonen langs het spoor" uit 2013 en 2019

Tabel 3.2 Verdeling van de uitgenodigde deelnemers uit groep II aan de Herhaalmeting over de 6 strata.

Stratum	Afstand tot spoor (m)	Bouwjaar woning	Aantal uitgenodigde personen
1	Tot 50 m	Voor 1950	378
2	Tot 50 m	Vanaf 1950	342
3	50 – 100 m	Voor 1950	168
4	50 – 100 m	Vanaf 1950	156
5	100 – 300 m	Voor 1950	76
6	100 – 300 m	Vanaf 1950	69
Totaal			1.189

3.3

Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd door Kantar Public. Aan de bewoners van de 16.000 geselecteerde adressen (groep I) werd een brief gestuurd met daarin een uitnodiging voor deelname aan het onderzoek. Per adres werd diegene van 16 jaar en ouder, die het eerst jarig zou zijn, gevraagd om een online vragenlijst in te vullen. Ook aan de 1.189 deelnemers uit 2013 en 2019 (groep II) is een brief gestuurd, waarin de persoon die al aan de twee eerdere metingen had meegedaan, werd uitgenodigd om de vragenlijst in te vullen.

In de uitnodigingsbrief aan *alle* aspirant-deelnemers was het webadres van een speciale RIVM-webpagina opgenomen. De aspirant deelnemers werden uitgenodigd om naar deze webpagina te gaan en door middel van een unieke inlogcode (toegewezen door Kantar Public) in te loggen in de vragenlijst-tool van Kantar Public. Nadat een aspirant deelnemer toestemming had gegeven voor het verwerken van zijn/haar gegevens die met behulp van de vragenlijst zouden worden verzameld, kon de vragenlijst worden ingevuld. De uitnodigingsbrieven zijn terug te vinden in bijlagen 1 en 2.

Ongeveer twee weken na de verzending van de vragenlijst hebben we een herinnering verstuurd naar die adressen die tot dan toe nog niet hadden gerespondeerd. We kwamen er twee weken na het verzenden van de eerste uitnodigingen achter dat we naar 1.423 adressen in groep I twee uitnodigingsbrieven hadden gestuurd. We hadden in feite dus niet 16.000 adressen benaderd, maar 14.577 adressen. Besloten werd om alsnog 1.423 nieuwe adressen te trekken uit de bak van 532.730 adressen, en naar deze adressen alsnog een uitnodiging te sturen. Daarbij is dezelfde verdeling over de strata aangehouden als in de originele steekproef.

Weer twee weken later hebben we naar alle adressen die nog steeds niet hadden gereageerd een tweede herinnering gestuurd. Ditmaal in de vorm van een postkaart. Om de respons te verhogen, werden 30 bonnen van 50 euro verloot onder de deelnemers.

3.4

De vragenlijst

Met behulp van een online-vragenlijst hebben we informatie verzameld over zowel de waarneming van trillingen door treinverkeer, de effecten van de trillingen, als over de mogelijke determinanten daarvan.

Tabel 3.3 Overzicht van de vragenlijst die is gebruikt voor de Vervolgmeting

Blok	Titel	Omschrijving
1	Uw woonomgeving	Gegevens over de beleving van de woonomgeving: tevredenheid woonomgeving, de (on)prettige kanten aan de woonomgeving, verwachtingen van diverse aspecten van de buurt
2	Trillingen in en rondom uw woning	Gegevens over de beleving van de trillingen in en rondom de woning: hinder door trillingen van diverse omgevingsbronnen (inclusief treinverkeer), frequentie van waarnemen van trillingen door specifieke spoorbronnen, de waarneming van trillingen door treinen, hinder door trillingen van specifieke spoorbronnen, slaapverstoring door trillingen van diverse omgevingsbronnen (inclusief treinverkeer en spoorbronnen) en ook voor specifieke spoorbronnen
3	De geluidssituatie in en rondom uw woning	Gegevens over de beleving van de geluidssituatie in en rondom woning: waardering geluidssituatie rondom woning, hinder en slaapverstoring vanwege geluid afkomstig van verschillende omgevingsbronnen en voor specifieke spoorbronnen
4	Vragen over wonen aan het spoor	In welke mate reist deelnemer/familie per spoor, uitzicht woon- en slaapkamer t.o.v. spoorlijn, bezorgdheid, attitude treinverkeer en -beleid, mening over milieuvriendelijkheid en (on)misbaarheid treinen, acceptatie trillingen treinen
5	Uw woning	Gegevens over de woning: koop/huurwoning, type woning, aantal verdiepingen en locatie woon/slaapkamer, aantal kamers, aanwezigheid kelder, constructie vloeren woon/slaapkamer, type geluidsisolatie, type isolatie trillingen, raam-gedrag
6	Gezondheid	Gegevens over de ervaren gezondheid van de deelnemers. Specifiek is gevraagd naar: algemene gezondheid, slaapkwaliteit, geluidsgevoeligheid en verandering van de situatie wat betreft geluid en trillingen rond het spoor ten gevolge van de Corona-pandemie
7	Uzelf en uw huishouden	Demografische gegevens over de deelnemer en diens huishouden: samenstelling huishouden, geslacht, geboortjaar, hoogst voltooide opleiding, werksituatie
8	Overige informatie	Toestemming om deelnemer opnieuw te mogen benaderen, eerste letter voornaam, achternaam, woonadres, e-mailadres

De vragenlijst is grotendeels hetzelfde als de vragenlijst die Van Kamp en collega's [11] in 2013 hebben gebruikt. De vragenlijst bevat vragen die grotendeels zijn afgeleid uit de vragenlijst die is gebruikt in het Europese project CargoVibes [65, 78], aangevuld met vragen uit de

studie uitgevoerd door de Universiteit van Salford [83], en de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol [84]. Ook is gebruik gemaakt van vragen afkomstig uit nationale onderzoeken, zoals de GGD Gezondheidsmonitor, Woononderzoek Nederland (WoON) en andere vragenlijst onderzoeken (bijvoorbeeld [85]). De vragenlijst is opgebouwd uit een aantal blokken. Deze worden weergegeven in tabel 3.3.

De concept-vragenlijst hebben we ter inhoudelijke beoordeling voorgelegd aan RIVM-collega's, de opdrachtgever en aan een stakeholdergroep met vertegenwoordigers van ProRail, GGD' en, provincie en gemeente. Ten slotte is de vragenlijst ook beoordeeld door een groep burgers die in de buurt van een spoorlijn wonen. Deze burgers zijn geworven uit het panel van Kantar Public. Doel was om te achterhalen of de vragenlijst begrijpelijk was en of er nog zaken ontbraken, dan wel anders zouden moeten. Op basis van de commentaren is de vragenlijst aangepast. Voor de vragenlijst zelf, verwijzen we naar bijlage 3.

Omdat het voor de deelnemers van groep II een herhaalmeting betreft, hebben we een aantal achtergrondkenmerken die we in 2013 al hadden verzameld en redelijkerwijs niet waren veranderd, niet opnieuw gevraagd. Het ging hier om geboortejaar, geslacht, woonduur, type woning, aantal verdiepingen, locatie woon/slaapkamer, aantal kamers en aanwezigheid kelder.

3.5 Non-responsonderzoek

Net als bij het onderzoek uit 2013 [11], is ook nu een non-responsonderzoek uitgevoerd. De deelname aan het vragenlijstonderzoek kan namelijk beïnvloed worden door factoren die rechtstreeks samenhangen met het onderwerp van de studie. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk dat personen die veel hinder van trillingen door treinen ondervinden, eerder geneigd zijn te responderen dan personen die daar geen hinder van ondervinden. De hierdoor veroorzaakte selectieve respons heeft tot gevolg dat de deelnemers niet geheel representatief zijn voor de totale steekproef, wat resulteert in een vertekening (bias) van het eindresultaat. Om erachter te komen of dit het geval is, hebben we een onderzoek uitgevoerd onder een groep non-respondenten. Daarbij is het van belang dat de respons zo hoog mogelijk is. Anders zijn de gegevens die zijn verzameld met behulp van het non-responsonderzoek minder of niet bruikbaar.

3.5.1 *Gevolgdde procedure groep I*

Ten behoeve van het non-respons onderzoek in groep I hebben we de volgende procedure gevolgd: Kantar Public heeft een aselechte steekproef getrokken van 972 adressen uit de groep van de adressen van de 16.000 aspirant-deelnemers die voor de eerste keer zijn uitgenodigd om deel te nemen aan het onderzoek "Wonen langs het spoor" (groep I), maar na twee reminders nog steeds niet hebben gerespondeerd. Aspirant-deelnemers van wie is gebleken dat de adresgegevens in het BAG correspondeerden met een foutief adres, werden niet uitgenodigd voor het non-respons-onderzoek. Aspirant-deelnemers die hadden aangegeven dat ze niet meer willen worden

benaderd of die al in 2013 en 2019 hadden deelgenomen (groep II), zijn ook niet uitgenodigd.

Van de non-respondenten is bij aanvang van het non-responsonderzoek alleen het woonadres bekend (vanuit BAG). Om een zo hoog mogelijk respons percentage te behalen onder de non-respondenten, heeft Kantar Public geprobeerd om de adresgegevens van deze non-respondenten zoveel mogelijk te verrijken met een telefoonnummer. Daartoe heeft Kantar Public het bedrijf EDM ingeschakeld. Bij de verrijking met telefoonnummers heeft EDM gebruik gemaakt van licenties op publieke- én private bronnen om haar databases samen te stellen (zie ook <https://consubase.nl/wat-is-consubase>). De telefoonnummers die in deze databases zitten, zijn dus niet enkel verkregen uit publiek toegankelijke bronnen. Omdat we alleen de beschikking hebben over adresgegevens (en geen namen) werd voorafgaand aan het non-responsonderzoek geschat dat het bij 30-35% van de adressen zou gaan lukken om het telefoonnummer te achterhalen.

Alle aspirant-deelnemers aan het non-responsonderzoek kregen een uitnodigingsbrief om een korte vragenlijst online in te vullen. Non-respondenten van wie het telefoonnummer door het veldwerkbureau was achterhaald, werden telefonisch benaderd met verzoek de acht vragen te beantwoorden. Dit kondigden we ook aan in de uitnodigingsbrief. Daarin gaven we de aspirant-deelnemers ook de mogelijkheid om zich op voorhand af te melden, als ze niet gebeld wilden worden.

Voor het non-responsonderzoek zijn acht vragen uit de vragenlijst van het hoofdonderzoek geselecteerd: (i) twee eindpunten: hinder door trillingen van treinen en tevredenheid met de woonomgeving; (ii) vier determinanten: leeftijd, woonduur, geslacht, hoogste opleidingsniveau; (iii) twee mediators: houding ten aanzien van het spoorbeleid en de groei van treinverkeer, en (iv) ook is gevraagd naar de reden van non-respons. De vragenlijst die is gebruikt in het non-responsonderzoek is terug te vinden in bijlage 4.

3.5.2 *Gevolgte procedure groep II*

Omdat er over de 1.189 deelnemers uit 2013 en 2019 (groep II) al veel gegevens beschikbaar waren uit de eerdere metingen, hebben we er voor gekozen om een vergelijking te maken tussen de respondenten en niet-respondenten van groep II. De volgende aspecten zijn met elkaar vergeleken: leeftijd, geslacht, hoogste opleidingsniveau, hinder door trillingen van treinen gemeten in 2019, tevredenheid met de woonomgeving gemeten in 2019 en houding ten aanzien van het spoorbeleid en de groei treinverkeer gemeten in 2019.

3.6 **Blootstelling aan trillingen van treinen**

Voor de adressen van de deelnemers aan de Vervolgmeting hebben we de blootstelling van spoortrillingen vastgesteld door middel van berekeningen met het OURS-rekenmodel [15, 16]. Dit model is in opdracht van het ministerie van I&W ontwikkeld door een consortium van experts onder leiding van het RIVM. Het OURS-model berekent de

trillingsniveaus op basis van de trillingsbron (emissie van treinen en spoor) en de overdracht in de bodem richting de fundering van het gebouw. Vervolgens voorspelt het model de overdracht in het gebouw. Om de overdracht in de bodem goed te bepalen, wordt gebruik gemaakt van ingemeten bodemeigenschappen uit de Basisregistratie Ondergrond (BRO). Al deze stappen kennen een zekere onnauwkeurigheid die door het OURS-model ook wordt berekend. Voor de verdere analyse is geen gebruik gemaakt van die onnauwkeurigheid. Dit is ook minder relevant omdat er sprake is van een grote groep waardoor over- en onderschattingen elkaar zullen uitmiddelen.

Voor de berekening van de blootstelling aan trillingen door treinen hebben we gebruik gemaakt van verschillende brongegevens. Voor de intensiteiten en snelheden van treinen zijn we uitgegaan van de gegevens uit 2019 (vóór de invloed van coronamaatregelen op de dienstregeling). Dit wordt als representatief gezien voor de situatie in 2021. Daarnaast is de spoorligging uit 2021 gebruikt. De intensiteiten, die geleverd zijn door ProRail, betroffen treinintensiteiten in rekeneenheden (meestal bakken) zoals gedefinieerd in het Reken- en meetvoorschrift geluid 2021. Voor trillingen wordt gekeken naar het aantal treinen dat passeert. Dit is ook vereist als invoergegeven in het OURS-model. Op basis van een analyse van een aantal trajecten waarbij zowel het aantal rekeneenheden als het aantal treinen bekend was, hebben we een algemene omrekeningfactor gehanteerd. Deze factor is 0,2 voor reizigerstreinen en 0,05 voor goederentreinen. Daarmee is het uitgangspunt dat een gemiddelde reizigerstrein uit vijf rekeneenheden bestaat en een gemiddelde goederentrein uit 20 rekeneenheden.

Voor de bodem is gebruik gemaakt van de sonderingen uit de Basisregistratie Ondergrond (BRO) van 4 februari 2022.

Voor de gebouwen zijn gegevens uit het BAG (peildatum juni 2022) gebruikt. Dit betrof de volgende gegevens: a) bouwjaar, b) afmetingen gebouw zowel haaks als evenwijdig met het spoor, en c) bouwhoogte (op basis van 3D BAG van juni 2022). Indien uit de vragenlijst bleek dat er sprake is van een houten vloer in de woning van een deelnemer, dan is dat ook als eigenschap meegenomen in de berekening. Met behulp van het model zijn voor de deelnemers op woningniveau de volgende blootstellingsindicatoren berekend (zie ook tabel 3.4):

Indicatoren die iets zeggen over de maximale blootstelling:

De $V_{dir,max}$ en de V_{max} geven de maximale trillingssterkte van alle passages gedurende een week weer. Het verschil tussen de V_{max} en $V_{dir,max}$ is dat de $V_{dir,max}$ de richtingsafhankelijke ISO-weging [23] heeft, die rekening houdt met het verschil tussen de gevoeligheid voor verticale en horizontale trillingen bij de waarneming van trillingen op de vloer en daarmee een andere frequentieweging kent (weging per richting). De V_{max} kent de standaard weging uit de SBR-richtlijn deel B [1]. De $V_{dir,max}$ en V_{max} zijn dimensieloze maten. Dit betekent dat deze waarden zijn gedeeld door een (gewogen) referentietrilling, en dat deze waarden vervolgens steeds zonder de eenheid mm/s worden vermeld. Net als de V_{max} en $V_{dir,max}$ zijn ook de V_{per} en de RMS dimensieloze maten.

Indicatoren die iets zeggen over de gemiddelde blootstelling:

De RMS is de kwadratisch gemiddelde (root-mean-square) effectieve trillingssterkte tijdens passages. In tegenstelling tot de $V_{dir,max}$ en V_{max} wordt bij de RMS ook rekening gehouden met het aantal passages. Uit analyses van zowel TNO als het CargoVibes project [21, 22] is gebleken dat de RMS meerwaarde zou hebben bij de voorspelling van hinder. Net als bij de maximale trillingssterkte is er voor de RMS een versie beschikbaar *met* richtingsafhankelijke ISO-weging [23] (hier aangeduid als RMS_{ISO+}) en een versie *zonder* richtingsafhankelijke ISO-weging (RMS). Daarnaast zijn zowel de RMS_{ISO+} als RMS afzonderlijk voor de dag-, avond- en nachtperiode berekend. Daarbij loopt de dagperiode van 7:00 tot 19:00 uur, de avondperiode van 19:00 tot 23:00 uur, en de nachtperiode van 23:00 tot 7:00 uur.

De V_{per} is de kwadratisch gemiddelde trillingssterkte gedurende de beoordelingsperiode, gewogen naar de duur van de blootstelling. Voor de V_{per} geldt dus dat bij een groter aantal treinp passages de waarde hoger wordt. Dit is bij de V_{max} veel minder het geval. Net als bij de andere twee maten is er een versie beschikbaar waarbij een richtingsafhankelijke ISO-weging heeft plaatsgevonden (aangeduid als de $V_{per,ISO+}$) en een versie waarbij er *geen* richtingsafhankelijke ISO-weging [23] heeft plaatsgevonden (net als in de Bts [2] en SBR [1] aangeduid als V_{per}). Daarnaast zijn zowel de V_{per} als $V_{per,ISO+}$ afzonderlijk voor de dag-, avond- en nachtperiode berekend. Daarbij loopt de dagperiode van 7:00 tot 19:00 uur, de avondperiode van 19:00 tot 23:00 uur, en de nachtperiode van 23:00 tot 7:00 uur.

Alle hierboven beschreven blootstellingsmaten zijn zowel berekend voor totaal railverkeer, als apart voor goederen- en reizigerstreinen. Daarnaast is voor elke deelnemer de afstand (in meters) berekend tussen de dichtstbijzijnde gevel van de woning en het spoor.

Tabel 3.4 Overzicht van de beschikbare blootstellingsmaten voor trillingen van verschillende treintypen

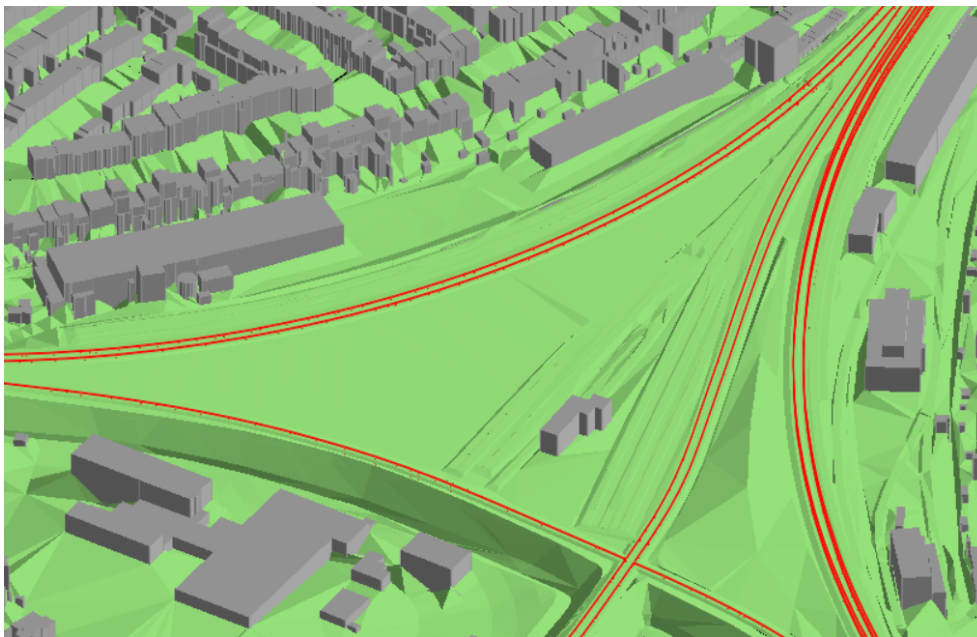
Trillingsbron ISO-2631- weging	Maximale trillingssterkte		Gemiddelde trillingssterkte ^a	
	Ja	Nee	Ja	Nee
Totaal railverkeer	$V_{dir,max}$	V_{max}	RMS_{ISO+} , $RMS_{dag,ISO+}$, $RMS_{avond,ISO+}$, $RMS_{nacht,ISO+}$, $V_{per,ISO+}$, $V_{per,dag,ISO+}$, $V_{per,avond,ISO+}$, $V_{per,nacht,ISO+}$	RMS , RMS_{dag} , RMS_{avond} , RMS_{nacht} , V_{per} , $V_{per,dag}$, $V_{per,avond}$, $V_{per,nacht}$
Goederen- treinen	$V_{dir,max}$	V_{max}	RMS_{ISO+} , $RMS_{dag,ISO+}$, $RMS_{avond,ISO+}$, $RMS_{nacht,ISO+}$, $V_{per,ISO+}$, $V_{per,dag,ISO+}$, $V_{per,avond,ISO+}$, $V_{per,nacht,ISO+}$	RMS , RMS_{dag} , RMS_{avond} , RMS_{nacht} , V_{per} , $V_{per,dag}$, $V_{per,avond}$, $V_{per,nacht}$
Reizigers- treinen	$V_{dir,max}$	V_{max}	RMS_{ISO+} , $RMS_{dag,ISO+}$, $RMS_{avond,ISO+}$, $RMS_{nacht,ISO+}$, $V_{per,ISO+}$, $V_{per,dag,ISO+}$, $V_{per,avond,ISO+}$, $V_{per,nacht,ISO+}$	RMS , RMS_{dag} , RMS_{avond} , RMS_{nacht} , V_{per} , $V_{per,dag}$, $V_{per,avond}$, $V_{per,nacht}$

^aDe dagperiode loopt van 7:00 tot 19:00 uur, de avondperiode van 19:00 tot 23:00 uur, en de nachtperiode van 23:00 tot 7:00 uur.

3.7 Blootstelling aan geluid van treinverkeer

Voor elke deelnemer heeft het RIVM de blootstelling aan geluid van treinverkeer berekend volgens de standaard rekenmethode II van het Reken- en meetvoorschrift geluid. Voor dit model is gebruik gemaakt van snelheden en intensiteiten van 2019 zoals aangeleverd door ProRail aan gemeenten ten behoeve van geluidkartering in het kader van de richtlijn omgevingslawaai. Infomil¹⁷ heeft deze gegevens beschikbaar gesteld. In het model is het omgevingsmodel uit het 3D Basisbestand geluid (peildatum najaar 2022) gebruikt.

Het model berekent zowel de L_{den} als de L_{night} . De L_{den} is het jaargemiddelde geluidniveau waarbij er voor geluid voor de avondperioden (tussen 19:00 en 23:00 uur) een toeslag wordt gegeven van 5 dB en voor geluid in de nachtperiode (tussen 23:00 en 07:00 uur) een toeslag van 10 dB. Voor ieder adres is het hoogst invallende geluidniveau op de gevel berekend. Om deze hoogste berekende waarde te bepalen, is op iedere verdieping en om de vijf meter langs de gevels een geluidbelasting berekend. De hoogst berekende geluidbelasting op een pand is toegekend aan de respondent wonend in dat pand. Figuur 3.1 toont een 3D-weergave van een deel van het rekenmodel.



Figuur 3.1 Uitsnede van het 3D-geluidsmodel met spoorbaan, taluds en gebouwen.

3.8 Fysieke en sociale kenmerken van de omgeving

In aanvulling op de blootstelling aan spoortrillingen en de blootstelling aan geluid van treinverkeer, onderzoeken we ook de rol van een aantal fysieke en sociale kenmerken van de omgeving waarin de deelnemers wonen. Het gaat om de volgende kenmerken:

- Afstand (m) vanaf de woning van de deelnemer hemelsbreed genomen tot de dichtstbijzijnde weg en/of grote weg

¹⁷ <https://www.infomil.nl/onderwerpen/geluid/uitvoering-kartering/index/uitwisseling/brongegevens-hoofdspoorwegen/>

- (provinciale- of rijksweg) Nationaal Wegenbestand (NWB) 2019. Net als treinverkeer kan ook wegverkeer trillingen veroorzaken;
- Geluid van wegverkeer in L_{den} (in dB) en L_{night} (in dB) op de hoogst belaste gevel van het adres van de deelnemer (op basis van Stamina kaarten, RIVM 2017);
 - Afstand tot een treinstation (m). Het gaat hier om de gemiddelde afstand van alle inwoners in een buurt tot het dichtstbijzijnde treinstation berekend over de weg [86, 87]. Om deze afstand te bepalen, is nagegaan in welke buurt het adres van een deelnemer ligt;
 - Eventuele ligging aan de zogenaamde Basisnetroute. De Basisnetroute is een treinverbinding waarover gevaarlijke stoffen worden vervoerd [88];
 - Percentage groen binnen een straal van 500 meter van het woonadres van de deelnemer [89]: het gaat om de hoeveelheid groen (bomen, struiken en planten) op een oppervlak van 10 bij 10 meter;
 - Percentage boomoppervlak binnen een straal van 500 meter van het woonadres van de deelnemer [90]: het gaat om de hoeveelheid bomen van 2,5 meter of hoger;
 - De jaargemiddelde concentratie $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$) [91]. Dit is informatie op adresniveau van de deelnemers bij een resolutie van 25 bij 25 meter: de $PM_{2,5}$ -concentratie is berekend door gebruik te maken van de monitoringstool van het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL);
 - De jaargemiddelde concentratie NO_2 ($\mu g/m^3$) [92]. Dit is informatie op adresniveau van de deelnemers bij een resolutie van 25 bij 25 meter: de NO_2 -concentratie is berekend met behulp van de monitoringstool van het NSL;
 - De mate van stedelijkheid [86, 87]: Op grond van de omgevingsadressendichtheid is aan iedere buurt, wijk of gemeente een stedelijkheidsklasse toegekend. De volgende klassenindeling is gehanteerd: 1) zeer sterk stedelijk (≥ 2.500 adressen per km^2), 2) sterk stedelijk (1.500 – 2.500 adressen per km^2), 3) matig stedelijk (1.000 – 1.500 adressen per km^2), 4) weinig stedelijk (500 – 1.000 adressen per km^2), en 5) niet stedelijk (< 500 adressen per km^2). Het woonadres van de deelnemers is op buurtniveau gekoppeld;
 - Leefbaarheidsscore uit de Leefbaarometer (op basis van het LBM3, buurtinformatie 2021) [93]. Zie ook tabel 4.8: De leefbaarheidsscore is een waardering die een indicatie geeft van de leefbaarheid in een bepaald jaar per woongebied. Voor deze waardering worden negen klassen gebruikt van zeer onvoldoende tot uitstekend. De leefbaarheidsscore van een gebied in een bepaald jaar is geschat met behulp van de Leefbaarometer. Met dit instrument kan op laag schaalniveau (wijk/buurt) aan de hand van een groot aantal kenmerken van de woonomgeving een inschatting worden gemaakt van de leefbaarheid (zie ook [93] en de website www.leefbaarometer.nl). Om de leefbaarheidsscore van de buurt van een deelnemer te bepalen, is nagegaan in welke buurt het woonadres van een deelnemer ligt.
 - Gemiddelde WOZ-waarde in 2020 (euro) [86, 87]: WOZ is een afkorting van Waarde onroerende zaken. De gemiddelde WOZ-waarde wordt door het CBS als volgt gedefinieerd: "Dit is de

gemiddelde WOZ-waarde van alle verblijfsobjecten met een woonfunctie. Woningen die een waarde hebben van minder dan 10.000 euro of meer dan 5 miljoen euro zijn niet meegenomen in het bepalen van het gemiddelde". Om de gemiddelde WOZ-waarde te bepalen, is nagegaan in welke buurt het woonadres van een deelnemer ligt.

3.9 Gebruikte statistiek

3.9.1 *Weging voor de wijze van steekproeftrekking*

Om tot valide schattingen van de prevalenties van ernstige hinder en ernstige slaapverstoring te komen, hebben we de getrokken steekproef teruggewogen naar de doelpopulatie: alle personen van 16 jaar en ouder die binnen een afstand van 300 meter van het spoor wonen (met uitzondering van personen wonend in gebieden nabij spoorbruggen, tunnelbakken, en grote stations met veel parallelle sporen). Daartoe krijgt elke deelnemer in de studie een weegfactor toegekend. Deze weegfactor geeft weer hoeveel personen in de doelpopulatie elke deelnemer symboliseert. De in de analyses gebruikte weegfactor houdt rekening met:

- *De trekkingskans of steekproeffractie*: dit is de kans van elk persoon van 16 jaar en ouder in het onderzoeksgebied om deel uit te maken van de steekproef, gestratificeerd naar de afstand en bouwjaar (gedichotomiseerd: voor en na 1950) die voorkomen in het onderzoeksgebied.
- *Unit non-respons*: dit is het volledig ontbreken van vragenlijstinformatie over een persoon. Een deel van de in de steekproef geselecteerde personen zal om verschillende redenen (weigering, verhuizing, et cetera) geen vragenlijst invullen;

In tegenstelling tot het onderzoek uit 2013 [11] hadden de deelnemers aan de Vervolgmeting alleen de mogelijkheid om de vragenlijst online in te vullen. Daarbij was het, na verkregen toestemming, niet mogelijk de vragenlijst te voltooien zonder op elke vraag een antwoord te geven. Daardoor werd de kans op item non-respons heel klein/nihil geacht. Een uitgebreide beschrijving van de weegfactoren is te vinden in Bijlage 5.

3.9.2 *Bepaling van de meest geschikte blootstellingsmaat*

Om ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van treinen te kunnen voorspellen, hebben we de meest geschikte blootstellingsmaat voor trillingen door treinen bepaald door een vergelijking te maken tussen logistische regressiemodellen op basis van verschillende indicatoren. Hierbij hebben we gekeken naar zowel de fit van het model als de nauwkeurigheid van het model. De fit van het model is in deze studie uitgedrukt door middel van het *Akaike Information Criterion* (AIC); de nauwkeurigheid van het model is uitgedrukt door middel van de *area under the curve* (AUC) van de *receiver operating characteristic-curve* (ROC). Meer uitleg over deze maten is terug te vinden in paragraaf 3.9.3. In aanvulling op de fit en nauwkeurigheid zijn we ook nagegaan hoe de verschillende indicatoren onderling met elkaar correleerden.

3.9.3 *Het afleiden van blootstelling-respons relaties*

Een BR-relatie geeft het verband weer tussen een blootstelling en de respons op deze blootstelling binnen een populatie. De respons in deze studie bestaat uit het verwachte percentage personen met ernstige hinder of slaapverstoring door trillingen van treinen. Vaak is de relatie tussen blootstelling en respons lineair: de kans op een respons neemt toe naarmate de blootstelling toeneemt. Soms verloopt de relatie wat ingewikkelder: Zo kan er sprake zijn van een drempelwaarde waaronder geen detecteerbare effect(en) optreden, of kan de kans op een respons juist afnemen bij hoge blootstellingsniveaus [94].

Voor het opstellen van de BR-relaties hebben we gebruik gemaakt van bevolkings-gewogen logistisch regressiemodellen¹⁸. Elke BR-relatie is aan de hand van twee verschillende methodes opgesteld:

- *Continue blootstelling*: Hierbij is de blootstelling aan trillingen als een continue voorspeller opgenomen in het regressiemodel. De output is een BR-relatie (plus een 95% betrouwbaarheidsinterval of zekerheidsinterval) waarmee het percentage van het aantal personen met ernstige hinder of slaapverstoring door trillingen kan worden geschat bij een bepaalde waarde van de blootstelling aan trillingen.
- *Categorische blootstelling*: Hier is de continue blootstelling omgezet naar een categorische variabele op basis van de decielen¹⁹ van de blootstelling. Ter illustratie, de eerste categorie bevat alle observaties met een blootstelling lager dan het eerste deciel. De tweede categorie bestaat vervolgens uit alle observaties met een blootstelling tussen het eerste en het tweede deciel, enzovoort. Doordat de indeling gebaseerd is op decielen van de verzamelde data van de deelnemers van de Vervolgmeting, bestaat elke categorie uit ongeveer hetzelfde aantal observaties. Op basis van deze categorische variabele is vervolgens een (gewogen) logistisch regressiemodel gemaakt. De categorie met de laagste blootstelling is hierbij ingesteld als de referentiecategorie voor het model. Het aangemaakte model geeft per decielgroep een schatting (plus 95% betrouwbaarheidssinterval) van de verwachte ernstige hinder of slaapverstoring door trillingen van treinen. Om dit model beter te kunnen vergelijken met het continue model, hebben we voor elke decielgroep het verwachte percentage ernstige hinder of slaapverstoring uitgezet tegen de mediaan²⁰ van de blootstelling van de decielgroep. Dit levert tien datapunten op, waar

¹⁸ Logistische regressie is een analyse techniek waarmee je een voorspellend model kan maken om de kans op een positieve uitkomst van een dichotome uitkomstvariabele (bijvoorbeeld ernstig gehinderd door trillingen van treinen, wel of geen klachten) te voorspellen met één of meerdere onafhankelijke variabelen. Bij het opstellen van de BR-relaties is ook weer teruggewogen naar de doelpopulatie. Daarbij is gebruikgemaakt van de weegfactoren die zijn afgeleid in paragraaf 3.9.1 en bijlage 5.

¹⁹ Een deciel is een van de negen waarden die een dataset in tien gelijke stukken verdeelt. Elk deciel bevat een tiende van de waarnemingen. Je kunt decielen bijvoorbeeld gebruiken om na te gaan hoe de deelnemers zijn verdeeld over de blootstelling aan trillingen. Om dit te illustreren worden de deelnemers eerst in 10 gelijke delen verdeeld afhankelijk van hun blootstellingsniveau. Het eerste deciel bevat de onderste 10% van de deelnemers: dat wil zeggen de 10% van de deelnemers met de laagste blootstelling. Het tweede deciel geeft het 2^e tiende deel weer (van 10 tot 20%) enzovoort. Het tiende deciel geeft de 10% van de deelnemers weer met de hoogste blootstelling.

²⁰ De mediaan is een centrummaat. Het is het middelste getal in de waarnemingen als je die getallen op volgorde zet. Je kan daarom zeggen dat 50% van de waarnemingen zich onder de mediaan en 50% zich boven de mediaan bevinden.

vervolgens een trendlijn doorheen kan worden getrokken die gebruikt wordt als de BR-relatie van het categorische model.

Een belangrijk verschil tussen deze twee methodes is dat er bij het logistische regressiemodel met categorische blootstelling non-lineaire verbanden tussen de blootstelling en uitkomst aangetoond kunnen worden. Dit is niet het geval voor het model met de continue blootstelling. De twee modellen zijn gebaseerd op hetzelfde aantal observaties en kunnen daardoor direct met elkaar vergeleken worden aan de hand van de *Akaike Information Criterion* (AIC) [95]. Dit is een maat die iets zegt over de fit van het model, gecorrigeerd voor het aantal voorspellers in het model. Met de AIC kunnen modellen onderling met elkaar vergeleken worden om te zien welk model de beste fit heeft met de onderliggende data. Hoe lager de AIC, hoe beter de fit van het model. De AIC is een relatieve maat. Om de fit van verschillende modellen makkelijker te kunnen vergelijken, wordt daarom vaak de Δ AIC-waarde gebruikt. Dit is het verschil tussen de AIC-waarde van een model en de laagste AIC-waarde die voorkomt. Het model met de laagste AIC-waarde (en dus de beste fit) heeft dan een Δ AIC van 0. Een vuistregel voor het gebruik van de Δ AIC is dat modellen met een Δ AIC-waarde kleiner dan 2 niet significant verschillen in fit dan het beste model en deze het dus even goed doen voor wat betreft de fit [95]. Bij Δ AIC-waarden tussen de 2 en de 10 is het waarschijnlijk dat het model slechter is dan het model met de Δ AIC-waarde van 0. Bij waarden van Δ AIC boven de 10 is met grote zekerheid te stellen dat een model slechter is dan het model met Δ AIC-waarde gelijk aan 0 [95].

Tabel 3.5 De in deze rapportage gehanteerde vuistregels ten behoeve van de toepassing van de Δ AIC^a (op basis van [95])

Δ AIC*	Vuistregel
< 2	Er is geen verschil in fit tussen beide modellen
2 – 10	Het model met de hoogste AIC-waarde fit waarschijnlijk slechter dan het model met de laagste AIC-waarde
>10	Het model met de hoogste AIC-waarde fit met grote zekerheid slechter dan het model met de laagste AIC-waarde

^aBepaald door het verschil in AIC-waarde tussen het model met de laagste AIC-waarde en een model met een hogere AIC-waarde.

Voor de vergelijking tussen modellen hebben we ook gebruik gemaakt van de *area under the curve* (AUC) van de *receiver operating characteristic-curve* (ROC). Dit is een maat van de precisie van een model die de nauwkeurigheid van een model weergeeft. Een AUC-waarde heeft een range van 0,5 (volledige willekeurige voorspelling van de uitkomst) tot 1,0 (perfecte voorspelling van de uitkomst op basis van het model). Hoe dichter de AUC bij de 1 zit, des te beter is het model in het voorspellen van de uitkomstmaat.

De analyses ten behoeve van het afleiden van de BR-relaties zijn uitgevoerd met de R package "survey" [96] en de resultaten zijn gevisualiseerd met de R package "ggplot2" [97].

3.9.4

Bepaling van de invloed van co-determinanten: determinanten analyse

Om de invloed van spoortrillingen op de ondervonden hinder en slaapverstoring te verklaren, hebben we gebruikgemaakt van logistische regressieanalyses. Hierbij staat de vraag centraal hoe scores op een eindpunt (in dit geval ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer) samenhangen met de scores op meerdere versturende variabelen (de zogenaamde co-determinanten). Hierbij wordt rekening gehouden met de onderlinge samenhang van deze voorspellers.

Bij logistische regressie wordt de mate van invloed die zowel blootstelling als co-determinant heeft op de uitkomstmaat weergegeven aan de hand van een zogenaamde Odds Ratio (OR). Dit is een associatiemaat die een benadering geeft hoeveel waarschijnlijker (of onwaarschijnlijker) het is dat diegenen die blootstaan aan een bepaalde expositie een ziekte of aandoening zullen krijgen dan diegenen die niet blootstaan aan de expositie. Stel: de uitkomstmaat is aanwezigheid van longkanker (1 = ja, 0 = nee), en de blootstelling is roken (1 = ja, 0 = nee). Bij een OR = 2 is de kans op het ontwikkelen van longkanker twee keer zo groot bij rokers dan bij niet-rokers. Ander voorbeeld: de uitkomstmaat is de aanwezigheid van een hartziekte (1 = ja, 0 = nee), de expositie is het regelmatig verrichten van een zware fysieke inspanning (1 = ja, 0 = nee). Als de OR = 0,5 dan is de kans op het optreden van een hartziekte half zo groot bij diegenen die regelmatig een zware fysieke inspanning verrichten dan bij diegenen in de onderzoeksgroep die dat niet doen. Een OR van 1 geeft aan dat er geen verschil is tussen de blootgestelde en niet-blootgestelde groep.

Om te onderzoeken welke co-determinanten naast de blootstelling aan trillingen zijn geassocieerd met ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van treinen, hebben we verschillende modellen berekend:

Ernstige hinder door trillingen van treinen (specifiek per treintype):

Een model met daarin tegelijkertijd opgenomen een indicator voor de blootstelling aan trillingen van treinen en de volgende groepen co-determinanten

- a) Blootstelling: afstand tot het spoor of blootstelling aan trillingen door treinen ($V_{\max}$ of V_{per} of RMS, specifiek per type trein);
- b) Situationele/contextuele factoren: aandeel goederentreinen en aandeel nachttreinen, stedelijkheid, geluidniveau door treinverkeer, hoort/voelt/ziet ramen, deuren en/of serviesgoed rammelen/trillen ("rattle"), en ernstige hinder door geluid van treinen (specifiek per type trein);
- c) Demografische kenmerken: geslacht, leeftijd, opleiding;
- d) Persoonlijke factoren: bezorgdheid, acceptatie van trillingen; en
- e) Sociale factoren: houding ten aanzien van beleid over en uitbreiding van treinverkeer en verwachtingen ten aanzien van trillingen van treinen.

Ernstige slaapverstoring door trillingen van treinen (specifiek per treintype):

Een model met daarin tegelijkertijd opgenomen een indicator voor de blootstelling aan trillingen van treinen en de volgende groepen co-determinanten

- a) Blootstelling: afstand tot het spoor of blootstelling aan trillingen door treinen ($V_{\max}$ of $V_{\text{per, nacht}}$ of $\text{RMS}_{\text{nacht}}$, specifiek per type trein);
- b) Situationele/contextuele factoren: aandeel goederentreinen en aandeel nachttreinen, stedelijkheid, geluidniveau door treinverkeer tijdens de nacht, hoort/voelt/ziet ramen, deuren en/of serviesgoed rammelen/trillen ("rattle"), ligging van de slaapkamer, het al dan niet openen van de ramen tijdens zomer en/of winter, aanwezigheid van HR-glas in de slaapkamer en ernstige slaapverstoring door geluid van treinen (specifiek per type trein);
- c) Demografische kenmerken: geslacht, leeftijd, opleiding;
- d) Persoonlijke factoren: bezorgdheid, acceptatie van trillingen; en
- e) Sociale factoren: houding ten aanzien van beleid over en uitbreiding van treinverkeer en verwachtingen ten aanzien van trillingen van treinen.

De voorspellers of mogelijk verstorende variabelen die zijn opgenomen in bovenstaande modellen zijn deels *a priori* gekozen op basis van de literatuur (zie ook hoofdstuk 2), aangevuld met variabelen die hoog scoorden in zogenaamde "untargeted analyses" (UA). De werkwijze en resultaten van de UA worden beschreven in bijlage 6. De codering van zowel de uitkomstmaten als de voorspellers die in bovenstaande modellen zijn opgenomen wordt beschreven in Bijlage 7.

Net als bij het schatten van de prevalentie hebben we ook nu weer teruggewogen naar de doelpopulatie. Hierbij is gebruik gemaakt van de weegfactoren die zijn afgeleid in paragraaf 3.9.1. en Bijlage 5.

4 Beschrijvende resultaten

4.1 Respons hoofdonderzoek

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de respons voor de twee groepen deelnemers. Voor de berekening van de respons is uitgegaan van de *bruikbare adressen*. Dit zijn *alle* aangeschreven adressen minus (i) de adressen waarvan na aanschrijving bleek dat ze niet bestonden of bewoond waren (zie ook paragraaf 3.2) en (ii) de adressen van de deelnemers die in 2013 en 2019 hadden deelgenomen, maar sindsdien was overleden/verhuisd.

In totaal is 0,9% van de in totaal aangeschreven adressen om bovenstaande redenen verwijderd uit het bestand. De non-respons bestaat uit mensen die (i) aan het begin van de vragenlijst geen toestemming hebben verleend voor het verwerken van hun gegeven, of (ii) die de vragenlijst niet ingevuld hebben. Non-respons doordat een vragenlijst niet compleet was ingevuld, was er niet. De vragenlijst was online, en was dusdanig geprogrammeerd dat een deelnemer pas verder kon naar de volgende vraag als de voorgaande vraag compleet was ingevuld.

Het totaal aantal ingevulde vragenlijsten bedroeg 5.611. Dit is 33% van de bruikbare steekproef. Het verschil in respons tussen groep I en II is groot: de respons in groep I was 30,2 %, terwijl de respons in groep II 69,1% was. De respons van groep I ligt wat lager dan de 32% die in 2013 was behaald tijdens het vergelijkbare vragenlijstonderzoek [11].

Tabel 4.1 Totale respons

	Groep I	Groep II	Totaal
Uitgenodigd	16.000	1.189	17.189
Ongeldig adres	160	-	160
Overleden/verhuisd	-	2	2
Bruikbaar adres	15.840	1.187	17.027
Geen toestemming	112	10	122
Niet ingevuld	10.937	357	11.294
Ingevuld	4.791	820 ^a	5.611
Respons %	30,2	69,1	33,0

^a Hiertoe zijn ook de 36 deelnemers gerekend die tijdens de metingen uit 2013 en 2019 (nog) niet op het aangeschreven adres woonden, maar die de vragenlijst wel wilden invullen.

Een overzicht van de respons per stratum is voor zowel groep I en II apart als voor de gehele groep weergegeven in tabellen 4.2, 4.3 en 4.4. De tabellen geven de respons weer ten opzichte van het totaal aantal bruikbare adressen in een stratum. Uit de tabellen blijkt dat het responspercentage hoger is naarmate de deelnemers dichter bij het spoor wonen.

Tabel 4.2 Respons groep I per stratum

Afstand tot spoor	Bouwjaar Woning	Uitge-nodigd	Onbruik-baar adres	Geen toe-stemming	Ingevuld	Respons %
Tot 50 m	Voor 1950	4.000	36	26	1.488	37,5
Tot 50 m	Vanaf 1950	4.000	51	28	1.305	33,0
50 – 100 m	Voor 1950	2.400	15	14	695	29,1
50 – 100 m	Vanaf 1950	2.400	20	24	623	26,2
100 – 300 m	Voor 1950	1.600	15	10	346	21,8
100 – 300 m	Vanaf 1950	1.600	23	10	334	21,2
Totaal		16.000	160	112	4.791	30,2

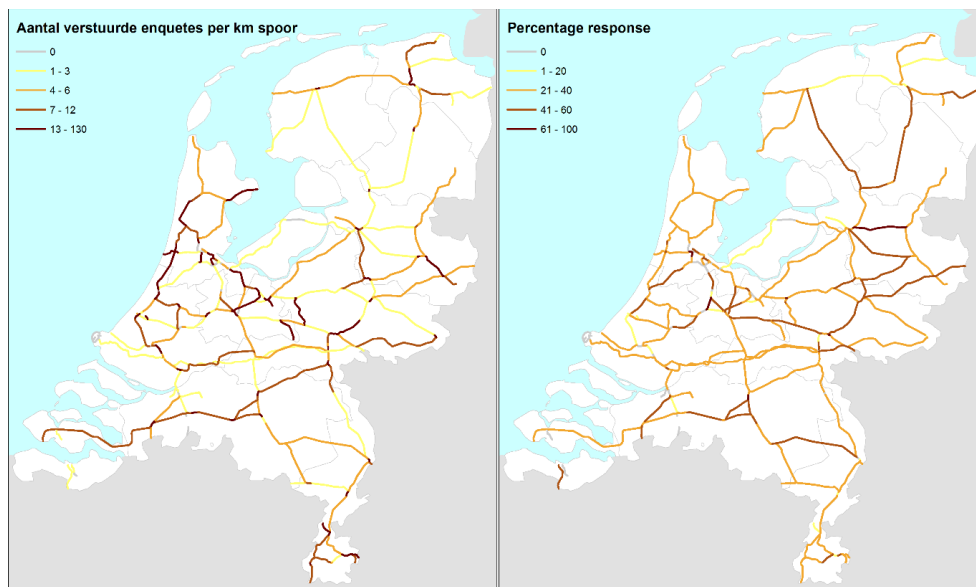
Tabel 4.3 Respons groep II per stratum

Afstand tot spoor (m)	Bouwjaar woning	Uitge-nodigd	Overleden of verhuisd	Geen toe-stemming	Ingevuld	Respons %
Tot 50 m	Voor 1950	378	0	4	276	73,0
Tot 50 m	Vanaf 1950	342	0	4	247	72,2
50 – 100 m	Voor 1950	168	0	0	104	61,9
50 – 100 m	Vanaf 1950	156	0	2	100	64,1
100 – 300 m	Voor 1950	76	1	0	49	65,3
100 – 300 m	Vanaf 1950	69	1	0	44	64,7
Totaal		1.189	2	10	820	69,1

Tabel 4.4 Respons totale groep per stratum

Afstand tot spoor	Bouwjaar woning	Uitge-nodigd	Onbruik baar adres	Over-leden/ Ver-huisd	Geen toe-stemming	Inge-vuld	Respons %
Tot 50 m	Voor 1950	4.378	36	0	30	1.764	40,6
Tot 50 m	Vanaf 1950	4.342	51	0	32	1.552	36,2
50 – 100 m	Voor 1950	2.568	15	0	14	799	31,3
50 – 100 m	Vanaf 1950	2.556	20	0	26	723	28,5
100 – 300 m	Voor 1950	1.676	15	1	10	395	23,8
100 – 300 m	Vanaf 1950	1.669	23	1	10	378	23,0
Totaal		17.189	160	2	122	5.611	33,0

Een ruimtelijke weergave van de totale respons is te zien in figuur 4.1. De figuur laat zien dat de ruimtelijke verdeling van de deelnemers goed is. Slechts een enkel tracé dat wel in de steekproef zat is niet vertegenwoordigd.



Figuur 4.1 Ruimtelijke verdeling van de respons.

Als laatste hebben we bijgehouden met welk apparaat de deelnemers de vragenlijst hebben ingevuld. De meerderheid van de deelnemers (68,8%) heeft de vragenlijst ingevuld via de PC. Ruim 19% van de deelnemers heeft dit gedaan op een tablet. Tenslotte, bleek dat ruim 11% van de deelnemers de vragenlijst in heeft gevuld met een smartphone.

4.2 Respons non-responsonderzoek

Uit de 10.937 adressen uit groep I van waaruit geen vragenlijst was ingevuld, hebben we een gerandomiseerde steekproef van 972 adressen getrokken voor een non-responsonderzoek. Vervolgens is geprobeerd om van zoveel mogelijk adressen een telefoonnummer te achterhalen. Dit is uiteindelijk gelukt voor 283 adressen (29,1%); voor 689 adressen (70,9%) was het niet mogelijk een telefoonnummer te achterhalen. Tabel 4.5 geeft de respons voor beide groepen weer.

Tabel 4.5 Respons onder de 972 deelnemers aan het non-responsonderzoek

	Telefonisch	Schriftelijk	Totaal
Uitgenodigd	283	689	972
Geen toestemming	67	5	72
Bruikbaar adres	216	684	900
Ingevuld	120	55	175
Respons %	55,6	8,0	19,4

In totaal is in het onderzoek onder de 972 non-respondenten een respons van ruim 19% gehaald. Dit percentage is lager dan tijdens het onderzoek onder de non-respondenten uit 2013, waarbij alleen een schriftelijk onderzoek werd uitgevoerd; toen werd bij het non-responsonderzoek een percentage gehaald van 29%. Hoewel de respons in de groep deelnemers waarvan we het telefoonnummer hebben weten

te achterhalen een stuk hoger was (ruim 55%), heeft dit niet tot een hogere *totale* respons van het non-responsonderzoek geleid.

Als onderdeel van het non-responsonderzoek hebben we ook gevraagd waarom deelnemers niet aan het hoofdonderzoek hebben willen deelnemen. Ruim 29% gaf aan geen tijd te hebben; ruim 15% had geen belangstelling en bij ruim 6% was er een andere reden. In het merendeel van de gevallen (ruim 49%) konden of wilden mensen geen reden aangeven.

Om na te gaan of er mogelijk sprake is geweest van selectieve non-respons zullen we in paragraaf 4.5 de volgende vergelijkingen maken:

a) de deelnemers aan het huidige non-respons onderzoek worden vergeleken met de deelnemers van groep I aan het hoofdonderzoek; b) de kenmerken van de deelnemers uit groep II aan het hoofdonderzoek zullen worden vergeleken met de deelnemers aan de Herhaalmeting [19]. Immers, over de deelnemers aan het hoofdonderzoek uit groep II hebben we in 2013 en 2019 al veel informatie verzameld.

4.3 Algemene kenmerken deelnemers hoofdonderzoek

Tabel 4.6 geeft een aantal algemene kenmerken van de verschillende groepen deelnemers weer. Uit de tabel blijkt dat groep I verschilt van groep II. Zo bevat groep I in vergelijking met groep II: (a) meer vrouwen, (b) meer deelnemers van 44 jaar en jonger, (c) minder huishoudens zonder thuiswonende kinderen, (d) meer mensen met betaald werk, (e) minder gepensioneerden, en (f) minder mensen met een koopwoning. In vergelijking met groep I, wonen de deelnemers van groep II langer op dezelfde locatie. Deze verschillen worden waarschijnlijk grotendeels verklaard door het feit dat de deelnemers van groep II al sinds 2013 worden gevolgd.

Wanneer we de kenmerken van de totale groep deelnemers uit tabel 4.6 vergelijken met Nederlandse bevolking, dan blijkt dat er relatief weinig vrouwen meedoen aan het onderzoek (circa 46% van de deelnemers is vrouw). In 2021 was volgens het CBS namelijk ruim 50% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder vrouw. Ook doen er relatief veel personen van 45 jaar en ouder mee, namelijk 41,9% tussen 45-64 jaar en 32,0% van 65 jaar en ouder. Het aantal personen onder de Nederlandse bevolking van 45-64 jaar en van 65 jaar en ouder bedroeg in 2021 volgens het CBS respectievelijk 33,1% en bijna 24% [98].

Tabel 4.6 Kenmerken van de deelnemers aan de Vervolgmeting (N =5.611).

	Groep I % (N)	Groep II % (N)	Totaal % (N)
Aantal deelnemers	4.791	820	5.611
Geslacht^a			
Mannen	52,7 (2.524)	60,8 (477)	53,8 (3.001)
Vrouwen	47,0 (2.251)	39,2 (307)	45,9 (2.558)
Anders	0,3 (16)	0	0,3 (16)
Leeftijd^a			
16 – 44 jr.	29,4 (1.408)	6,2 (48)	26,1 (1.456)
45 – 64 jr.	41,0 (1.963)	47,2 (386)	41,9 (2.331)
65 jr. en ouder	29,6 (1.419)	46,7 (364)	32,0 (1.783)
Hoogste opleidingsniveau^b			
Geen opleiding, lo, lbo, mavo	20,0 (960)	15,0 (123)	19,3 (1.083)
Havo, vwo, mbo	31,8 (1.524)	31,6 (259)	31,8 (1.783)
Hbo, universitair onderwijs	48,2 (2.307)	53,4 (438)	48,9 (2.745)
Gezinssituatie^c			
Alleenwonend	24,2 (1.136)	24,1 (193)	24,1 (1.329)
Samenwonend met kinderen 18 jr. en ouder	13,1 (629)	13,5 (111)	13,2 (740)
Samenwonend met kinderen jonger dan 18 jr.	22,2 (1.062)	13,4 (110)	20,9 (1.172)
Huishouden zonder thuiswonende kinderen	67,9 (3.255)	76,5(627)	69,2(3.882)
Eenoudergezin	6,3 (302)	5,2 (43)	6,2 (345)
Werksituatie^c			
Betaald werk	63,2 (3.028)	51,1 (419)	61,4 (3.447)
Werkloos	1,6 (76)	1,5 (12)	1,6 (88)
Gepensioneerd	28,1 (1.344)	43,2 (354)	30,3 (1.698)
Volledig arbeidsongeschikt	3,8 (184)	4,1 (34)	3,9 (218)
Fulltime huisvrouw -of man	4,2 (201)	2,7 (22)	4,0 (223)
Student	3,1 (150)	<1,2 (<10) ^d	x (x) ^d
Gepensioneerd met baan	1,0 (50)	1,7 (14)	1,1 (64)
Deels werkloos	<0,2 (<10) ^d	<1,2 (<10) ^d	< 0,2 (<10) ^d
Deels arbeidsongeschikt	0,5 (22)	<1,2 (<10) ^d	x (x) ^d
Koopwoning	77,7 (3.722)	85,4 (700)	78,8 (4.422)
Woontduur^a			
2 jaar of minder	18,0 (864)	4,9 (40)	16,1 (904)
3 - 5 jaar	10,3 (492)	0	8,8 (492)
5 – 10 jaar	14,1 (674)	3,8 (31)	12,6 (705)
10 – 15 jaar	10,5 (501)	16,8 (138)	11,4 (639)
15 – 25 jaar	19,2 (922)	29,2 (239)	20,7 (1.161)
25 jaar en langer	27,9 (1.338)	45,4 (372)	30,5 (1.710)

Afkortingen: % = percentage, N = aantal deelnemers in de analyse

^a Voor deelnemers die in 2013 en 2019 hebben deelgenomen is dit kenmerk alleen in 2013 gemeten. Er zijn echter 36 deelnemers die op een adres wonen waar een deelnemer woonde die in zowel 2013 als 2019 heeft deelgenomen, maar die in 2021 was overleden of verhuisd. Bij deze personen is geen geslacht, leeftijd of woontduur gemeten;

^b Omdat het aantal personen dat rapporteerde geen opleiding of alleen lager onderwijs (lo) te hebben gevolgd zo laag was, is ten behoeve van deze tabel besloten ze samen te nemen met de groep deelnemers die rapporteerden lbo of mavo te hebben gevolgd;

^c Omdat bij de vragen over gezinssituatie en werksituatie meerdere antwoorden tegelijk konden worden ingevuld, tellen de percentages niet op tot 100%;

^d Dit kenmerk is ten minste 1 keer gemeten, maar minder dan 10 keer. Wanneer er voor groep I wel data gerapporteerd kunnen worden, maar voor groep II niet, hebben we voor de totale groep "x" gerapporteerd (in verband met de mogelijkheid tot terugrekenen). Om

de privacy te waarborgen wordt er niet gerapporteerd hoe vaak een kenmerk is gemeten, op het moment dat het aantal keren dat dit kenmerk is gemeten lager dan 10 is. Hiermee wordt gewerkt volgens de door CBS opgestelde richtlijn om aantallen kleiner dan tien niet te rapporteren, met als doel de privacy te waarborgen [99];

Net als in 2013 [11] zijn de deelnemers aan de Vervolgmeting relatief hoog opgeleid: Het percentage deelnemers met afgeronde hbo- of universitaire opleiding bedraagt 48,9%. Op basis van cijfers van het CBS kan worden geschat dat het percentage personen van 15-90 jaar met een afgeronde hbo- of universitaire opleiding in 2021 34,0% bedraagt.

Het percentage alleenwonenden onder de deelnemers is met ruim 24% relatief laag in vergelijking met de Nederlandse bevolking [100]. Op basis van cijfers van het CBS met betrekking tot particuliere huishoudens naar samenstelling en grootte, wordt geschat dat het percentage eenpersoonshuishoudens in 2021 38,5% is. In Nederland wordt het aantal huishoudens met kinderen jonger dan 18 jaar in 2021 geschat op bijna 23% van het totale aantal huishoudens [101]. Onder de deelnemers van de Vervolgmeting is dat percentage met 20,9% wat lager. Het percentage huishoudens met kinderen ouder dan 18 jaar is onder de deelnemers van de Vervolgmeting ruim 13%. Dit is zeer vergelijkbaar met het percentage in de Nederlandse bevolking in 2021 (13,1%). Het percentage eenoudergezinnen is in vergelijking met de Nederlandse bevolking wat lager. In 2021 bedroeg het percentage eenoudergezinnen in de Nederlandse bevolking 7,4% van het totaal aantal huishoudens.

Het percentage werklozen in de groep deelnemers is lager dan onder de Nederlandse bevolking. In het tweede kwartaal van 2021 was 4,3% van de Nederlandse beroepsbevolking werkloos. Ook het aantal deelnemers dat volledig arbeidsongeschikt is, is in vergelijking met de Nederlandse bevolking laag. Op basis van gegevens van het CBS is naar schatting ruim 5% van de Nederlandse bevolking van 15 jaar en ouder volledig arbeidsongeschikt.

In vergelijking met de Nederlandse bevolking, is het eigenwoningbezit onder de onderzoekspopulatie relatief hoog (78,8%). Uit cijfers van het CBS bleek dat in 2019 circa 70% van de Nederlandse bevolking een eigen woning had [102]. Tabel 4.7 geeft kenmerken van de woning van de deelnemers weer.

Tabel 4.7 Kenmerken van de woning van de onderzoekspopulatie

	Groep I % (N)	Groep II % (N)	Totaal % (N)
Aantal deelnemers	(n = 4.791)	(n = 820)	(n = 5.611)
Type woning^a			
Rijthuis, hoekwoning, etc.	75,9 (3.635)	74,9 (614)	75,7 (4.249)
(deel) van een appartement, etc.	20,0 (958)	20,7 (170)	20,1 (1.128)
Overige woningtypen	4,1 (198)	4,4 (36)	4,2 (234)
Bouwjaar van de woning			
Voor 1945	50,2 (2.404)	50,4 (411)	50,2 (2.815)
1945 – 1964	10,8 (515)	11,9 (97)	10,9 (612)
1965 – 1984	15,3 (733)	14,4 (117)	15,2 (850)
1985 – 2004	13,5 (648)	17,7 (144)	14,1 (792)
2005 en later	10,3 (491)	5,6 (46)	9,6 (537)
Materiaal vloeren in de woonkamer			
Beton	55,9 (2.677)	53,2 (436)	55,5 (3.113)
Hout	35,3 (1.688)	41,3 (338)	36,1 (2.026)
Hout en beton	1,8 (86)	2,3 (19)	1,9 (105)
Anders/ weet niet	7,0 (336)	3,2 (26)	6,5 (362)
Aanwezigheid trillingsreducerende maatregelen^b			
Verstijven van de vloeren	2,8 (134)	3,9 (32)	3,0 (166)
Bevestiging veer- en dempingsapparaat	0,7 (34)	<1,2 (<10) ^c	x (x)
Aanwezigheid andere maatregelen	1,8 (86)	2,6 (21)	1,9 (107)
Aanwezigheid geluidsreducerende maatregelen^b			
HR-glas of triple glas in woonkamer	70,1 (3360)	78,7 (645)	71,4 (4.005)
HR-glas of triple glas in slaapkamer	64,0 (3067)	71,7 (588)	65,1 (3.655)
Spouwmuurisolatie	44,4 (2125)	49,3 (404)	45,1 (2.529)
Geluidsdempende ventilatieroosters	18,3 (876)	25,7 (211)	19,4 (1.087)
Andere geluidswerende voorzieningen	29,0 (1388)	37,8 (310)	30,3 (1.698)

Afkortingen: N=aantal personen, %=percentage, HR-glas = Hoogrendementsglas, een verbeterde versie van standaard dubbelglas.

^aMet betrekking tot het type woning wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende groepen: (i) rijthuis, hoekwoning, vrijstaande woning, twee-onder-een-kap woning, villa, bungalow, of landhuis (ii) een flat, etagewoning, appartement, maisonnette, bovenwoning, benedenwoning, en (iii) een boerderij, woning met tuindersbedrijf/aparte winkel/kantoor-, praktijk- of bedrijfsruimte, wooneenheid met gezamenlijk gebruik van keuken of toilet, anders;

^bBij de vragen over de aanwezigheid van trillingsreducerende maatregelen en de aanwezigheid van geluidsreducerende maatregelen konden meerdere antwoorden tegelijk worden ingevuld.

De antwoorden tellen dan ook niet op tot 100%;

^c Dit kenmerk is tenminste 1 keer gemeten, maar minder dan 10 keer. Wanneer er voor groep I wel data gerapporteerd kunnen worden, maar voor groep II niet, hebben we voor de totale groep "x" gerapporteerd (in verband met de mogelijkheid tot terugrekenen). Om de privacy te waarborgen wordt er niet gerapporteerd hoe vaak een kenmerk is gemeten, op het moment dat het aantal keren dat dit kenmerk is gemeten lager dan 10 is. Hiermee wordt gewerkt volgens de door CBS opgestelde richtlijn om aantallen kleiner dan tien niet te rapporteren, met als doel de privacy te waarborgen [99];

Uit tabel 4.7 blijkt dat het grootste deel van de deelnemers (75,7%) in een rijthuis, hoekwoning, vrijstaand huis, twee-onder-een-kap, villa, bungalow of landhuis woonde. Dat is relatief veel wanneer dit wordt vergeleken met de Nederlandse situatie: volgens het CBS woonde 64% van de Nederlandse bevolking in 2021 in een eengezinswoning [103, 104].

Ruim de helft van alle deelnemers woonde in een woning die gebouwd is voor 1945. In vergelijking met de Nederlandse situatie is dat een relatief

groot aantal: in 2021 bleek 18,5% van de Nederlandse woningen te zijn gebouwd voor 1945.

Ruim 55% van de woningen van de deelnemers heeft een betonnen vloer in de woonkamer. Ook hebben de meeste woningen HR-glas of triple glas in de woon- en slaapkamer. In slechts een klein aantal van de woningen zijn voorzieningen toegepast om de woning te isoleren tegen trillingen.

Tabel 4.8 Fysieke kenmerken van de woonomgeving van de onderzoekspopulatie

	Groep I % (N)	Groep II % (N)	Totaal % (N)
Aantal deelnemers	(n = 4.791)	(n = 820)	(n = 5.611)
Stedelijkheid van het postcode gebied^a			
Niet stedelijk	12,6 (602)	14,5 (119)	12,9 (721)
Weinig stedelijk	17,6 (844)	11,0 (90)	16,7 (934)
Matig stedelijk	16,0 (764)	21,3 (175)	16,7 (939)
Sterk stedelijk	29,1 (1.393)	23,5 (193)	28,3 (1.586)
Zeer sterk stedelijk	24,8 (1.188)	29,6 (243)	25,5 (1.431)
WOZ-waarde PC-6 gebied is gelijk of hoger dan 290.000 euro^b	35,2 (1.685)	41,6 (341)	36,1 (2.026)
Heeft ramen (woon- en/of slaapkamer) die uitkijken over^c			
Spoor	78,7 (3.772)	100 (701)	81,5 (4.473)
Rangeerterrein	15,0 (719)	75,0 (81)	16,3 (800)
Station	20,9 (999)	85,6 (155)	23,2 (1.154)
Leefbaarheidsscore^d			
(Zeer/Ruim) onvoldoende -Zwak	5,0 (241)	3,9 (32)	4,9 (273)
Voldoende	4,3 (208)	4,3 (35)	4,3 (243)
Ruim voldoende	25,7 (1.229)	22,8 (187)	25,2 (1.416)
Goed	25,8 (1.234)	23,2 (190)	25,4 (1.424)
Zeer goed	21,5 (1.028)	22,0 (180)	21,5 (1.208)
Uitstekend	17,8 (851)	23,9 (196)	18,7 (1.047)
Afstand tot een treinstation^e			
Minder dan 0,5 km	38,6 (1.849)	34,4 (282)	38,0 (2.131)
0,5 – 1 km	28,4 (1.359)	28,4 (233)	28,4 (1.592)
1 – 2 km	21,0 (1.008)	21,5 (176)	21,1 (1.184)
2 – 5 km	10,2 (487)	14,0 (115)	10,7 (602)
Meer dan 5 km	1,8 (87)	1,7 (14)	1,8 (101)

Afkortingen: N=aantal personen, %=percentage, km = kilometer.

^a Stedelijkheid is een maatstaf voor de concentratie van menselijke activiteiten gebaseerd op gemiddelde omgeving adressendichtheid (oad) uitgedrukt in het aantal adressen per km². Er wordt onderscheid gemaakt tussen niet stedelijk (gemiddelde oad van minder dan 500 adressen per km²), weinig stedelijk (gemiddelde oad van 500 tot 1.000 adressen per km²), matig stedelijk (gemiddelde oad van 1.000 tot 1.500 adressen per km²), sterk stedelijk (gemiddelde oad van 1.500 tot 2.500 adressen per km²) en zeer sterk stedelijk (gemiddelde oad van meer dan 2.500 adressen per km²) [86, 87];

^b De WOZ-waarde is de geschatte marktwaarde op 1 januari van het jaar daarvoor. Op 1 januari 2020 bedroeg de gemiddelde WOZ-waarde van een woning in Nederland 290.000 euro [86, 87];

^c Deze percentages zijn gebaseerd op de antwoorden van twee aparte vragen. Ze mogen dus niet worden opgeteld;

^d De leefbaarheidsscore is een waardering die een indicatie geeft van de leefbaarheid in een bepaald jaar per woongebied. Voor deze waardering worden negen klassen gebruikt van zeer onvoldoende tot uitstekend. De leefbaarheidsscore van een gebied in een bepaald jaar is geschat met behulp van de Leefbaarometer. Met dit instrument kan op laag

schaalniveau (wijk/buurt) aan de hand van een groot aantal kenmerken van de woonomgeving een inschatting worden gemaakt van de leefbaarheid (zie ook [93] en de website www.leefbaarometer.nl);

^e Het gaat hier om de gemiddelde afstand van alle inwoners in een buurt tot het dichtstbijzijnde treinstation, berekend over de weg.

In tabel 4.8 worden een aantal fysieke kenmerken van de directe woonomgeving van de deelnemers weergegeven. Uit deze tabel blijkt dat de woningen van de meeste deelnemers in een sterk tot zeer sterk stedelijke omgeving staan (ruim 53%). Ruim twee derde van de deelnemers woont binnen 500 meter van een treinstation. Ter vergelijking: in 2021 was de gemiddelde afstand tot een treinstation volgens het CBS 5,1 kilometer [87]. Meer dan 80% van de deelnemers woont in een woning met een of meerdere ramen die uitkijken over het spoor.

4.4 Vergelijking deelnemers groep I met non-responders

Zoals we in paragraaf 4.2 al hebben beschreven, hebben we uit de 10.937 adressen uit groep I van waaruit geen vragenlijst was ingevuld, een gerandomiseerde steekproef van 972 adressen getrokken voor een non-responsonderzoek. Uiteindelijk hebben 175 personen deelgenomen aan dit non-responsonderzoek.

Een vergelijking tussen de 4.971 deelnemers van groep I en de 175 deelnemers aan het non-respons onderzoek laat zien dat de deelnemers van groep I iets jonger ($p = 0,0016$) en hoger opgeleid ($p < 0,0001$) zijn. Ten aanzien van beleid over en groei van het spoorverkeer hebben de deelnemers van groep I een statistisch significant negatievere houding dan de deelnemers aan het non-respons onderzoek. Wat betreft woontevredenheid wijken beide groepen nauwelijks van elkaar af ($p=0,0877$). De waargenomen verschillen in afstand ($p = 0,3967$) en bouwjaar van de woningen ($p = 0,2502$) bleken niet statistisch significant te zijn. Verder blijkt dat de deelnemers van groep I meer hinder rapporteren dan de deelnemers aan het non-respons onderzoek ($p < 0,0001$).

Kijken we naar de hinderscore in relatie tot afstand, dan zien we zowel in de groep deelnemers als in de groep non-respondenten dat de hinderscore toeneemt naarmate de afstand tot de spoorlijn kleiner wordt. Getoetst is of de correlatie tussen afstand en hinderscore bij de responders anders is dan bij de non-responders. Dit was niet het geval ($p=1.000$).

Tabel 4.9 Vergelijking deelnemers uit groep I die aan het hoofdonderzoek hebben deelgenomen met de deelnemers aan het non-respons onderzoek

Deelnemers groep I			Deelnemers non-responsonderzoek	
Aantal deelnemers	4.791		175	
	% (N)	Gem (SD)	% (N)	Gem (SD)
Leeftijd		54,1 (16,4)		58,1 (15,9)
16-44 jr.	29,4 (1.408)		21,7 (38)	
45 – 64 jr.	41,0 (1.963)		41,1 (72)	
65 jr. en ouder	29,6 (1.419)		37,1 (65)	
% Vrouwen	47,0 (2.251)		46,9 (82)	
Hoogste opleiding^a				
Geen opleiding, lo, lbo, mavo	20,0 (960)		32,3 (54)	
Havo, vwo, mbo	31,8 (1.524)		35,3 (59)	
Hbo, universitair onderwijs	48,2 (2.307)		32,3 (54)	
Hinderscore trillingen treinverkeer^b		4,76 (3,36)		3,17 (2,93)
Houding t.a.v. beleid^c		4,92 (2,16)		5,83 (2,31)
t.a.v. groei^d		4,02 (2,62)		4,52 (2,79)
Woontevredenheid^e		7,68 (1,45)		7,87 (1,58)
Afstand tot spoor (m)		69,3 (59,3)		73,2 (58,7)
Bouwjaar woning^f		1942		1961

Afkortingen: N=aantal personen, Gem=gemiddelde, %=percentage, SD=standaarddeviatie

^aOmdat het aantal personen dat rapporteerde geen opleiding of alleen lager onderwijs (lo) te hebben gevolgd zo laag was, is besloten ten behoeve van deze tabel ze samen te nemen met de groep deelnemers die rapporteerden lbo of mavo te hebben gevolgd;

^bDe score kan variëren tussen 0 (helemaal niet gehinderd) en 10 (extreem gehinderd). Deelnemers die invulden dat de trillingen niet waarneembaar zijn, hebben de score 0 gekregen;

^cHouding tegenover het huidige beleid ten aanzien van treinverkeer langs het spoor. De score kan variëren tussen 0 (Zeer negatief) en 10 (Zeer positief);

^d Houding tegenover plannen voor een eventuele toename van het transport via het spoor in Nederland. De score kan variëren tussen 0 (Zeer negatief) en 10 (Zeer positief); ^eDe score kan variëren tussen 1 (zeer ontevreden) en 10 (zeer tevreden)

^f Het gaat hier om de mediane waarde.

‡ Dit kenmerk is ten minste 1 keer gemeten, maar minder dan 10 keer;

4.5 Vergelijking tussen deelnemers groep II en non-responders

In tabel 4.10 worden de verschillen weergegeven tussen de deelnemers uit groep II en 369 non-responders. De non-responders betreffen hier personen die zowel in 2013 als in 2019 hebben deelgenomen en die we opnieuw mochten benaderen, maar die uiteindelijk niet hebben deelgenomen aan de Vervolgmeting. Uit tabel 4.10 blijkt dat de groep deelnemers van groep II uit meer mannen bestond, ouder was en wat hoger was opgeleid in vergelijking met de 369 non-responders. De deelnemers van groep II rapporteerden in 2019 meer hinder door trillingen van treinen dan de 369 non-responders. Geen van de waargenomen verschillen was echter statistisch significant. De deelnemers uit groep II hadden in 2019 een statistisch significant negatievere houding ten aanzien van beleid over ($p = 0,0024$) en groei ($p < 0,0001$) van het treinverkeer in Nederland dan de non-responders van groep II.

Tabel 4.10 Vergelijking tussen deelnemers van groep II en personen die zowel in 2013 als in 2019 hebben deelgenomen en die we opnieuw mochten benaderen, maar die uiteindelijk niet hebben deelgenomen aan de Vervolgmeting.

	Deelnemers groep II		Non-responders groep II	
Aantal deelnemers	784*		369	
	% (N)	Gem (SD)	% (N)	Gem (SD)
Leeftijd		62,7 (11,2)		61,5 (13,3)
16-44 jr.	6,2 (48)		11,2 (41)	
45 – 64 jr.	47,2 (368)		48,2 (177)	
65 jr. en ouder	46,7 (364)		40,6 (149)	
Vrouw	39,2 (307)		45,2 (166)	
Hoogste opleiding[#]				
Geen opleiding, lo, lbo, mavo	18,7 (144)		21,1 (76)	
Havo, vwo, mbo	30,2 (233)		28,3 (102)	
Hbo, universitair onderwijs	51,1 (394)		50,6 (182)	
Hinderscore trillingen treinverkeer 2019^{##}		6,14 (3,56)		5,78 (3,49)
Houding				
t.a.v. beleid 2019 ⁺		3,89 (2,52)		4,39 (2,52)
t.a.v. groei 2019 [†]		3,94 (2,64)		4,76 (2,70)
Woontevredenheid 2019⁺⁺		7,64 (1,43)		7,61 (1,50)
Afstand tot spoor (m)		59,9 (46,0)		63,0 (48,9)
Bouwjaar woning^{**}		1939		1938

*Bij 36 van de 820 adressen woonde de persoon die in 2013 en 2019 meedeed niet langer op dit adres: het waren dus nieuwe deelnemers die op een ons bekend adres woonden. De data van deze 36 deelnemers zijn niet meegenomen in deze tabel;

Omdat het aantal personen dat rapporteerde geen opleiding of alleen lager onderwijs (lo) te hebben gevolgd zo laag was, is ten behoeve van deze tabel besloten ze samen te nemen met de groep deelnemers die rapporteerden lbo of mavo te hebben gevolgd;

##De score kan variëren tussen 0 (helemaal niet gehinderd) en 10 (extreem gehinderd). Deelnemers die invulden dat de trillingen niet waarneembaar zijn, hebben de score 0 gekregen;

+ Houding ten aanzien van plannen voor een eventuele toename van het transport via het spoor in Nederland. De score kan variëren tussen 0 (Zeer negatief) en 10 (Zeer positief);

† Houding ten aanzien van het huidige beleid ten aanzien van treinverkeer langs het spoor. De score kan variëren tussen 0 (Zeer negatief) en 10 (Zeer positief);

** Het gaat hier om de mediane waarde;

\$ Dit kenmerk is ten minste 1 keer gemeten, maar minder dan 10 keer;

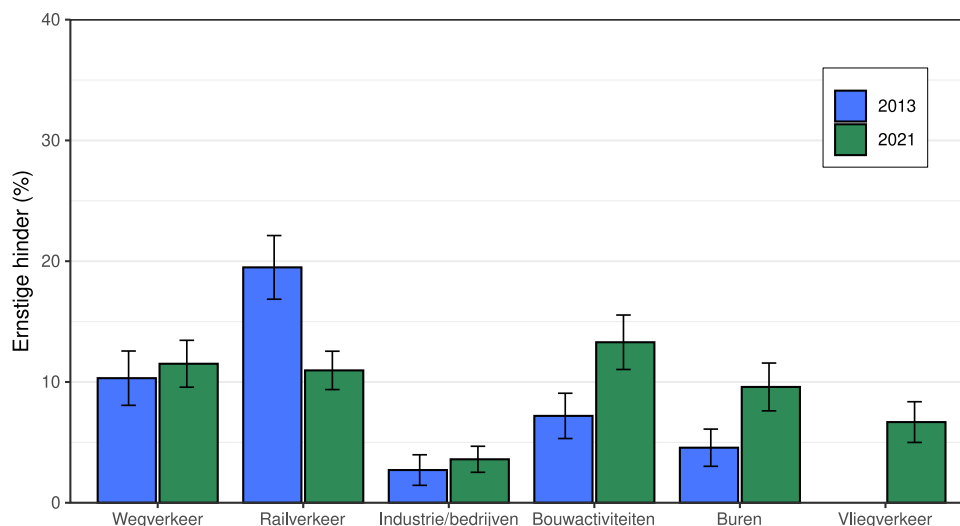
++De score kan variëren tussen 1 (zeer ontevreden) en 10 (zeer tevreden);

Afkortingen: N=aantal personen, %=percentage, SD=standaarddeviatie

5 De prevalentie van zelfgerapporteerde hinder en slaapverstoring door spoortrillingen

5.1 Zelf-gerapporteerde hinder door trillingen

In het onderzoek is gevraagd naar de mate van hinder die de deelnemers ondervinden van diverse trillingsbronnen (zie ook bijlage 3). Op basis van de gegevens van de Vervolgmeting hebben we een schatting gemaakt van het percentage mensen van 16 jaar en ouder woonachtig binnen 300 meter van het spoor (gebieden nabij spoorbruggen, tunnelbakken, en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd) dat ernstige hinder²¹ ervaart door trillingen van treinen en andere omgevingsbronnen. Het gaat om een gebied waarin naar schatting ruim 1,1 miljoen mensen wonen, verdeeld over ongeveer 533.000 woningen (zie ook bijlage 5). Het resultaat wordt in figuur 5.1 gepresenteerd. In de figuur worden ook de prevalenties weergegeven die geschat zijn op basis van het vragenlijstonderzoek uit 2013. Hoewel de onderzoeksopzet en de statistische verwerking van de data uit 2021 zeer vergelijkbaar zijn met de data die in 2013 zijn verzameld, kunnen de resultaten van de Vervolgmeting niet helemaal met die van de meting uit 2013 worden vergeleken: ten behoeve van de Vervolgmeting werden namelijk alle adressen in de buurt van spoorbruggen, tunnelbakken, en stations met veel parallelle sporen uitgesloten van deelname (zie ook hoofdstuk 3). Daarnaast heerste in 2021 de Covid-19-pandemie.



Figuur 5.1 Prevalentie (in %; inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval) van ernstige hinder door trillingen in het studiegebied door verschillende trillingsbronnen (personen van 16 jaar en ouder).

Op basis van de resultaten van Vervolgmeting hebben we geschat dat in 2021 naar schatting 11,0% (95% betrouwbaarheidsinterval: 9,6 –

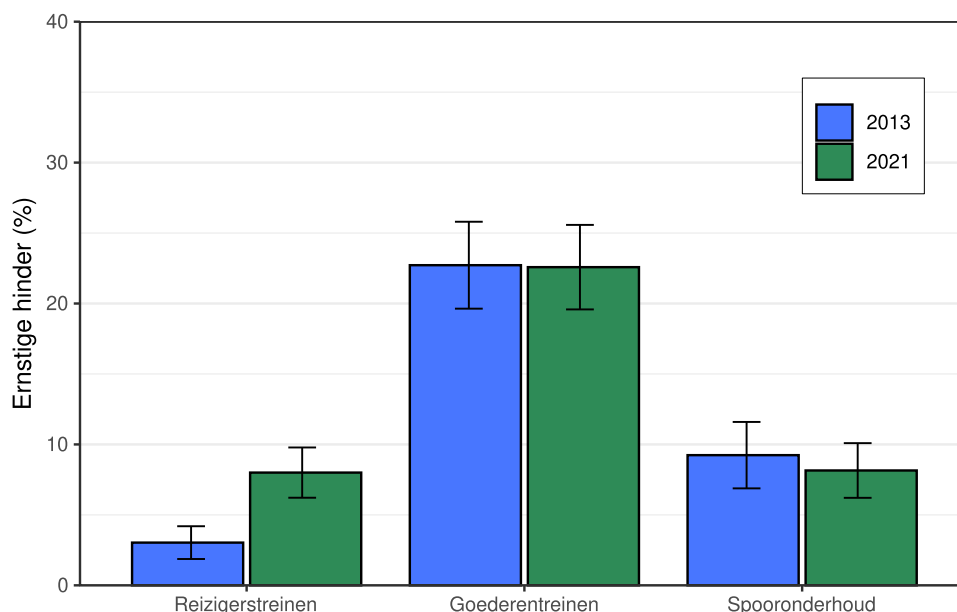
²¹ Voor de definitie en codering van ernstige hinder zie ook bijlage 7. Meer informatie over de gebruikte wegingsfactoren is terug te vinden in bijlage 5.

13,5%) van de personen van 16 jaar en ouder die in het studiegebied wonen ernstig wordt gehinderd door trillingen veroorzaakt door railverkeer²². Het gaat naar schatting om 126.500 mensen. In 2013 werd de prevalentie van ernstige hinder door trillingen van railverkeer geschat op ongeveer 20%.

Railverkeer is niet langer de grootste bron van trillingen binnen 300 meter van een spoorlijn: In 2021 veroorzaken trillingen door wegverkeer en bouwactiviteiten de meeste hinder in de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend in het studiegebied. In 2013 veroorzaakten trillingen van treinverkeer nog wel de meeste hinder. Hinder door trillingen van vliegverkeer is in 2013 niet gemeten.

5.1.1 Hinder door trillingen van verschillende spoorbronnen

In het onderzoeksgebied hebben we de hinder door trillingen van verschillende spoorbronnen onderzocht: goederentreinen, reizigerstreinen en spooronderhoud of enige andere activiteit op het spoor. In figuur 5.2 worden de resultaten voor zowel 2021 als 2013 weergegeven. Ook nu geldt weer dat de situatie in 2021 niet helemaal met die in 2013 kan worden vergeleken, omdat in 2021 adressen in de buurt van spoorbruggen, tunnelbakken, en grote stations met veel parallelle sporen waren uitgesloten van deelname.



Figuur 5.2 Prevalentie (in %; inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval) van ernstige hinder door trillingen van treinen in het studiegebied (personen van 16 jaar en ouder).

Uit figuur 5.2 blijkt dat de trillingen veroorzaakt door goederentreinen verreweg de meeste hinder veroorzaken: De prevalentie van ernstige hinder door trillingen van goederentreinen onder personen van 16 jaar en ouder die in Nederland binnen 300 meter van een spoorlijn wonen

²² Als we het in de rapportage hebben over ernstige hinder of ernstige slaapverstoring door railverkeer bedoelen we het antwoord op de vragen waarin wordt gevraagd in welke mate deelnemers worden gehinderd of slaapverstoord door trillingen van treinverkeer.

(gebieden nabij spoorbruggen, tunnelbakken, en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd), bedraagt in 2021 naar schatting 22,6% (95% betrouwbaarheidsinterval: 19,6 – 25,6%). De prevalentie van ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen wordt geschat op 8,0% (95% betrouwbaarheidsinterval: 6,2 – 9,8%).

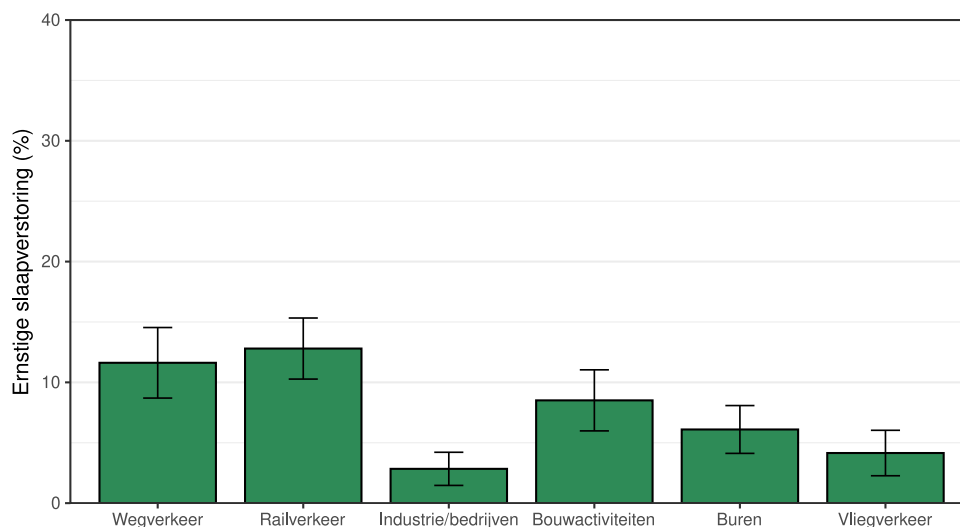
De resultaten van de Vervolgmeting zijn een bevestiging van de resultaten van het onderzoek uit 2013: ook in 2013 veroorzaakten goederentreinen verreweg de meeste hinder. De prevalentie van ernstige hinder door trillingen van goederentreinen werd geschat op 22,7% (95% betrouwbaarheidsinterval: 19,6 – 25,8%). Net als bij de Vervolgmeting, was de prevalentie van ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen in 2013 laag in vergelijking met de prevalentie van ernstige hinder door goederentreinen. Het aandeel ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen werd destijds geschat op 3,0% (95% betrouwbaarheidsinterval: 1,9 – 4,2%).

Let op: het percentage ernstige hinder door goederentreinen is zowel in 2013 als 2021 hoger dan het percentage ernstige hinder veroorzaakt door trillingen van railverkeer. Dit komt door het feit dat het zowel in 2013 als in 2021 om de beantwoording van twee verschillende vragen gaat (zie ook bijlage 3). De vraag over hinder door trillingen van railverkeer en hinder door trillingen van andere bronnen is aan iedere deelnemer nagevraagd; de vraag over hinder door trillingen van specifieke spoorbronnen is alleen nagevraagd bij iedereen die heeft aangegeven dat hij/zij de trillingen van ten minste een van de drie spoorbronnen (reizigerstreinen, goederentreinen of spooronderhoud) heeft waargenomen. Als ze gevraagd wordt naar railverkeer, middelen deelnemers de hinder van afzonderlijke bronnen. Dit verschilt van het oordeel wanneer specifiek om hinder door trillingen van een bepaald treintype (bijvoorbeeld reizigerstreinen of goederentreinen) wordt gevraagd. Daardoor valt de score op de afzonderlijke vragen per treintype hoger uit. Naar dit verschijnsel wordt ook wel verwezen als de gecombineerde geluidsparadox of cumulatieparadox: het verwijst naar het fenomeen dat totale hinder meestal overeenkomt of zelfs lager uitpakt dan die van de afzonderlijke bronnen ([105] in [11]).

5.2 Zelf-gerapporteerde slaapverstoring door trillingen

In figuur 5.3 wordt het voorkomen van ernstige slaapverstoring²³ door verschillende trillingsbronnen weergegeven, geschat op basis van de Vervolgmeting. Omdat in 2013 slaapverstoring door verschillende trillingsbronnen niet is gemeten, worden in de figuur alleen de resultaten voor 2021 weergegeven.

²³ Voor de definitie en codering van ernstige slaapverstoring zie bijlage 7. Meer informatie over de gebruikte wegingsfactoren is terug te vinden in bijlage 5.



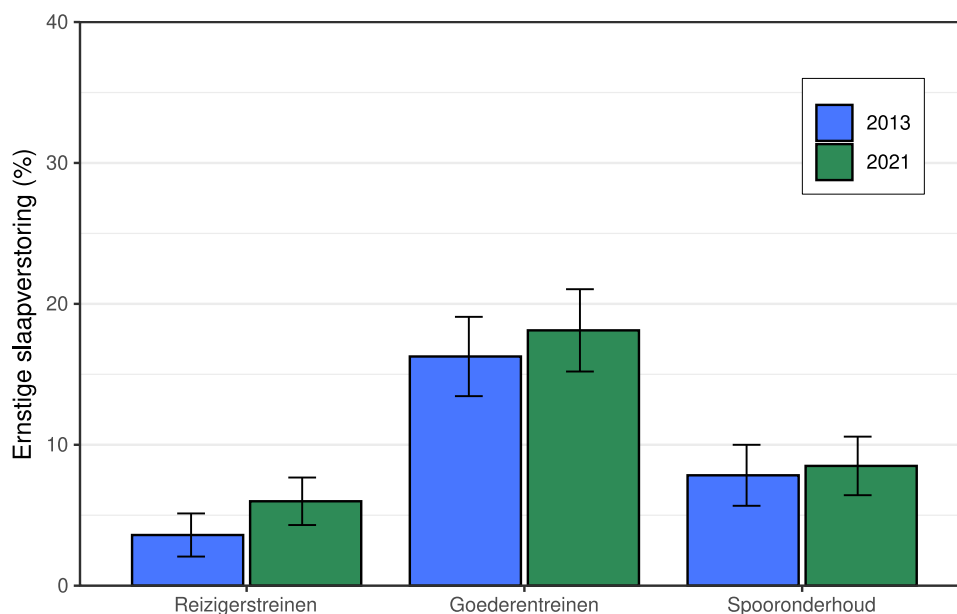
Figuur 5.3 Prevalentie (in %; inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval) van ernstige slaapverstoring door trillingen in het studiegebied door verschillende trillingsbronnen (personen van 16 jaar en ouder) in 2021.

Figuur 5.3 laat zien dat trillingen veroorzaakt door zowel rail- als wegverkeer de meeste slaapverstoring veroorzaken in het studiegebied. Op basis van de resultaten van Vervolgmeting hebben we geschat dat in 2021 naar schatting 12,8 % (95% betrouwbaarheidsinterval: 10,3 – 15,3%) van de personen van 16 jaar en ouder die in Nederland binnen 300 meter van een spoorlijn wonen (gebieden nabij spoorbruggen, tunnelbakken en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd), ernstig worden slaapverstoord door trillingen veroorzaakt door railverkeer; naar schatting 11,6% (95% betrouwbaarheidsinterval: 8,7 – 14,5%) van de personen van 16 jaar en ouder die in het studiegebied wonen, wordt ernstig slaapverstoord door trillingen van wegverkeer.

5.2.1 *Slaapverstoring door trillingen van verschillende spoorbronnen*

Net als bij hinder, hebben we ook de prevalentie van ernstige slaapverstoring door verschillende spoorbronnen geschat: goederentreinen, reizigerstreinen en spooronderhoud of enige andere activiteit op het spoor. In figuur 5.4 worden de resultaten van zowel de Vervolgmeting (2021) als de meting uit 2013 weergegeven. Net als bij hinder geldt nu ook weer dat de situatie in 2021 niet helemaal met die in 2013 kan worden vergeleken, omdat in 2021 adressen in de buurt van spoorbruggen, tunnelbakken en grote stations met veel parallelle sporen waren uitgesloten van deelname.

Uit figuur 5.4 blijkt dat de trillingen veroorzaakt door goederentreinen in 2021 verreweg de meeste slaapverstoring veroorzaken: De prevalentie ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen onder personen van 16 jaar en ouder die in Nederland binnen 300 meter van een spoorlijn wonen (gebieden nabij spoorbruggen, tunnelbakken en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd), bedraagt in 2021 naar schatting 18,1% (95% betrouwbaarheidsinterval: 15,2 – 21,0%). De prevalentie van ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen wordt op basis van de Vervolgmeting geschat op 6,0% (95% betrouwbaarheidsinterval: 6,4 – 10,6%).



Figuur 5.4 Prevalentie (in %; inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval) van ernstige slaapverstoring door trillingen van treinen in het studiegebied (personen van 16 jaar en ouder).

Net als bij hinder zijn de resultaten van de Vervolgmeting een bevestiging van de resultaten van het onderzoek uit 2013. Ook in 2013 veroorzaakten goederentreinen verreweg de meeste slaapverstoring. De prevalentie van trillingen veroorzaakt door goederentreinen werd destijds geschat op 16,3% (95% betrouwbaarheidsinterval: 13,5 – 19,1%). De prevalentie van ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen is ook in 2013 laag in vergelijking met de prevalentie van ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen. Destijds werd het aandeel van ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen geschat op 3,6% (95% betrouwbaarheidsinterval: 2,1 – 5,1%).

Let op: het percentage ernstige slaapverstoring door goederentreinen is in 2021 hoger dan het percentage ernstige slaapverstoring veroorzaakt door trillingen van railverkeer. Net als bij hinder (paragraaf 5.1) kan dit verklaard worden door middel van de zogenaamde gecombineerde geluidsparadox of cumulatieparadox.

6 Blootstelling aan geluid en trillingen van railverkeer

6.1 Blootstelling van de deelnemers aan spoortrillingen

Met behulp van het OURS-model hebben we voor alle deelnemers aan de Vervolgmeting ($N=5.611$) de blootstelling aan spoortrillingen berekend. Tabel 6.1 geeft weer hoe de deelnemers voor een aantal blootstellingsindicatoren (afstand, RMS, V_{per} en V_{max}) zijn verdeeld over de verschillende trillingsniveaus: de tabel presenteert niet alleen een overzicht van de geschatte minimale en maximale trillingsniveaus, maar geeft ook de gemiddelde trillingsniveaus weer die worden veroorzaakt door het treinverkeer dat over het spoor rijdt waarlangs de deelnemers wonen. Verder wordt de verdeling weergegeven aan de hand van percentielen (p_x). Hiermee (p_x) wordt aangegeven welk deel van de deelnemers bijvoorbeeld een trillingssterkte heeft die kleiner is dan of gelijk is aan de waarde die bij het betreffende percentiel hoort. In tabel 6.1 worden alleen de trillingssterktes weergegeven *zonder* ISO-weging: Immers, in de gangbare praktijk [1, 3] van meten en beoordelen, vindt er ook geen frequentie-afhankelijke weging plaats volgens ISO-2631 [23]. In plaats daarvan maken de Bts en de SBR gebruik van een wegingsfunctie voor alle drie de trillingsrichtingen zoals is vastgelegd in de DIN-4150 [106] en de SBR B [1]. Dit is een benadering van de weging die in ISO-2631 plaatsvindt.

Uit tabel 6.1 blijkt dat de deelnemers op een afstand van gemiddeld ruim 62 meter van het spoor wonen. Ook blijkt dat 50% van de deelnemers gedurende een etmaal wordt blootgesteld aan een trillingssterkte die wordt veroorzaakt door railverkeer van 0,061 (V_{per}) of minder; daarnaast is 90% van de deelnemers blootgesteld aan een maximaal trillingsniveau (V_{max}) door railverkeer van 1,85 of minder. Ter vergelijking: een V_{max} van 0,1 correspondeert met de voelbaarheidsgrens [1]. Bijna 90% van de deelnemers is blootgesteld aan maximale trillingsniveaus (V_{max}) van meer dan 0,1. Een waarde van de V_{max} van 3,2 is in de Bts als maximum voor spoorwegtrajecten opgenomen die onder Tracébesluiten vallen [3]. Deze sterkte is duidelijk waarneembaar. Het betreft ontoelaatbare niveaus, en boven deze waarde is de doelmatigheid van trillingsmaatregelen niet meer relevant. Uit tabel 6.1 blijkt dat bijna 2% van de deelnemers aan de Vervolgmeting wordt blootgesteld aan maximale trillingsniveaus (V_{max}) van 3,2 of hoger.

Verder valt op dat de berekende trillingsniveaus voor goederentreinen gemiddeld iets lager zijn dan die voor reizigerstreinen. Daarbij geldt wel dat het niet om exact dezelfde populatie gaat, want er is ook een groot aantal locaties *zonder* goederentreinen. Hierdoor kunnen de getallen niet één-op-één met elkaar vergeleken worden. Voor zowel reizigers als goederentreinen heeft de duur van de trilling geen invloed op de berekende grootheden (wel het aantal treinpassages).

In tabel 6.2 worden de trillingsniveaus zonder ISO-weging vergeleken met de trillingsniveaus met ISO-weging. Uit de tabel blijkt dat de trillingsniveaus *zonder* ISO-weging (V_{max} en de V_{per}) gemiddeld lager zijn dan de trillingsniveaus *met* ISO-weging ($V_{\text{dir,max}}$ en de $V_{\text{per,ISO+}}$).

Tabel 6.3 geeft het voorkomen van een aantal kenmerken van het spoor waarlangs de deelnemers wonen. Deze kenmerken kunnen ook een indicatie van de blootstelling aan trillingen geven.

Tabel 6.1 Blootstelling van de woningen van de deelnemers aan de Vervolgmeting aan spootrillingen (zonder ISO-weging)

Kenmerk	N	Gem	Std	Min	Percentielen					Max
					P ₁₀	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	
Afstand (m)	5.519 ^a	62,2	57,2	4,3	22,1	29,4	40,5	71,3	137,2	297,7
Totaal railverkeer										
V_{per}	5.519 ^a	0,090	0,120	0	0,002	0,023	0,061	0,122	0,212	3,957
V_{per, nacht}	5.519 ^a	0,055	0,072	0	0,001	0,014	0,037	0,074	0,130	2,227
V_{max}	5.519 ^a	0,86	0,77	0	0,10	0,30	0,64	1,15	1,85	10,94
RMS	5.519 ^a	0,00072	0,00089	0	0,00002	0,0002	0,00051	0,00098	0,00164	0,02588
RMS_{nacht}	5.519 ^a	0,00046	0,00056	0	0,00001	0,00012	0,00031	0,00062	0,00107	0,01504
Goederentreinen										
V_{per}	4.289 ^b	0,018	0,027	0	0	0,002	0,009	0,023	0,047	0,262
V_{per, nacht}	4.289 ^b	0,017	0,025	0	0	0,002	0,008	0,020	0,042	0,254
V_{max}	4.289 ^b	0,53	0,55	0	0,02	0,13	0,37	0,75	1,26	3,98
RMS	4.289 ^b	0,00021	0,00031	0	0	0,00003	0,0001	0,00027	0,00055	0,00302
RMS_{nacht}	4.289 ^b	0,0002	0,00029	0	0	0,00003	0,0001	0,00024	0,00048	0,00307
Reizigerstreinen										
V_{per}	5.403 ^c	0,092	0,119	0	0,003	0,026	0,063	0,124	0,215	3,957
V_{per, nacht}	5.403 ^c	0,053	0,069	0	0,001	0,014	0,036	0,070	0,122	2,227
V_{max}	5.403 ^c	0,85	0,77	0	0,11	0,31	0,65	1,15	1,86	10,94
RMS	5.403 ^c	0,00069	0,00085	0	0,00002	0,0002	0,00049	0,00093	0,00156	0,02588
RMS_{nacht}	5.403 ^c	0,00042	0,00051	0	0,00001	0,00012	0,00029	0,00057	0,00095	0,01503

Afkortingen: N = Aantal deelnemers, Gem = Gemiddelde, Std = Standaarddeviatie, Min = minimale waarde, P₁₀ = 10^e percentiel, P₂₅ = 25^e percentiel, P₅₀ = 50^e percentiel ofwel mediane waarde, P₇₅ = 75^e percentiel, P₉₀ = 90^e percentiel, Max = maximale waarde

^a Het gaat hier om deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover goederentreinen en/of reizigerstreinen rijden;

^b Het gaat hier om deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover goederentreinen rijden. Deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover alleen reizigerstreinen rijden, zijn niet meegenomen;

^c Het gaat hier om deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover reizigerstreinen rijden. Deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover alleen goederentreinen rijden, zijn niet meegenomen;

Tabel 6.2 Blootstelling van de woningen van de deelnemers aan de Vervolgmeting aan trillingen van railverkeer: met en zonder ISO-weging^a

Kenmerk	N	Gem	Std	Min	Percentielen					Max
					P ₁₀	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	
Afstand	5.519	62,2	57,2	4,3	22,1	29,4	40,5	71,3	137,2	297,7
Zonder ISO-weging										
V_{per}	5.519	0,090	0,120	0	0,002	0,023	0,061	0,122	0,212	3,957
V_{per, nacht}	5.519	0,055	0,072	0	0,001	0,014	0,037	0,074	0,130	2,227
V_{max}	5.519	0,84	0,77	0	0,10	0,30	0,64	1,15	1,85	10,94
RMS	5.519	0,00072	0,00089	0	0,00002	0,00020	0,00051	0,00098	0,00164	0,02588
RMS_{nacht}	5.519	0,00046	0,00056	0	0,00001	0,00012	0,00031	0,00062	0,00107	0,01504
Met ISO-weging										
V_{per}	5.519	0,129	0,156	0	0,010	0,042	0,093	0,170	0,267	4,819
V_{per, nacht}	5.519	0,078	0,097	0	0,060	0,026	0,057	0,104	0,168	2,694
V_{max}	5.519	1,26	1,13	0	0,19	0,50	1,00	1,66	2,64	10,70
RMS	5.519	0,00102	0,00114	0	0,00009	0,00036	0,00077	0,00135	0,00216	0,03448
RMS_{nacht}	5.519	0,00065	0,00075	0	0,00005	0,00023	0,00048	0,00087	0,00142	0,01864

Afkortingen: N = Aantal deelnemers, Gem = Gemiddelde, SD = Standaard Deviatie, Min = minimale waarde, P₁₀ = 10^e percentiel, P₂₅ = 25^e percentiel, P₅₀ = 50^e percentiel ofwel mediane waarde, P₇₅ = 75^e percentiel, P₉₀ = 90^e percentiel, Max = maximale waarde

^a Het gaat hier om deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover goederentreinen en/of reizigerstreinen rijden;

Tabel 6.3 Fysieke kenmerken van het spoor die een indicatie kunnen geven van de blootstelling aan trillingen

Kenmerk	N*	Gem	Std	Min	Percentielen					Max
					P ₁₀	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	
Totaal aantal treinen per 24 uur	5.519	221,6	198,9	0	42,3	83,4	174,2	280,3	471	1.671,3
Goederentreinen										
Treinen per uur (overdag)^a	4.289	0,6	0,8	0	0	0	0,2	0,6	2,4	6,4
Treinen per uur (avond)^a	4.289	0,6	0,9	0	0	0	0,3	0,7	2,7	6,9
Treinen per uur (nacht)^a	4.289	0,5	0,8	0	0	0,1	0,2	0,4	2,2	6,5
Totaal aantal treinen (24 uur)^a	4.289	13,4	20,4	0	0,2	1,4	6,7	13,9	59,8	158,6
Gem. Snelheid (Km/uur)^a	4.185	69,1	32,7	0	0	53,6	88,9	90	90	90
Reizigerstreinen										
Treinen per uur (overdag)^b	5.403	11,1	10,1	0,2	2,5	4,2	8,5	14	23,9	84,6
Treinen per uur (avond)^b	5.403	8,9	7,9	0	2	3,4	7	11,4	19,7	68,1
Treinen per uur (nacht)^b	5.403	2,8	2,6	0	0,6	1,2	1,9	3,6	5,7	22,8
Totaal aantal treinen (24 uur)^b	5.403	215,7	193,7	2,9	50,1	81,7	155,1	271,2	465,1	1.651,9
Gem. Snelheid (Km/uur)^b	5.402	80,8	25,3	29,2	40	61,5	84,9	100,5	111,2	130
Bijdrage nachttreinen^c op totale railverkeer (%)										
	5.519	5,6	2,4	0	4	4,6	5,4	6,2	7,5	100
Bijdrage goederen treinen^c op totale railverkeer (24 uur)										
	5.519	6,5	15,7	0	0	0,1	1,3	5,8	18,2	100
Bijdrage goederen treinen op totale railverkeer (nacht)										
	5.435 ^d	10,1	16,0	0	0	0,7	3,7	12,7	34,6	100

Afkortingen: N = Aantal deelnemers, Gem = Gemiddelde, SD = Standaard Deviatie, Min = minimale waarde, P₁₀ = 10^e percentiel, P₂₅ = 25^e percentiel, P₅₀ = 50^e percentiel ofwel mediane waarde, P₇₅ = 75^e percentiel, P₉₀ = 90^e percentiel, Max = maximale waarde, km = kilometer

^a Het gaat hier om deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover goederentreinen rijden. Deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover alleen reizigerstreinen rijden, zijn niet meegenomen;

^b Het gaat hier om deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover reizigerstreinen rijden. Deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover alleen goederentreinen rijden, zijn niet meegenomen;

^c Het gaat hier om deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover goederentreinen en/of reizigerstreinen rijden;

^d Dit zijn minder dan 5.519 waarnemingen doordat er soms geen enkele trein is in de nacht. Het betreft zowel goederen- als reizigerstreinen;

Uit tabel 6.3 blijkt dat over de onderzochte trajecten voornamelijk reizigerstreinen rijden. Per etmaal rijden er gemiddeld in totaal ruim 215 reizigerstreinen over de spoorlijnen waaraan de deelnemers van de Vervolgmeting wonen; voor goederentreinen zijn dit er gemiddeld ruim 13 per etmaal.

Tijdens de nachtperiode is het qua reizigerstreinen aanmerkelijk rustiger op het spoor: Overdag (tussen 7 en 19 uur) rijden gemiddeld ruim 11 reizigerstreinen per uur over het spoor; tijdens de nachtperiode (tussen 23 en 7 uur) zijn dat er gemiddeld bijna 3 per uur. Voor de goederentreinen zijn de verschillen in drukte tussen de verschillende etmaalperiodes klein. Gemiddeld is het aandeel goederentreinen klein (6,5%). Het aandeel treinen dat tijdens de nachtperiode over het spoor rijdt is gemiddeld 5,6%. Kijken we naar de bijdrage van het aantal goederentreinen dat ten opzichte van het totale railverkeer tijdens de nacht over het spoor rijdt, dan verdubbelt het aandeel tot gemiddeld 10,1%. De reizigerstreinen rijden met een hogere snelheid over het spoor dan de goederentreinen.

6.2 Blootstelling van de deelnemers aan geluid van railverkeer

Naast trillingen produceren de treinen ook nogal wat geluid (zie ook tabel 6.4). De gemiddelde geluidsblootstelling door railverkeer van de deelnemers bedroeg 54,5 dB L_{den} . Ter vergelijking: in 2018 deed de Guideline Development Group (GDG) van de Wereldgezondheid Organisatie (WHO) de sterke aanbeveling om de geluidniveaus van railverkeer te reduceren tot onder 54 dB (L_{den}), omdat het geluid van railverkeer boven dit niveau wordt geassocieerd met negatieve gezondheidseffecten. Daarnaast deed de GDG de sterke aanbeveling om de nachtelijke geluidniveaus van railverkeer te reduceren tot 44 dB (L_{night}) [107, 108]. De gemiddelde blootstelling van de deelnemers aan de Vervolgmeting aan geluid afkomstig van railverkeer tijdens de nacht bedraagt 46,6 dB (L_{night}).

Tabel 6.4 Blootstelling aan geluid^a.

Kenmerk	N	Gem	SD	Min	Percentielen					Max
					P ₁₀	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀	
Geluid van railverkeer										
L_{den} (in dB)	5.540	54,5	11,2	25,0	36,7	48,3	57,1	62,7	66,7	78,0
L_{night} (in dB)	5.540	46,6	11,1	20,0	28,7	40,4	49,0	54,6	58,9	71,0
Geluid van wegverkeer										
L_{den} (in dB)	5.611	50,4	6,5	30,0	42,9	45,5	49,3	59,8	59,8	75,8
L_{night} (in dB)	5.611	41,0	6,2	20,0	34,2	36,3	39,7	50,1	50,1	67,1

Afkortingen: N = Aantal deelnemers, Gem = Gemiddelde, SD = Standaard Deviatie, Min = minimale waarde, P₁₀ = 10^e percentiel, P₂₅ = 25^e percentiel, P₅₀ = 50^e percentiel ofwel mediane waarde, P₇₅ = 75^e percentiel, P₉₀ = 90^e percentiel, Max = maximale waarde, L_{den} = Day-evening-night level, L_{night} = Night level, dB = decibel

^aHet gaat hier om deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover goederentreinen en/of reizigerstreinen rijden;

6.3 **Onderlinge samenhang tussen de verschillende blootstellingsindicatoren**

Uit tabel 6.5 blijkt dat de afstand tot het spoor matig ($r \sim 0,6$) is gecorreleerd met de blootstelling aan trillingen; ook de correlatie tussen afstand tot het spoor en de blootstelling aan geluid van railverkeer is matig ($r \sim 0,5$). De maten voor de blootstelling aan trillingen door treinen (RMS , V_{per} en V_{max}) zijn hoog-zeer hoog ($r \sim 0,9$) met elkaar gecorreleerd. De blootstelling aan trillingen door treinen is matig gecorreleerd met de blootstelling aan geluid van treinen ($r \sim 0,6$).

Tabel 6.5 Spearman-correlatie-coëfficiënten tussen de verschillende blootstellingsindicatoren (N = 5.519)^{ab}.

	Afstand	RMS	RMS_{nacht}	V_{per}	V_{per, nacht}	V_{max}	L_{den}	L_{den}	T.A. treinen	B. goed.	B. nacht.	B. Goed (nacht)
Afstand	1	-0,66	-0,65	-0,64	-0,63	-0,69	-0,54	-0,54	0,06	-0,02	-0,04	-0,01
RMS	-0,66	1	0,99	0,99	0,98	0,91	0,65	0,64	0,35	0,17	0,02	0,14
RMS_{nacht}	-0,65	0,99	1	0,98	0,99	0,91	0,64	0,65	0,34	0,19	0,10	0,16
V_{per}	-0,64	0,99	0,98	1	0,99	0,91	0,67	0,66	0,38	0,18	-0,02	0,16
V_{per, nacht}	-0,63	0,98	0,99	0,99	1	0,91	0,66	0,66	0,36	0,19	0,06	0,16
V_{max}	-0,69	0,91	0,91	0,91	0,91	1	0,58	0,58	0,14	0,11	0,02	0,10
L_{den}	-0,54	0,65	0,64	0,67	0,66	0,58	1	0,99	0,38	0,27	-0,02	0,24
L_{night}	-0,54	0,64	0,65	0,66	0,66	0,58	0,99	1	0,38	0,30	0,02	0,28
Totaal aantal treinen	0,06	0,35	0,34	0,38	0,36	0,14	0,38	0,38	1	0,34	-0,08	0,28
Bijdrage goederen treinen^c	-0,02	0,17	0,19	0,18	0,19	0,11	0,27	0,30	0,34	1	0,15	0,96
Bijdrage nachttreinen^d	-0,04	0,02	0,10	-0,02	0,06	0,02	-0,02	0,02	-0,08	0,15	1	0,10
Bijdrage goederentreinen (nacht)^e	-0,01	0,14	0,16	0,16	0,16	0,10	0,24	0,26	0,28	0,96	0,10	1

Afkortingen: T.A. treinen = totaal aantal treinen, B goed = Bijdrage goederentreinen, B.nacht. = Bijdrage nachttreinen, B. Goed (nacht) = Bijdrage goederentreinen op totale railverkeer tijdens de nacht

^aRMS, V_{per} en V_{max} zijn berekend met behulp van het OURS-model; daarbij is geen ISO-weging toegepast;

^bHet gaat hier om deelnemers die binnen 300 meter van een spoorlijn wonen waarover goederentreinen en/of reizigerstreinen rijden;

^c Het percentage goederentreinen op het totaal aantal treinen per 24uur;

^d Het percentage nachttreinen op het totaal aantal treinen per 24uur;

^e Het percentage goederentreinen op het totaal aantal nachttreinen.

Om het overzichtelijk te houden, hebben we in tabel 6.5 alleen blootstellingsindicatoren voor trillingen opgenomen waarbij *geen* ISO-weging is toegepast. In tabel 6.6 is weergegeven hoe de verschillende maten voor de blootstelling aan trillingen met- en zonder ISO-weging met elkaar correleren. Uit de tabel blijkt dat de correlatie tussen blootstellingsmaat zonder ISO-weging en het bijbehorende equivalent met ISO-weging steeds hoog-zeer hoog is.

Tabel 6.6 Correlatiecoëfficiënten tussen verschillende blootstellingsindicatoren met en zonder ISO-weging ($N = 5.519$).

Blootstellings-indicator	Spearman correlatiecoëfficiënt*	Pearson correlatiecoëfficiënt
$V_{\max}$	0,90	0,94
RMS	0,91	0,93
RMS_{nacht}	0,92	0,93
V_{per}	0,92	0,93
$V_{\text{per, nacht}}$	0,92	0,93

*Dit is de correlatiecoëfficiënt van de relatie tussen de blootstellingindicator met en zonder ISO-weging.

6.4 Welke blootstellingsmaat voor spoortrillingen is het meest geschikt?

In deze paragraaf proberen we na te gaan welke blootstellingsmaat voor spoortrillingen het beste de hinder en slaapverstoring door trillingen van railverkeer voorspelt. Daarbij hebben we zowel gekeken naar de fit van het model met de onderliggende data, als naar de nauwkeurigheid van het model om hinder te voorspellen. De resultaten worden gepresenteerd in tabel 6.7.

6.4.1 Hinder

Uit tabel 6.7 blijkt dat voor de voorspellende modellen voor ernstige hinder door trillingen van railverkeer, de RMS blootstelling *zonder* ISO-weging ($\text{RMS}_{24\text{hr}}$) de beste fit heeft met de onderliggende data ($\Delta\text{AIC} = 0$), gevolgd door de $V_{\max}$ ($\Delta\text{AIC} = 1$) en de V_{per} *zonder* ISO-weging ($\Delta\text{AIC} = 2$). De verschillen in de fit tussen de modellen op basis van deze drie blootstellingsmaten zijn zo klein dat het niet mogelijk is om met zekerheid een beste blootstelling aan te wijzen om ernstige hinder te voorspellen. Wel scoren deze drie blootstellingsmaten significant beter dan de indicatoren afstand tot spoor, $V_{\max, \text{dir}}$, en de V_{per} en RMS *met* ISO-weging ($V_{\text{per, ISO+}}$ en $\text{RMS}_{\text{ISO+}}$).

Tussen de nauwkeurigheid van de verschillende modellen (gemeten via de AUC-waarde) zat ook amper verschil. Dit betekent dat een voorspelling van het percentage ernstige hinder op basis van een van de geteste blootstellingsindicatoren (bijvoorbeeld de $V_{\max}$), ongeveer even nauwkeurig is als de voorspelling gebaseerd op een andere blootstellingsindicator (bijvoorbeeld de afstand tot het spoor). De verschillen tussen de verschillende blootstellingsindicatoren zijn dus klein en het verschil wordt met name gemaakt met betrekking tot de fit van de modellen. Op basis van de uitkomsten van de vergelijking zijn RMS, V_{per} en $V_{\max}$ (zonder ISO weging) de beste voorspellers van ernstige hinder door trillingen afkomstig van railverkeer.

Binnen de vergelijking van verschillende voorspellers van ernstige hinder van trillingen afkomstig van reizigerstreinen komen afstand tot het spoor ($\Delta AIC = 0$) en $V_{\max}$ ($\Delta AIC = 2$) naar voren als de blootstellingen met de beste fit. Ook hier is het niet mogelijk om onderscheid te maken tussen de fit van modellen op basis van deze twee blootstellingen. Verder was de fit van de modellen met RMS ($\Delta AIC = 6$) en V_{per} ($\Delta AIC = 9$) ook vergelijkbaar met de fit van de beste twee modellen. Net als bij hinder door trillingen van railverkeer is de fit van modellen met blootstellingen *zonder* ISO-weging ($V_{\max}$, RMS, V_{per}) beter dan de fit van modellen die *wel* gebruik maken van ISO-gewogen blootstellingen ($V_{\text{dir,max}}$, $\text{RMS}_{\text{ISO+}}$, $V_{\text{per ISO+}}$). Op basis van de nauwkeurigheid van de modellen zijn er geen echte verschillen. Omdat de nauwkeurigheid van het model op basis van de $V_{\max}$ iets hoger is ($AUC = 0,61$) dan dat van het model met afstand tot het spoor ($AUC = 0,58$), lijkt de $V_{\max}$ de beste voorspeller van ernstige hinder van trillingen afkomstig van reizigerstreinen.

Tabel 6.7 Fit en nauwkeurigheid van modellen gebaseerd op verschillende blootstellingsmaten, om ernstige hinder door trillingen van railverkeer, reizigerstreinen en goederentreinen te voorspellen.

Uitkomstmaat	Blootstellingsmaat	ΔAIC	AUC (BI 95%)
Ernstige hinder door trillingen railverkeer	RMS	0	0,66 (0,61-0,70)
	$V_{\max}$	1 ^a	0,65 (0,60-0,70)
	V_{per}	2 ^a	0,66 (0,61-0,70)
	Afstand tot spoor	11	0,65 (0,62-0,67)
	$V_{\text{dir,max}}$	22	0,64 (0,58-0,69)
	$\text{RMS}_{\text{ISO+}}$	30	0,64 (0,59-0,69)
	$V_{\text{per,ISO+}}$	32	0,65 (0,60-0,69)
Ernstige hinder door trillingen reizigerstreinen	Afstand tot spoor	0	0,58 (0,52-0,63)
	$V_{\max}$	2 ^a	0,61 (0,56-0,65)
	RMS	6 ^b	0,60 (0,57-0,63)
	V_{per}	9 ^b	0,60 (0,57-0,64)
	$V_{\text{dir,max}}$	15	0,61 (0,57-0,65)
	$\text{RMS}_{\text{iso+}}$	30	0,60 (0,58-0,62)
	$V_{\text{per iso+}}$	31	0,60 (0,58-0,63)
Ernstige hinder door trillingen goederentreinen	Afstand tot spoor	0	0,61 (0,56-0,63)
	V_{per}	29	0,66 (0,61-0,71)
	RMS	33	0,66 (0,61-0,71)
	$V_{\max}$	66	0,65 (0,6-0,69)
	$V_{\text{per iso+}}$	78	0,67 (0,64-0,71)
	$V_{\text{dir,max}}$	79	0,66 (0,63-0,69)
	$\text{RMS}_{\text{iso+}}$	84	0,66 (0,63-0,70)

Afkortingen: ΔAIC = delta Aikake's Information Criterion, een maat voor de fit van het model, AUC = Area Under the Curve, maat voor de nauwkeurigheid van het model, BI95% = 95% betrouwbaarheidsinterval;

^a = geen verschil in fit met het beste model;

^b = een vergelijkbare maar licht mindere fit dan het beste model ($\Delta AIC = 0$).

Binnen de vergelijking van verschillende voorspellers van ernstige hinder van trillingen afkomstig van goederentreinen komt afstand tot het spoor ($\Delta AIC = 0$) naar voren als de blootstellingsindicator met de beste fit. De andere onderzochte blootstellingsindicatoren hebben een ΔAIC die een stuk groter is dan 10. Dit betekent dat deze indicatoren zeker een slechtere fit hebben dan afstand. Net als bij hinder door

trillingen van railverkeer en reizigerstreinen is de fit van modellen met blootstellingen zonder ISO-weging ($V_{\max}$, RMS, V_{per}) beter dan de fit van modellen die gebruik maken van ISO-gewogen blootstellingen ($V_{\text{dir},\max}$, $\text{RMS}_{\text{ISO+}}$, $V_{\text{per ISO+}}$).

Een opvallende uitkomst is dat de trillingsmaat afstand tot het spoor de beste fit heeft ($\Delta\text{AIC} = 0$) maar niet de hoogste nauwkeurigheid ($\text{AUC} = 0,61$). De modellen die zijn gebaseerd op de V_{per} ($\Delta\text{AIC} = 29$, $\text{AUC} = 0,66$) en RMS ($\Delta\text{AIC} = 33$, $\text{AUC} = 0,66$) scoren lager op fit maar hoger op nauwkeurigheid. Hierdoor is het lastig om een beste trillingsmaat voor het voorspellen van ernstige hinder door trillingen van goederentreinen te identificeren.

De AUC waarden van modellen voor reizigerstreinen ($\text{AUC-range} = 0,58-0,61$) zijn lager dan die van goederentreinen ($\text{AUC-range} = 0,61-0,67$) en treinverkeer ($\text{AUC-range} = 0,64-0,66$). Dit betekent dat hinder door trillingen van reizigerstreinen moeilijker te voorspellen is dan de hinder afkomstig van railverkeer en goederentreinen. Dit zien we ook bij slaapverstoring door reizigerstreinen ($\text{AUC-range} = 0,57-0,58$) ten opzichte van slaapverstoring door goederentreinen ($\text{AUC-range} = 0,62-0,65$) en railverkeer ($\text{AUC-range} = 0,59 - 0,62$) (zie ook tabel 6.8).

6.4.2 *Slaapverstoring*

Ook voor slaapverstoring hebben we gekeken naar welke trillingsmaat het beste scoort op fit en nauwkeurigheid. Voor de indicatoren V_{per} en RMS is hiervoor gebruikt gemaakt van de nachtwaarden. Voor de $V_{\max}$ en $V_{\text{dir},\max}$ zijn de etmaalwaarden gebruikt omdat er geen nachtwaarden beschikbaar waren van deze trillingsmaat. De resultaten van de vergelijking staan in tabel 6.8.

Bij slaapverstoring door trillingen van railverkeer had de indicator $V_{\max}$ de beste fit, gevolgd door afstand tot het spoor, de trillingsmaten *zonder* ISO-weging, en ten slotte de blootstellingsindicatoren *met* ISO-weging. De verschillen in fit tussen de indicatoren zijn wel erg klein, en ook qua nauwkeurigheid verschillen de modellen amper van elkaar. Ook hier is het daarom lastig om een beste trillingsmaat aan te wijzen.

De uitkomsten bij slaapverstoring door trillingen van reizigers- en goederentreinen komen sterk overeen met de uitkomsten van slaapverstoring door trillingen van railverkeer.

Tabel 6.8 Fit en nauwkeurigheid van modellen gebaseerd op verschillende blootstellingsmaten, om ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer, reizigerstreinen en goederentreinen te voorspellen.

Uitkomstmaat	Blootstellingsmaat	ΔAIC	AUC (BI 95%)
Ernstige slaapverstoring door trillingen railverkeer	V_{max}	0	0,61 (0,58-0,63)
	Afstand tot spoor	3 ^b	0,59 (0,57-0,61)
	RMS_{nacht}	4 ^b	0,62 (0,59-0,65)
	$V_{per\ nacht}$	5 ^b	0,62 (0,59-0,65)
	$RMS_{nacht, iso+}$	8 ^b	0,61 (0,59-0,64)
	$V_{dir,max}$	10	0,60 (0,58-0,63)
	$V_{per\ nacht, iso+}$	11	0,61 (0,58-0,64)
Ernstige slaapverstoring door trillingen reizigerstreinen	V_{max}	0	0,58 (0,54-0,62)
	RMS_{nacht}	3 ^b	0,58 (0,55-0,61)
	$V_{per\ nacht}$	5 ^b	0,58 (0,54-0,61)
	$V_{dir,max}$	19	0,58 (0,53-0,62)
	Afstand tot spoor	21	0,58 (0,51-0,65)
	$RMS_{nacht, iso+}$	28	0,57 (0,54-0,60)
	$V_{per\ nacht, iso+}$	29	0,57 (0,53-0,60)
Ernstige slaapverstoring door trillingen goederentreinen	Afstand tot spoor	0	0,62 (0,60-0,63)
	$V_{per\ nacht}$	3 ^b	0,64 (0,62-0,67)
	RMS_{nacht}	5 ^b	0,64 (0,62-0,67)
	$V_{per\ nacht, iso+}$	25	0,64 (0,60-0,67)
	V_{max}	28	0,64 (0,62-0,67)
	$V_{dir,max}$	31	0,64 (0,62-0,67)
	$RMS_{nacht, iso+}$	32	0,65 (0,61-0,68)

Afkortingen: ΔAIC = delta Aikake's Information Criterion, een maat voor de fit van het model, AUC = Area Under the Curve, maat voor de nauwkeurigheid van het model, BI95% = 95% betrouwbaarheidsinterval;

^a = geen verschil in fit met het beste model;

^b = een vergelijkbare maar licht mindere fit dan het beste model ($\Delta AIC = 0$).

7 De relatie tussen de blootstelling aan spoortrillingen en hinder en slaapverstoring

In dit hoofdstuk presenteren we de blootstelling-responsrelaties (BR-relaties) tussen de blootstelling aan spoortrillingen en ernstige hinder en ernstige slaapverstoring. Omdat de maten voor de blootstelling aan trillingen *zonder* ISO-weging (zie paragraaf 6.4) een betere fit hadden dan de maten *met* ISO-weging, en omdat het beter aansluit bij de huidige regelgeving (Bts en SBR), zullen hier alleen de resultaten voor de maten *zonder* ISO-weging worden getoond. In bijlage 9 geven we de formules weer voor een selectie van de in dit hoofdstuk afgeleide BR-relaties.

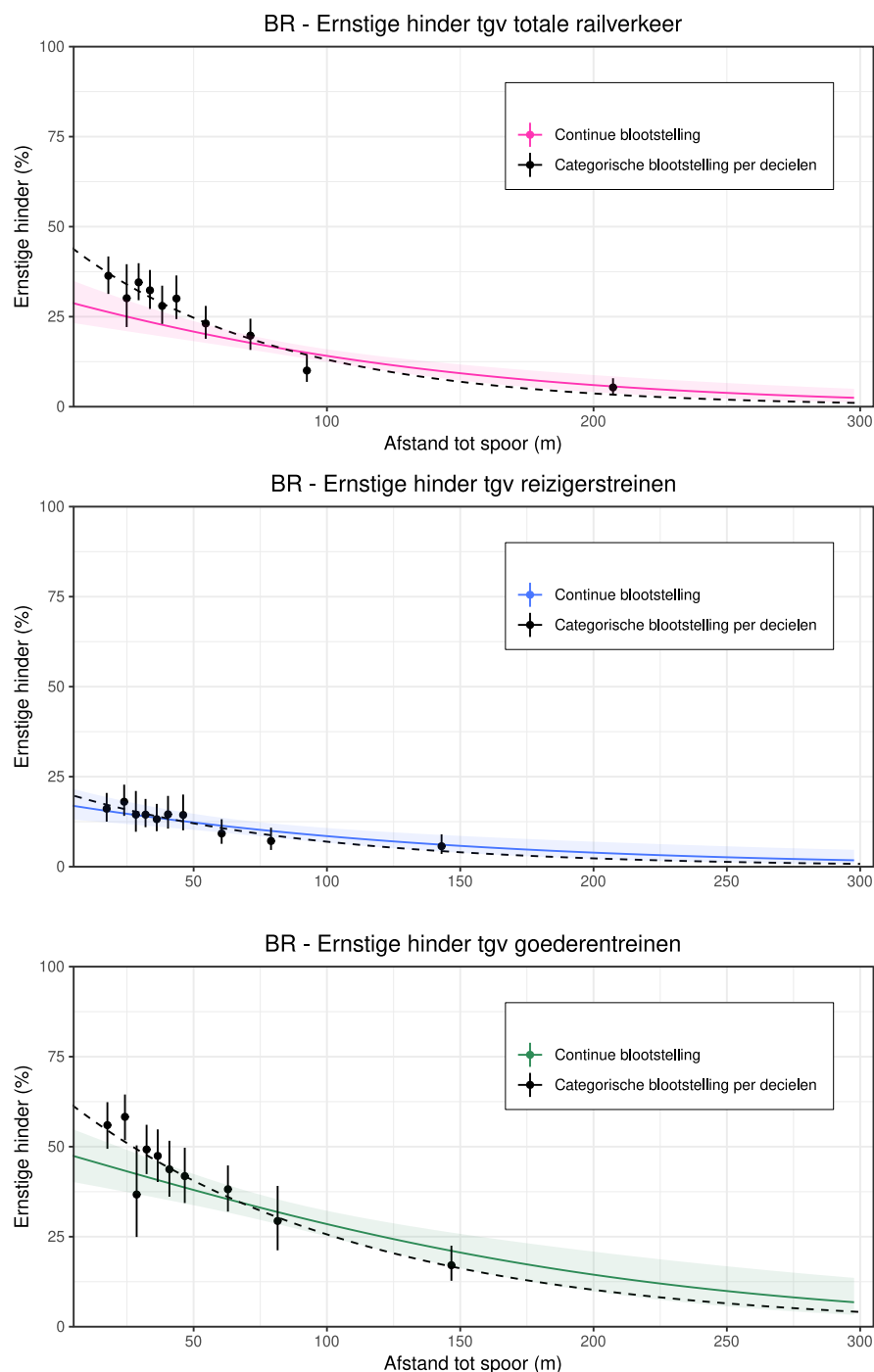
7.1 Zelfgerapporteerde hinder

Figuur 7.1 geeft de relatie tussen de afstand tot het spoor (in meters) en het percentage ernstige hinder ten gevolge van trillingen van respectievelijk railverkeer, goederentreinen en reizigerstreinen grafisch weer. Voor alle drie de treintypen is er een verband te zien tussen het percentage ernstig gehinderden door trillingen en de afstand tot het spoor: naarmate men dichterbij een spoorlijn woont, neemt de kans op ernstige hinder door trillingen toe. Bij gelijke afstand tot het spoor, veroorzaken de trillingen van goederentreinen de meeste hinder. Bovendien is de relatie tussen afstand tot het spoor en ernstige hinder ten gevolge van trillingen van goederentreinen het sterkst: bij een verandering van de afstand van het spoor van bijvoorbeeld 200 naar 100 meter, neemt het percentage ernstige hinder bij goederentreinen het sterkst toe ("steilste lijn").

Voor het afleiden van de BR-relaties hebben we verschillende soorten modellen gebruikt (zie ook paragraaf 3.9.3). In de figuur worden deze weergegeven door een gekleurde en een zwart gestippelde lijn. Vooral dichtbij het spoor zijn er verschillen te zien tussen de modellen. De (non-lineaire) categorische modellen voor hinder door trillingen van treinverkeer en goederentreinen voorspellen meer ernstige hinder op korte afstand (minder dan 50 meter) van het spoor dan de continue modellen.

Tabel 7.1 Model met de beste fit voor de associatie tussen de blootstelling aan spoortrillingen (zonder richtingsafhankelijke frequentieweging) en ernstige hinder ten gevolge van trillingen van treinen.

Blootstellingsindicator	Uitkomstmaat: Ernstige hinder tgv trillingen van		
	Railverkeer	Goederentreinen	Reizigerstreinen
Afstand tot spoor	Categorisch	Continu	Continu
RMS	Categorisch	Categorisch	Continu
V _{per}	Categorisch	Categorisch	Continu
V _{max}	Categorisch	Categorisch	Geen verschil



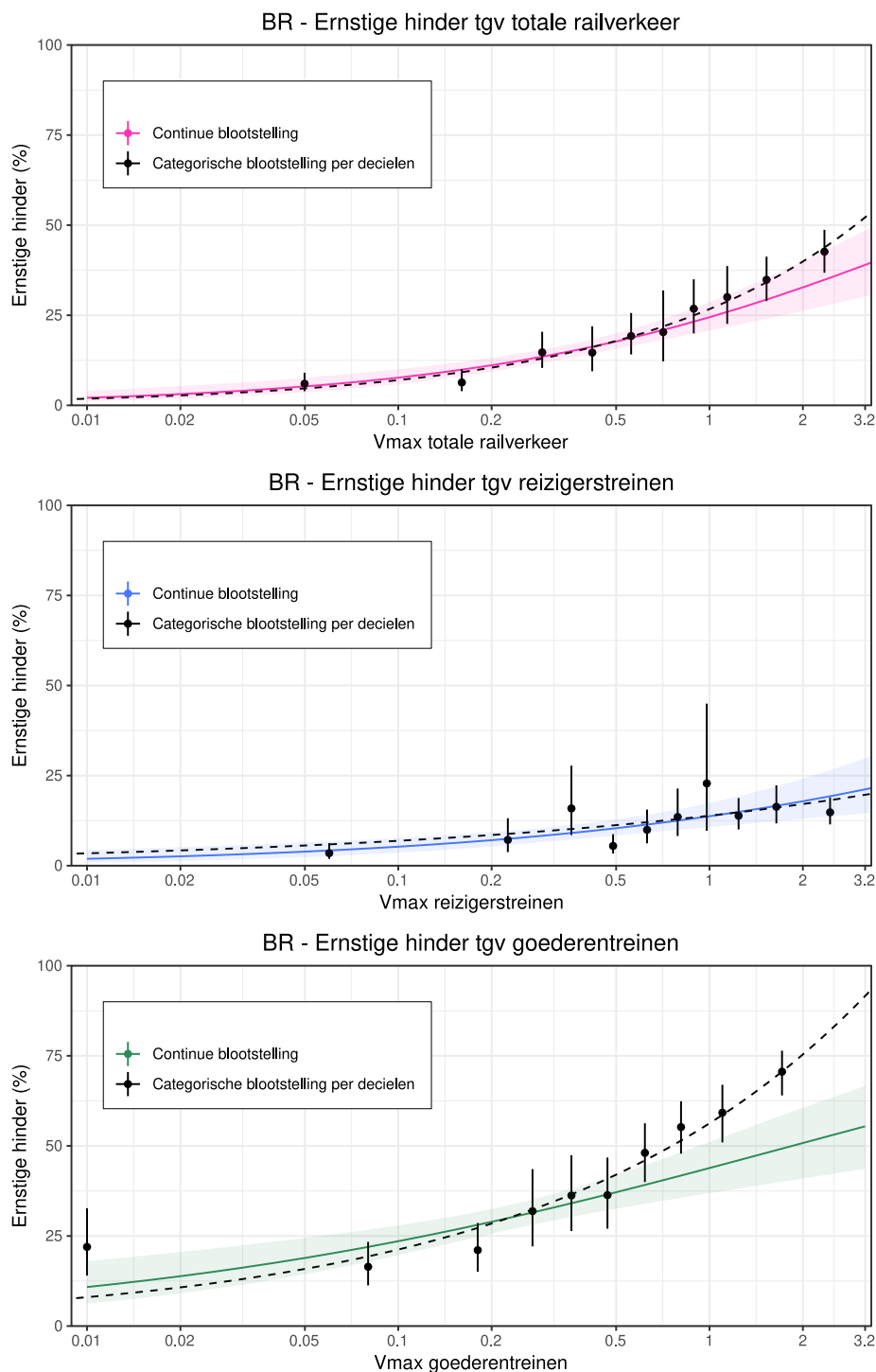
Figuur 7.1 De BR-relaties van afstand tot het spoor en ernstige hinder door trillingen afkomstig van railverkeer (boven), reizigerstreinen (midden) en goederentreinen. De relaties zijn zowel opgesteld op basis van een continue blootstelling (gekleurde lijn) en categorische blootstelling gebaseerd op de decielen van de blootstelling (zwarte lijnen). De gestippelde lijn geeft de trendlijn weer van de schatting van het categorisch model. Ook is per treintype een schatting van de prevalentie van ernstige hinder met 95% betrouwbaarheidsinterval te zien. De gekleurde vlakken rondom de gekleurde lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van de BR-relatie afgeleid op basis van de continue blootstelling.

We hebben getoetst welke van de gebruikte methodes zorgt voor de beste fit. Het resultaat is weergegeven in tabel 7.1. In Bijlage 9 zijn de formules terug te vinden van de BR-relaties tussen de blootstelling aan spoortrillingen en ernstige hinder van spoortrillingen trillingen met de beste fit. Op basis van de fit van de modellen, geeft het *categorische* model de BR-relaties tussen afstand tot spoor en ernstige hinder door trillingen van treinverkeer beter weer dan het continue model. Voor de BR relaties van afstand en hinder door trillingen van goederentreinen en reizigerstreinen hebben de *continue* modellen een betere fit. Het verschil in fit met het categorische model is echter klein. Dit is ook terug te zien in de grotendeels overlappende lijnen voor deze BR-relaties in figuur 7.1.

Figuur 7.2 toont de relatie tussen de maximale trillingssterkte ($V_{\max}$) veroorzaakt door trillingen van respectievelijk railverkeer, reizigerstreinen en goederentreinen en het percentage ernstige hinder door trillingen van deze treinen. Voor alle drie de treintypen is er een verband gevonden tussen het percentage ernstige hinder door trillingen van railverkeer en de maximale trillingssterkte: naarmate de maximale trillingssterkte toeneemt, neemt de kans op ernstige hinder toe. Bij gelijke trillingssterktes, veroorzaken de trillingen ten gevolge van goederentreinen de meeste hinder. Bovendien is de relatie tussen de maximale trillingssterkte en ernstige hinder ten gevolge van trillingen van goederentreinen het sterkst: bij een toename van de maximale trillingssterkte van bijvoorbeeld 0,1 naar 1, neemt het percentage ernstige hinder bij goederentreinen het sterkst toe ("steilste lijn").

Ook nu hebben we voor het afleiden van de BR-relaties verschillende modellen gebruikt. Vooral voor ernstige hinder door trillingen ten gevolge van goederentreinen is het verschil tussen de twee modellen groot. Het gebruik van een categorische blootstellingmaat leidt tot een sterkere BR-relatie, met name bij hinder veroorzaakt door goederentreinen. Bij lagere blootstellingsniveaus volgen beide methodes elkaar nog wel goed; bij hogere blootstellingsniveaus lopen de modellen vaak uit elkaar: bij hogere waarden van de $V_{\max}$ ($V_{\max}$ groter dan $\sim 0,7$) voorspellen de categorische modellen bij dezelfde blootstellingsniveaus een hoger percentage ernstige hinder dan de continue modellen. Na toetsing bleken de modellen met categorische blootstellingen de beste fit te hebben (zie ook tabel 7.1). Dit betekent dan ook dat deze BR-relaties beter aansluiten op de onderliggende gegevens dan de continue BR-relaties. Bij de relatie tussen de maximale trillingssterkte en ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen was er geen verschil in de fit tussen de twee modellen.

In bijlage 8 laten we voor de volledigheid zien hoe de BR-relatie tussen de maximale trillingssterkte *zonder* ISO-weging ($V_{\max}$) en ernstige hinder door trillingen van treinverkeer zich verhoudt tot de BR-relatie tussen de maximale trillingssterkte *met* ISO-weging ($V_{dir, \max}$) en ernstige hinder door trillingen van treinverkeer. Dit is ter illustratie: op die manier willen we laten zien wat de invloed is van het gebruik van de ISO-weging op de afgeleide BR-relaties.

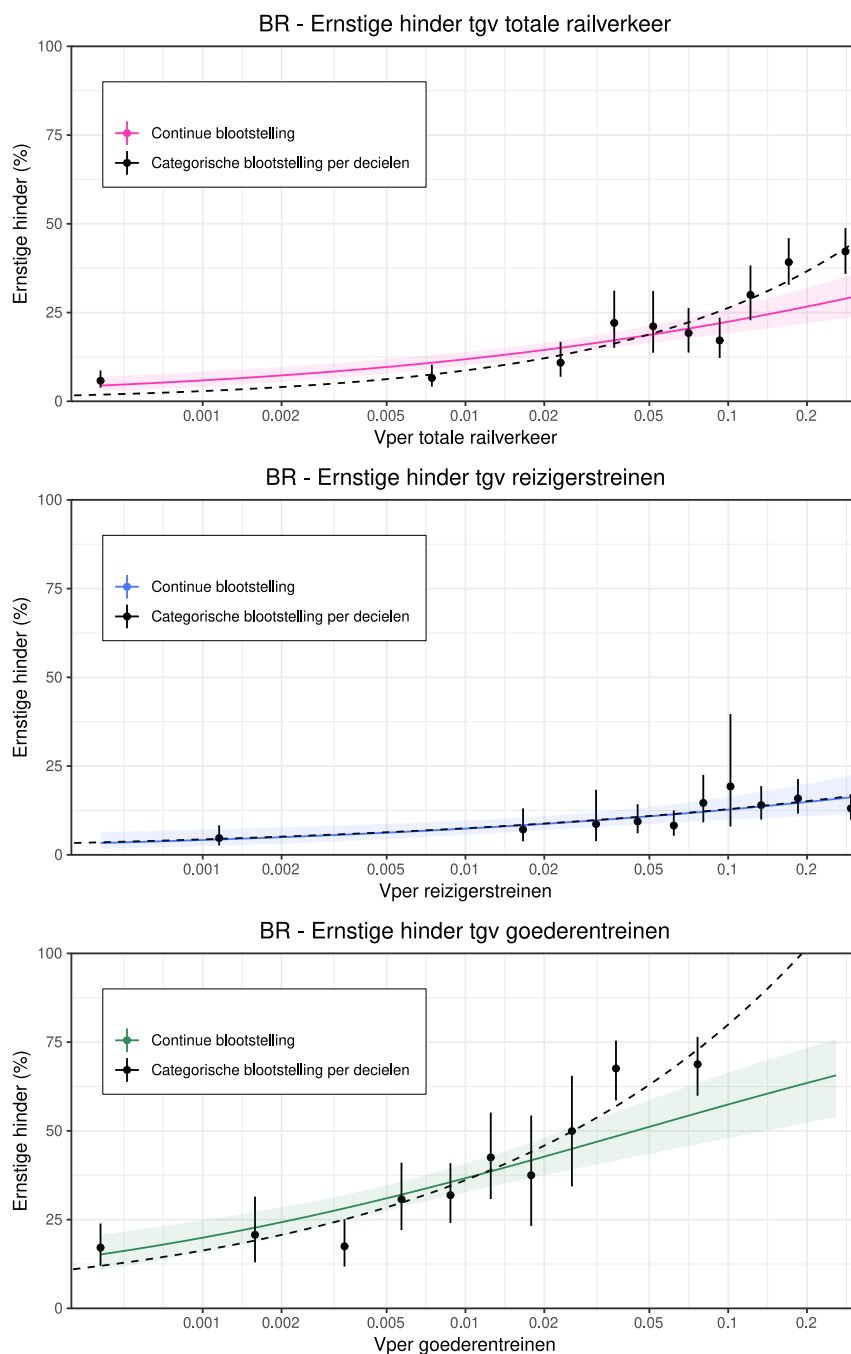


Figuur 7.2 De blootstellings-response relaties tussen de maximale blootstelling aan trillingen (V_{max}) en ernstige hinder door trillingen afkomstig van railverkeer (boven), reizigerstreinen (midden) en goederentreinen. De relaties zijn zowel opgesteld op basis van een continue blootstelling (gekleurde lijn) als categorische blootstelling gebaseerd op de decielen van de blootstelling (zwarte lijnen). De gestippelde lijn geeft de trendlijn weer van de schatting van het categorische model. Ook is per treintype een schatting van de prevalentie van ernstige hinder met 95% betrouwbaarheidsinterval te zien. De gekleurde vlakken rondom de gekleurde lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van de BR-relatie afgeleid op basis van de continue blootstelling. De V_{max} -waarden zijn op een logaritmische schaal weergegeven. Let op: ten behoeve van het schatten van de blootstelling aan trillingen is geen ISO-weging toegepast.

Figuur 7.3 toont de relatie tussen de gemiddelde trillingssterkte (uitgedrukt als V_{per}) en het percentage ernstige hinder door trillingen van de verschillende treintypen. Voor alle drie de treintypen hebben we een verband gevonden tussen het percentage ernstig gehinderden door spoortrillingen en de gemiddelde trillingssterkte: naarmate de trillingssterkte toeneemt, neemt de kans op ernstige hinder toe. Bij gelijke trillingssterktes, veroorzaken de trillingen ten gevolge van goederentreinen de meeste hinder. Bovendien is de relatie tussen de gemiddelde trillingssterkte en ernstige hinder ten gevolge van trillingen van goederentreinen het sterkst: bij een toename van de gemiddelde trillingssterkte uitgedrukt als bijvoorbeeld V_{per} van 0,01 naar 0,1, neemt het percentage ernstige hinder bij goederentreinen het sterkst toe ("steilste lijn").

Voor ernstige hinder door trillingen van zowel railverkeer als goederentreinen is het verschil tussen de twee modellen die we hebben toegepast om een BR-relatie af te leiden groot. Gebruik van een categorische blootstellingsmaat leidt in beide gevallen tot sterkere BR-relaties, met name bij een hoge blootstelling aan trillingen. De BR-relaties tussen hinder door goederentreinen en de gemiddelde trillingssterkte gebaseerd op een continue of categorische blootstelling zijn zo goed als gelijk aan elkaar. Bij zowel railverkeer als goederentreinen heeft het categorische model de betere fit maar voor reizigerstreinen heeft juist het continue model de beste fit (zie ook tabel 7.1).

De resultaten waarbij de blootstelling aan spoortrillingen wordt uitgedrukt door middel van de RMS, zijn hier niet weergegeven. Ze vertonen echter een vergelijkbaar beeld met de resultaten waarbij de blootstelling aan spoortrillingen wordt uitgedrukt door middel van de V_{per} .



Figuur 7.3 De BR-relaties van V_{per} en ernstige hinder door trillingen afkomstig van treinverkeer (boven), reizigerstreinen (midden) en goederentreinen (onder). De relaties zijn opgesteld op basis van zowel een continue blootstelling (gekleurde lijn) als categorische blootstelling, gebaseerd op de decielen van de blootstelling (zwarte lijnen). De gestippelde lijn geeft de trendlijn weer van de schatting van het categorische model. Ook is per treintype een schatting van de prevalentie van ernstige hinder met 95% betrouwbaarheidsinterval te zien. De gekleurde vlakken rondom de gekleurde lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van de BR-relatie afgeleid op basis van de continue blootstelling. De V_{per} waarden zijn op een logaritmische schaal weergegeven. Let op: ten behoeve van het schatten van de blootstelling aan trillingen is geen ISO-weging toegepast.

7.2 Zelfgerapporteerde slaapverstoring

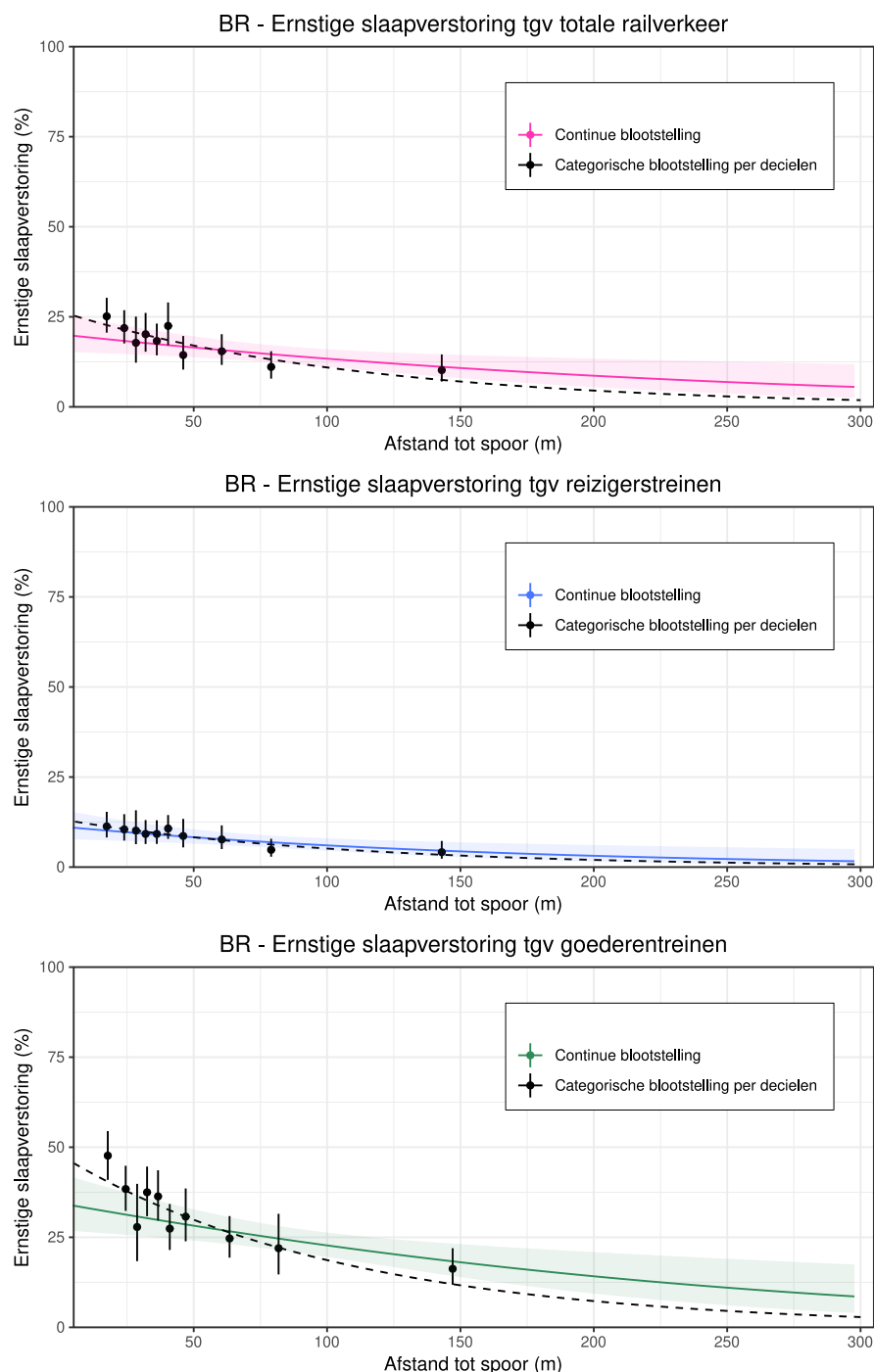
Figuur 7.4 geeft de BR-relaties tussen de afstand tot het spoor en het percentage ernstige slaapverstoring ten gevolge van trillingen van respectievelijk railverkeer, goederentreinen en reizigerstreinen grafisch weer. Voor alle drie de treintypen is er een verband te zien tussen het percentage ernstige slaapverstoring en de afstand tot het spoor: naarmate men dichterbij een spoorlijn woont, neemt de kans op ernstige slaapverstoring toe. Bij gelijke afstand tot het spoor veroorzaken de trillingen van goederentreinen de meeste slaapverstoring. Bovendien is de BR-relatie tussen afstand tot het spoor en ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen het sterkst: bij een verandering van de afstand van het spoor van bijvoorbeeld 200 naar 100 meter, neemt het percentage ernstige slaapverstoring bij goederentreinen het sterkst toe ("steilste lijn"). Het verschil met de BR relatie van railverkeer is echter klein.

Net als bij hinder, zijn voor het afleiden van de BR-relaties verschillende soorten modellen gebruikt. Vooral dicht bij het spoor zijn er verschillen te zien tussen deze modellen. We hebben getoetst welke van de gebruikte methodes de beste fit geven. In tabel 7.2 worden de resultaten van deze toetsing samengevat. In Bijlage 9 zijn de formules terug te vinden van de BR-relaties tussen de blootstelling aan spoortrillingen en ernstige slaapverstoring ten gevolge van spoortrillingen trillingen met de beste fit.

Uit tabel 7.2 blijkt dat het categorische model de BR-relatie tussen afstand tot spoor en ernstige slaapverstoring door railverkeer beter weergeeft dan het continue model. Voor de BR-relaties van afstand en slaapverstoring door goederentreinen en reizigerstreinen hebben de continue modellen een betere fit. Het verschil in fit met het categorische model is klein en dat is ook terug te zien in de elkaar grotendeels overlappende curves van de twee BR-relaties in figuur 7.4.

Tabel 7.2 Model met de beste fit voor de associatie tussen de blootstelling aan spoortrillingen (zonder richtingsafhankelijke frequentieweging) en ernstige slaapverstoring ten gevolge van trillingen van treinen.

Blootstellingsindicator	Uitkomstmaat: ernstige hinder tgv trillingen van		
	Railverkeer	Goederentreinen	Reizigerstreinen
Afstand tot spoor	Continu	Continu	Continu
RMS_{nacht}	Categorisch	Categorisch	Categorisch
V_{per nacht}	Categorisch	Categorisch	Categorisch
V_{max}	Categorisch	Categorisch	Categorisch

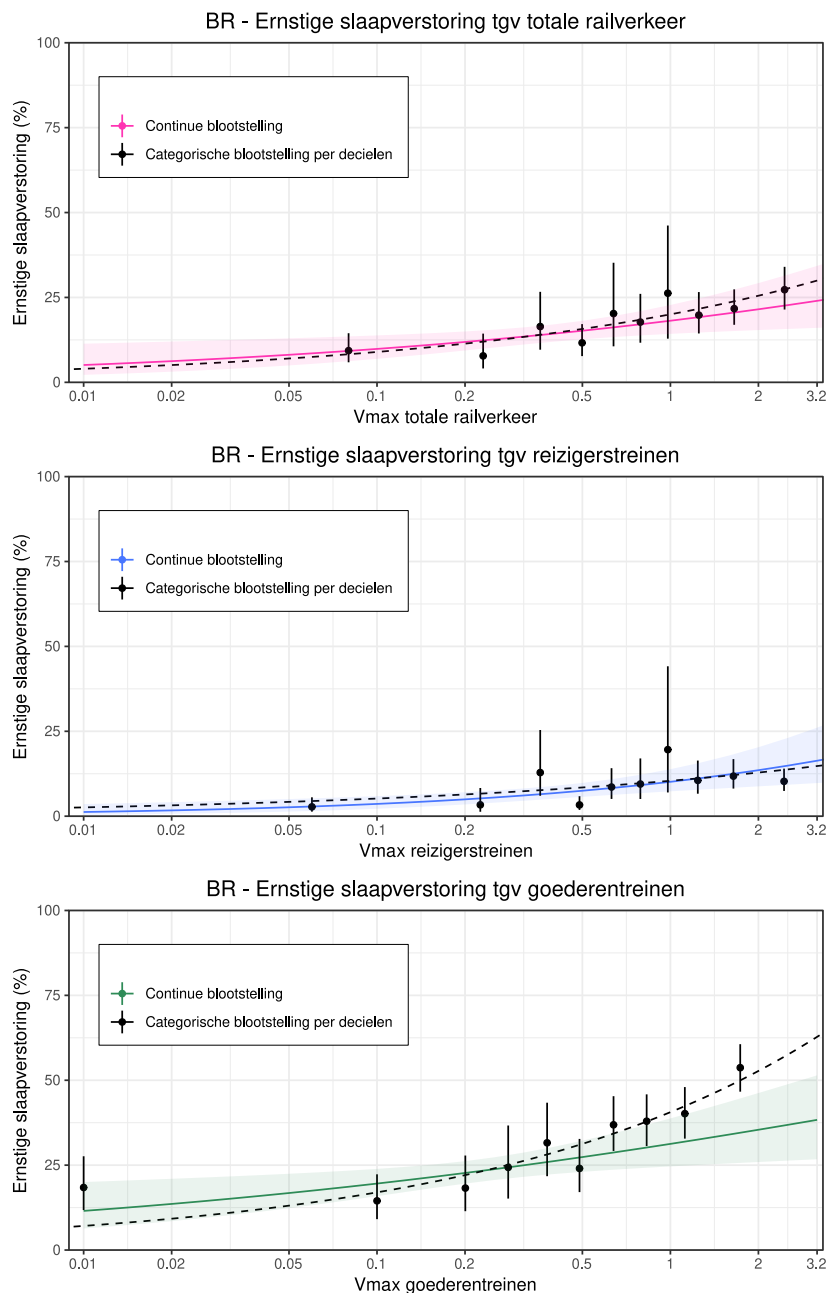


Figuur 7.4 De BR-relaties van afstand tot het spoor en ernstige slaapver storing door trillingen afkomstig van railverkeer (boven), reizigerstreinen (midden) en goederentreinen (onder). De relaties zijn opgesteld op basis van zowel een continue blootstelling (gekleurde lijn) als een categorische blootstelling, gebaseerd op de decielen van de blootstelling (zwarte lijnen). De gestippelde lijn geeft de trendlijn weer van de schatting van het categorische model. Ook is per treintype een schatting van de prevalentie van ernstige slaapver storing met 95% betrouwbaarheidsinterval te zien. De gekleurde vlakken rondom de gekleurde lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van de BR-relatie afgeleid op basis van de continue blootstelling.

Figuur 7.5 toont de BR-relatie tussen de maximale trillingssterkte ($V_{\max}$) veroorzaakt door trillingen van respectievelijk railverkeer, reizigerstreinen en goederentreinen en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van deze treinen. Voor alle drie de treintypen hebben we een verband gevonden tussen het percentage ernstige slaapverstoring en de maximale trillingssterkte: naarmate de maximale trillingssterkte toeneemt, neemt de kans op ernstige slaapverstoring toe. Bij gelijke trillingssterktes, veroorzaken de trillingen ten gevolge van goederentreinen de meeste slaapverstoring. Bovendien is de relatie tussen de maximale trillingssterkte en ernstige slaapverstoring ten gevolge van trillingen van goederentreinen het sterkst: bij een toename van de maximale trillingssterkte van 0,1 naar 1, neemt het percentage ernstige slaapverstoring het sterkst toe.

Ook nu weer hebben we voor het afleiden van de BR-relaties verschillende methodes gebruikt. Vooral voor ernstige slaapverstoring door trillingen ten gevolge van goederentreinen is het verschil tussen de categorische en continue BR-relaties groot. Het gebruik van de categorische blootstelling leidt tot een sterkere BR-relatie.

Bij BR-relaties tussen maximale trillingssterkte en slaapverstoring door trillingen van railverkeer, goederentreinen en reizigerstreinen hebben de modellen met categorische blootstelling de beste fit (zie ook tabel 7.2). Deze voorspellen de slaapverstoring dus beter dan de continue BR relaties.

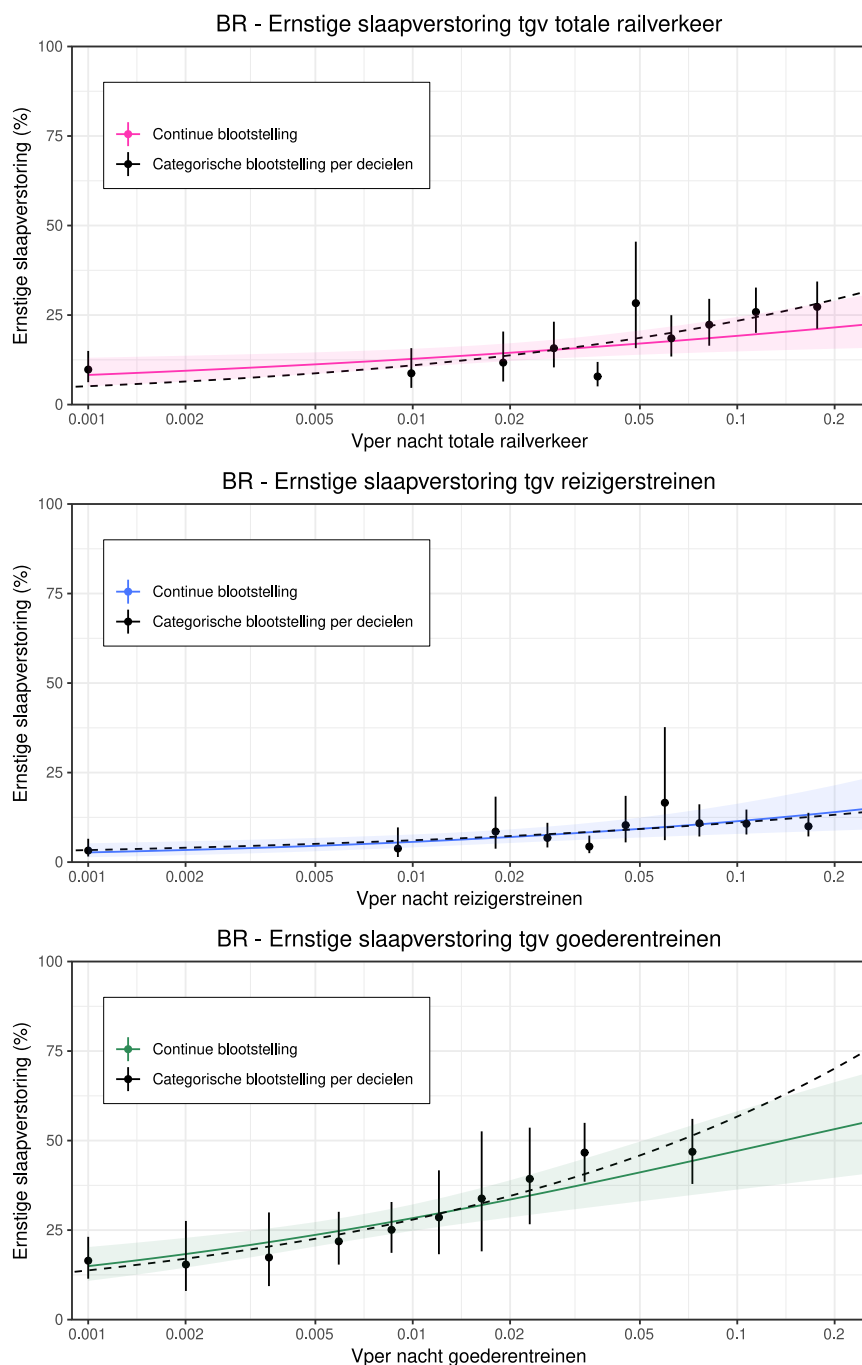


Figuur 7.5 De BR-relaties van de maximale blootstelling aan trillingen (V_{max}) en ernstige slaapverstoring door trillingen afkomstig railverkeer (boven), reizigerstreinen (midden) en goederentreinen (onder). De relaties zijn opgesteld op basis van zowel een continue blootstelling (gekleurde lijn) als een categorische blootstelling, gebaseerd op de decielen van de blootstelling (zwarte lijnen). De gestippelde lijn geeft de trendlijn weer van de schatting van het categorische model. Ook is per treintype een schatting van de prevalentie van ernstige slaapverstoring met 95% betrouwbaarheidsinterval te zien. De gekleurde vlakken rondom de gekleurde lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van de BR-relatie afgeleid op basis van de continue blootstelling. De V_{max} -waarden zijn op een logaritmische schaal weergegeven. Let op: ten behoeve van het schatten van de blootstelling aan trillingen is geen ISO-weging toegepast.

Figuur 7.6 toont de relatie tussen de gemiddelde trillingssterkte tijdens de nacht zonder ISO-weging (uitgedrukt als $V_{\text{per, nacht}}$) en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van verschillende treintypen. Voor alle drie de treintypen is er een verband gevonden tussen het percentage ernstige slaapverstoring en de gemiddelde trillingssterkte tijdens de nacht: naarmate de trillingssterkte tijdens de nacht toeneemt, neemt de kans op ernstige slaapverstoring toe. Bij gelijke trillingssterktes tijdens de nacht veroorzaken de trillingen ten gevolge van goederentreinen de meeste slaapverstoring. Bovendien is de relatie tussen de gemiddelde trillingssterkte tijdens de nacht en ernstige slaapverstoring ten gevolge van trillingen van goederentreinen het sterkst: bij een toename van de gemiddelde trillingssterkte tijdens de nacht uitgedrukt als bijvoorbeeld $V_{\text{per, nacht}}$ van 0,01 naar 0,1, neemt het percentage ernstige slaapverstoring bij goederentreinen het sterkst toe ("steilste lijn").

Voor het afleiden van de BR-relaties hebben we continue en categorische modellen gebruikt. Voor ernstige slaapverstoring door trillingen van zowel railverkeer als goederentreinen is het verschil tussen de BR-relaties gebaseerd op een continue en categorische blootstelling groot. Gebruik van de categorische blootstelling leidt in beide gevallen tot sterkere BR-relaties. Uit tabel 7.2 blijkt dat voor alle drie de trillingsbronnen het categorische model de betere fit heeft. Alleen in relatie tot afstand tot het spoor hebben de modellen waarin afstand als continue variabele wordt meegenomen de beste fit.

De resultaten waarbij de blootstelling aan spoortrillingen wordt uitgedrukt door middel van de $\text{RMS}_{\text{nacht}}$ hebben we hier niet weergegeven. Ze vertonen echter een vergelijkbaar beeld met de resultaten waarbij de blootstelling aan trillingen van treinen wordt uitgedrukt door middel van de $V_{\text{per, nacht}}$.



Figuur 7.6 De BR-relaties van de gemiddelde blootstelling aan trillingen tijdens de nacht ($V_{per,nacht}$) en ernstige slaapverstoring door trillingen afkomstig van railverkeer (boven), reizigerstreinen (midden) en goederentreinen (onder). De relaties zijn opgesteld op basis van zowel een continue blootstelling (gekleurde lijn) als een categorische blootstelling, gebaseerd op de decielen van de blootstelling (zwarte lijnen). De gestippelde lijn geeft de trendlijn weer van de schatting van het categorische model. Ook is per treintype een schatting van de prevalentie van ernstige slaapverstoring met 95% betrouwbaarheidsinterval te zien. De gekleurde vlakken rondom de gekleurde lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van de BR-relatie afgeleid op basis van de continue blootstelling. De $V_{per,nacht}$ -waarden zijn op een logaritmische schaal weergegeven. Let op: ten behoeve van het schatten van de blootstelling aan trillingen is geen ISO-weging toegepast.

7.3 Hoe verhouden de BR-relaties zich tot SBR en Bts?

In tabel 7.3 is te zien met welke percentages ernstige hinder door trillingen van railverkeer verschillende streef- en grenswaarden opgenomen in de SBR en Bts corresponderen (zie ook box 1). Hierbij hebben we gebruik gemaakt van: a) de BR-relatie tussen de maximale blootstelling aan trillingen door railverkeer ($V_{\max}$) en het percentage ernstige hinder van trillingen van railverkeer, zoals is weergegeven in figuur 7.2; en b) de BR-relatie tussen de gemiddelde blootstelling aan trillingen door railverkeer (V_{per}) en het percentage ernstige hinder van trillingen van railverkeer, zoals is weergegeven in figuur 7.3. Op basis van modelfit (tabel 7.1) zijn de voorspellingen van het categorische model het meest betrouwbaar.

Tabel 7.3 Verwacht percentage ernstige hinder door trillingen van railverkeer in relatie tot grens- en streefwaarden opgenomen in de Bts en SBR.

Regeling	Indicator	$V_{\max}$	Continue Model ^{bc} (%)	Categorisch Model ^c (%)
SBR	Voelbaarheid	0,1	8 (6–10)	7
	Onderste streefwaarde	0,2 ^a	11 (9–13)	10
Bts	Streefwaarde	0,2 ^a	11 (9–13)	10
	Maximum-waarde	3,2	39 (30–48)	53
Regeling	Indicator	V_{per}	Continue Model ^{b++} (%)	Categorisch Model ^d (%)
SBR	Streefwaarde	0,1 ^a	22 (19–26)	26
Bts	Grenswaarde	0,1 ^a	22 (19–26)	26

^aDeze streefwaarde is zowel voor de dag avond periode als de nacht periode gelijk;

^bBinnen het continue model is het ook mogelijk een 95% betrouwbaarheidsinterval te bepalen;

^cGeschat op basis van de in de Vervolgmeting afgeleide relatie tussen trillingen door railverkeer (uitgedrukt door middel van $V_{\max}$) en het percentage ernstige hinder door trillingen van railverkeer in figuur 7.2;

^dGeschat op basis van de in de Vervolgmeting afgeleide relatie tussen trillingen door railverkeer (uitgedrukt door middel van V_{per}) en het percentage ernstige hinder door trillingen van railverkeer in figuur 7.3.

In de SBR en Bts zijn ook grens- en streefwaarden specifiek voor de nachtperiode opgenomen (zie ook box 1). In tabel 7.4 is te zien met welke percentages ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer deze streef- en grenswaarden corresponderen. Hierbij hebben we gebruik gemaakt van: a) de BR-relatie tussen de maximale blootstelling aan trillingen van railverkeer ($V_{\max}$) en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer, zoals is weergegeven in figuur 7.5; en b) de BR-relatie tussen de gemiddelde blootstelling aan trillingen door railverkeer ($V_{\text{per,nacht}}$) en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer, zoals dat is weergegeven in figuur 7.6. Op basis van de modelfit (zie ook tabel 7.2) zijn de voorspellingen van de categorische modellen het meest nauwkeurig.

Tabel 7.4 Verwacht percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer in relatie tot streef- en grenswaarden voor de nachtperiode zoals opgenomen in de SBR en de Bts.

Regeling	Indicator	$V_{\max}$	Continue Model ^{bc} (%)	Categorisch Model ^c (%)
SBR	Voelbaarheid	0,1	10 (7-14)	9
	Onderste streefwaarde	0,2 ^a	12 (9-15)	11
Bts	Streefwaarde	0,2 ^a	12 (9-15)	11
	Maximumwaarde	3,2	24 (16-34)	30
Regeling	Indicator	$V_{\text{per,nacht}}$	Continue Model ^{bd} (%)	Categorisch Model ^d (%)
SBR	Streefwaarde	0,1 ^a	19 (15-24)	23
Bts	Grenswaarde	0,1 ^a	19 (15-24)	23

^a Deze streefwaarde is zowel voor de dag avond periode als de nacht periode gelijk;

^b Binnen het continue model is het ook mogelijk een 95% betrouwbaarheidsinterval te bepalen;

^c Geschat op basis van de in de Vervolgmeting afgeleide relatie tussen trillingen door railverkeer (uitgedrukt door middel van $V_{\max}$) en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer in figuur 7.5;

^d Geschat op basis van de in de Vervolgmeting afgeleide relatie tussen trillingen door railverkeer (uitgedrukt door middel van $V_{\text{per,nacht}}$) en het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer in figuur 7.6

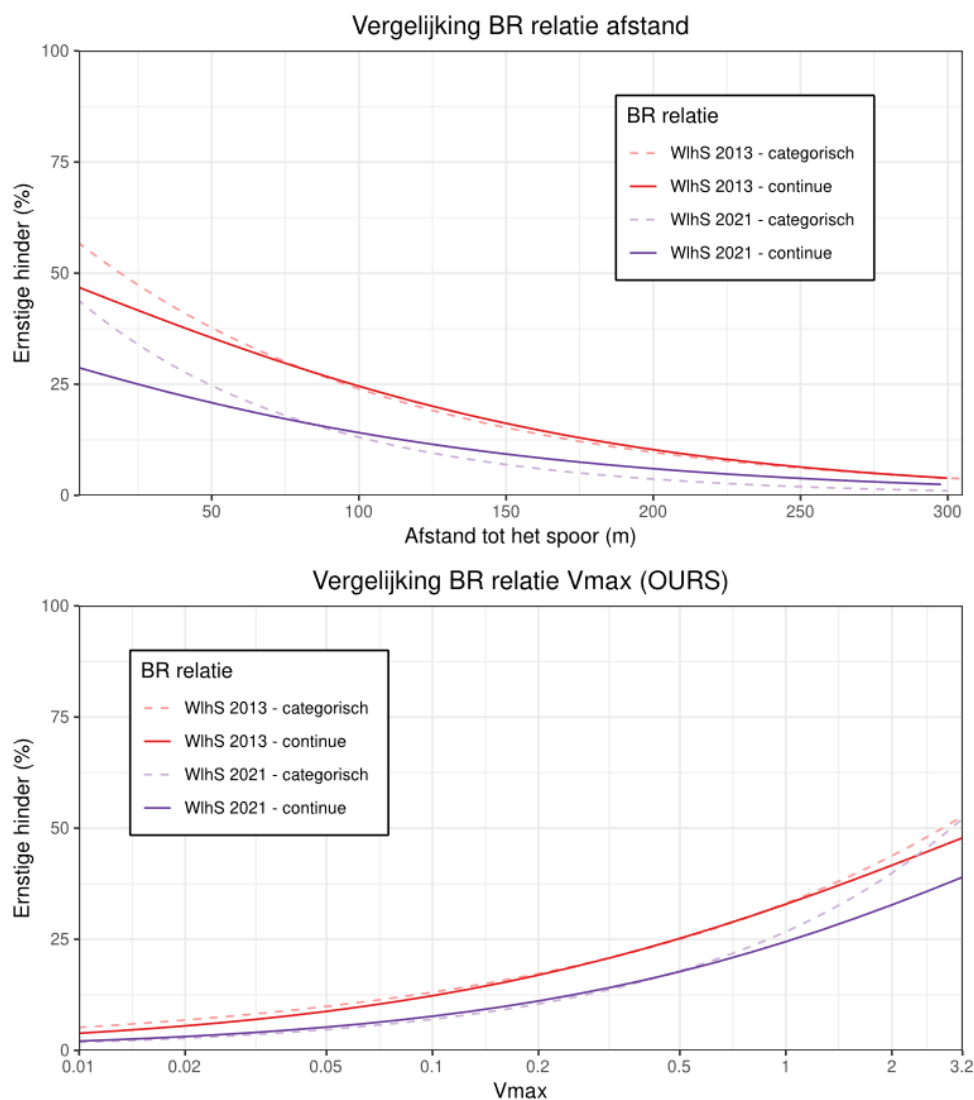
7.4 Vergelijking met de resultaten van de meting uit 2013

In deze paragraaf worden de resultaten van de Vervolgmeting vergeleken met de resultaten van de eerste meting van "Wonen langs het spoor" uit 2013 [11]. Om deze vergelijking zo optimaal mogelijk te kunnen doen, hebben we de blootstelling aan trillingen van de deelnemers aan de meting uit 2013 ook geschat met het OURS-model.

In figuur 7.9 worden de BR-relaties van de metingen uit 2013 en 2021 met elkaar vergeleken. Figuur 7.9a toont de relatie tussen afstand tot het spoor en ernstige hinder door trillingen van railverkeer, afgeleid op basis van data die zowel tijdens de Vervolgmeting als tijdens de meting uit 2013 [11] zijn verzameld. Figuur 7.9b toont de relatie tussen de maximale trillingssterkte ($V_{\max}$) en ernstige hinder door trillingen van railverkeer, afgeleid op basis van data die zowel tijdens de Vervolgmeting als tijdens de meting uit 2013 zijn verzameld.

Uit de vergelijking van de BR-relaties uit beide onderzoeken tussen de afstand tot het spoor en ernstige hinder door trillingen van railverkeer blijkt dat bij gelijke afstand tot het spoor de kans op ernstige hinder door trillingen van railverkeer in 2021 lager is dan in 2013. Dit is overigens ook het geval bij ernstige hinder ten gevolge van trillingen door goederentreinen. Bij ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen zien we echter dat bij gelijke afstand tot het spoor, de hinder in 2021 hoger is dan in 2013.

Uit de vergelijking tussen de BR-relatie tussen de maximale blootstelling aan trillingen van treinverkeer en ernstige hinder door trillingen van railverkeer blijkt dat bij gelijke maximale trillingsniveaus de kans op ernstige hinder door trillingen van railverkeer in 2021 lager is dan in 2013. Wanneer de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van de RMS, zien we een vergelijkbaar beeld.



Figuur 7.9 Vergelijking van de BR-relaties tussen afstand tot het spoor en de maximale trillingssterkte van railverkeer en het percentage ernstige hinder door trillingen van railverkeer uit de onderzoeken van "Wonen langs het spoor" uit 2013 en 2021. De relaties zijn opgesteld op basis van zowel een continue blootstelling (doorgetrokken lijn) als een categorische blootstelling, gebaseerd op de decielen van de blootstelling (gestippelde lijnen).

Bij ernstige slaapverstoring is het beeld anders: uit de vergelijking van de BR-relaties uit beide onderzoeken tussen de afstand tot het spoor en ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer bleek dat bij gelijke afstand tot het spoor de kans op ernstige slaapverstoring in 2021 juist *hoger* is dan in 2013.

Uit de vergelijking tussen de BR-relatie tussen de maximale blootstelling aan trillingen van treinverkeer en ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer bleek dat bij gelijke maximale trillingsniveaus de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer in 2021 hoger is dan in 2013. Wanneer de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van de RMS zien we een vergelijkbaar beeld.

7.5 Vergelijking met de resultaten van andere studies

Zoals we in hoofdstuk 2 al hebben beschreven, is er in het recente verleden een aantal studies verschenen waarin de relatie tussen de blootstelling aan spoortrillingen en ernstige hinder door trillingen van treinen is onderzocht. In een aantal van deze studies zijn ook BR-relaties afgeleid. In deze paragraaf zullen we de resultaten van de Vervolgmeting vergelijken met a) de BR-relatie tussen afstand tot het spoor (m) en ernstige hinder door trillingen van railverkeer afgeleid door een meta-analyse van TNO [77], b) de BR-relatie tussen de blootstelling aan spoortrillingen (uitgedrukt in RMS en $V_{\text{dir,max}}$) en het percentage ernstige hinder door trillingen van railverkeer afgeleid in het CargoVibes-project [22], en c) de BR-relatie tussen afstand tot het spoor (m) en ernstige hinder door trillingen van railverkeer afgeleid in de Salford-studie [25].

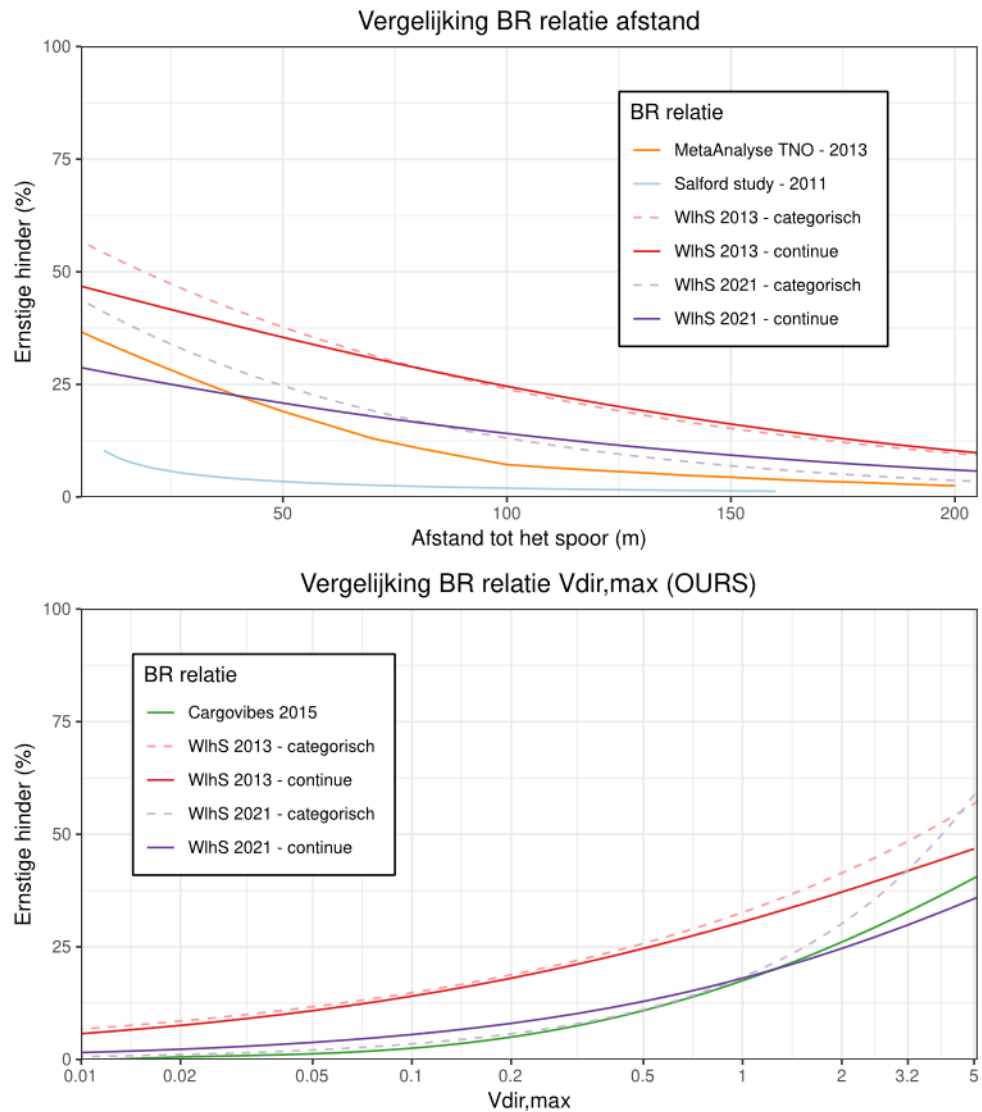
7.5.1 *De BR-relatie tussen afstand tot het spoor en ernstige hinder*

Uit de vergelijkingen bleek het volgende: de BR-relatie tussen afstand tot het spoor en het percentage ernstige hinder door trillingen van railverkeer, die is afgeleid op basis van de data die in de Vervolgmeting zijn verzameld, ligt hoger dan de BR-relatie die is afgeleid door Janssen en collega's van TNO [77]. Bij gelijke afstand tot het spoor is het percentage ernstige hinder dat wordt geschat op basis van de meta-analyse van TNO lager dan het percentage ernstige hinder dat is geschat op basis van de Vervolgmeting: bij bijvoorbeeld 100 meter wordt op basis van de relatie afgeleid door TNO geschat dat de kans op ernstige hinder 7% is; op basis van de Vervolgmeting is dat ongeveer 13%. De relatie die is afgeleid op basis van data die in de Salford-studie [25] zijn verzameld, ligt nog lager: op basis van deze relatie wordt geschat dat bij 100 meter de kans op ernstige hinder ongeveer 2% is.

7.5.2 *De BR-relatie tussen de blootstelling aan trillingen en ernstige hinder*

Omdat de CargoVibes-studie gebruik maakt van de $V_{\text{dir,max}}$ en omdat de BR-relaties binnen de Vervolgmeting gebaseerd zijn op de V_{max} , kan er voor de vergelijking geen gebruik worden gemaakt van de BR-relaties uit figuur 7.2. Daarom zijn er voor de metingen uit 2021 en 2013 extra BR relaties opgesteld op basis van de $V_{\text{dir,max}}$. Uit de vergelijking van deze BR-relaties blijkt dat bij lagere blootstellingsniveaus de BR-relaties die zijn gebaseerd op de Vervolgmeting en CargoVibes elkaar doorgaans goed volgen; bij hogere blootstellingsniveaus ($V_{\text{dir,max}} > 1$) lopen de BR-relaties echter uit elkaar: bij de hogere blootstellingen voorspellen de categorische modellen van de Vervolgmeting bij dezelfde trillingssterktes steeds het hoogste percentage ernstige hinder; de continue modellen van de Vervolgmeting voorspellen in die gevallen steeds het laagste percentage ernstige hinder.

De BR-relatie die is gebaseerd op de meting uit 2013 wijkt af van de BR-relaties van de Vervolgmeting en CargoVibes. Bij dezelfde waarden van de $V_{\text{dir,max}}$ voorspelt de BR-relatie voor 2013 aanzienlijk meer hinder dan de andere BR-relaties.



Figuur 7.10 Vergelijking van de BR-relaties tussen afstand tot het spoor (boven) en de maximale trillingssterkte (onder) van railverkeer en het percentage ernstige hinder door trillingen door railverkeer uit de onderzoeken van "Wonen langs het spoor" uit 2013 en 2021, en overige onderzoeken [22, 25, 77].

8 Determinanten van hinder en slaapverstoring door spoortrillingen

We hebben onderzocht welke determinanten, naast het trillingsniveau, van invloed zijn op het optreden van zelfgerapporteerde ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door spoortrillingen. Net als bij de meting uit 2013 is het relatieve belang van de determinanten van ernstige hinder en ernstige slaapverstoring geanalyseerd met een logistisch regressiemodel. De keuze van de uiteindelijk in het model opgenomen variabelen is voor een belangrijk deel bepaald door bevindingen uit eerder onderzoek (zie ook hoofdstuk 2) en de resultaten van een non-parametrische exploratie door middel van een zogenaamde “*untargeted analysis*” (UA) (zie bijlage 6).

8.1 De determinanten van ernstige hinder door spoortrillingen

In tabel 8.1 zijn de resultaten weergegeven van de logistisch regressieanalyse waarin wordt gekeken naar de relatie tussen ernstige hinder door trillingen (afkomstig van respectievelijk railverkeer, reizigerstreinen en goederentreinen) en de maximale blootstelling aan trillingen ($V_{\max}$), gecorrigeerd voor andere factoren. De variabele $V_{\max}$ is in deze analyse uitgedrukt als een categorische variabele op basis van kwartielen.

Maximale trillingssterkte en kenmerken van het spoor

Uit tabel 8.1 blijkt ook na correctie voor potentieel versturende factoren dat mensen, naarmate ze worden blootgesteld aan hogere maximale blootstellingsniveaus door trillingen, vaker ernstige hinder door zowel trillingen van railverkeer als goederentreinen rapporteren: in de tabel is dit te zien aan de steeds groter wordende OR's per kwartielgroep. Alleen in de hoogste kwartielgroep worden statistisch significante verschillen gevonden: personen die qua $V_{\max}$ afkomstig van railverkeer in het hoogste kwartiel vallen, hebben ruim 2,6 keer meer kans op ernstige hinder door trillingen van railverkeer dan personen in het laagste kwartiel ($p = 0,0176$); personen die qua blootstelling aan maximale trillingsniveaus van goederentreinen in het hoogste kwartiel zitten, rapporteren, na correctie voor de andere factoren in tabel 8.1, gemiddeld 3,1 keer vaker ernstige hinder door trillingen van goederentreinen dan personen die qua blootstelling aan maximale trillingsniveaus door goederentreinen in het laagste kwartiel zitten ($p = 0,0017$). Met betrekking tot ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen is er, na correctie voor de andere factoren in tabel 8.1 geen duidelijk patroon zichtbaar tussen de maximale trillingsniveaus en de gerapporteerde hinder. Dit betekent dat personen in de tweede, derde en vierde kwartielgroep evenveel kans op ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen hebben als personen in de eerste kwartielgroep.

Tabel 8.1 De relatie tussen de maximale blootstelling aan trillingen door treinverkeer en ernstige hinder door trillingen van treinverkeer

Variabele	Ernstige hinder door trillingen railverkeer OR (95% Bthi)	Ernstige hinder door trillingen reizigerstreinen OR (95% Bthi)	Ernstige hinder door trillingen goederentreinen OR (95% Bthi)
Blootstelling trillingen ($V_{\max}$)			
Kwartiel 1	Ref	Ref	Ref
Kwartiel 2	1,32 (0,74 - 2,34)	0,76 (0,38 - 1,53)	1,1 (0,55 - 2,19)
Kwartiel 3	1,39 (0,56 - 3,45)	1,22 (0,63 - 2,38)	1,32 (0,70 - 2,48)
Kwartiel 4	2,63 (1,18 - 5,84)*	0,80 (0,40 - 1,60)	3,14 (1,54 - 6,42)*
Aandeel goederentreinen (%)^a			
Kwartiel 1	Ref	Ref	Ref
Kwartiel 2	0,62 (0,26 - 1,5)	1,11 (0,55 - 2,25)	3,35 (0,68 - 16,45)
Kwartiel 3	1,41 (0,65 - 3,02)	0,51 (0,26 - 0,99)*	5,24 (1,04 - 26,52)*
Kwartiel 4	1,90 (0,87 - 4,12)	0,32 (0,16 - 0,66)*	3,36 (0,72 - 15,64)
Aandeel nachttreinen (%)^b			
Tertiel1	Ref	Ref	Ref
Tertiel2	0,80 (0,44 - 1,44)	0,77 (0,41 - 1,46)	1,20 (0,64 - 2,25)
Tertiel3	0,62 (0,32 - 1,21)	1,0 (0,55 - 1,80)	0,88 (0,43 - 1,77)
Geslacht			
Mannen	Ref	Ref	Ref
Vrouwen	1,96 (1,12 - 3,42)*	1,19 (0,72 - 1,97)	1,22 (0,69 - 2,18)
Leeftijd			
16-44 jr.	Ref	Ref	Ref
45-64 jr.	0,78 (0,41 - 1,5)	1,17 (0,66 - 2,07)	0,70 (0,34 - 1,43)
65 jr. en ouder	0,70 (0,32 - 1,53)	0,58 (0,26 - 1,29)	0,47 (0,22 - 1,0)
Opleiding			
Geen/lager onderwijs	2,06 (0,21 - 20,03)	0,38 (0,06 - 2,45)	0,04 (0,01 - 0,51)*
Mavo/lbo	0,51 (0,27 - 0,96)*	0,60 (0,27 - 1,33)	1,16 (0,46 - 2,9)
Havo/vwo/mbo	Ref	Ref	Ref
Hbo/wo	1,09 (0,61 - 1,95)	0,47 (0,26 - 0,87)*	0,92 (0,48 - 1,76)
Stedelijkheid^c			
Zeer sterk stedelijk	0,73 (0,27 - 1,96)	0,86 (0,36 - 2,08)	0,95 (0,34 - 2,66)

Variabele	Ernstige hinder door trillingen railverkeer OR (95% Bthi)	Ernstige hinder door trillingen reizigerstreinen OR (95% Bthi)	Ernstige hinder door trillingen goederentreinen OR (95% Bthi)
Sterk stedelijk	0,62 (0,29 - 1,33)	1,55 (0,63 - 3,81)	1,04 (0,39 - 2,82)
Matig stedelijk	0,71 (0,33 - 1,52)	1,12 (0,41 - 3,06)	1,15 (0,36 - 3,69)
Weinig stedelijk	0,95 (0,43 - 2,1)	0,66 (0,26 - 1,66)	0,99 (0,33 - 2,97)
Niet stedelijk	<i>Ref</i>	<i>Ref</i>	<i>Ref</i>
Geluidniveau door railverkeer (L_{den}) in dB(A)	1,0 (0,96 - 1,03)	1,0 (0,98 - 1,03)	1,0 (0,97 - 1,03)
Ernstige hinder t.g.v. geluid van:			
Railverkeer	5,58 (3,07 - 10,12)*	-	-
Reizigerstreinen	-	33,80 (18,45 - 61,93)*	-
Goederentreinen	-	-	18,21 (9,14 - 36,26)*
Hoort, voelt, ziet ramen, deuren en/of serviesgoed rammelen, trillen	2,62 (1,55 - 4,41)*	3,91 (2,16 - 7,07)*	2,83 (1,64 - 4,86)*
Bezorgdheid over:			
Waardedaling woning	2,01 (1,05 - 3,85)*	1,39 (0,71 - 2,71)	1,10 (0,46 - 2,63)
Gezondheid vanwege trillingen	0,99 (0,44 - 2,23)	1,22 (0,61 - 2,45)	1,22 (0,48 - 3,09)
Schade woning	2,94 (1,7 - 5,09)*	2,31 (1,16 - 4,62)*	2,80 (1 - 7,79)*
Negatieve attitude tegenover:			
Huidig beleid t.a.v. treinverkeer langs het spoor	1,08 (0,37 - 3,12)	1,04 (0,32 - 3,35)	0,68 (0,24 - 1,91)
Plannen om het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden	1,12 (0,32 - 3,89)	0,98 (0,35 - 2,74)	1,64 (0,61 - 4,44)
Trillingen door treinen zijn (zeer) onacceptabel	2,69 (1,65 - 4,4)*	5,64 (2,68 - 11,88)*	2,97 (1,59 - 5,53)*
Verwacht een achteruitgang door trillingen van de treinen	3,81 (2,25 - 6,44)*	1,17 (0,63 - 2,18)	1,44 (0,80 - 2,61)

Afkortingen: Ref = referentiegroep, OR = Odds Ratio, 95% Bthi = 95% betrouwbaarheidsinterval, L_{den} = Day-evening night level, * = statistisch significant

^a Categorieën gemaakt op basis van kwartielen;

^b Categorieën gemaakt op basis van tertielen;

^c Stedelijkheid is een maatstaf voor de concentratie van menselijke activiteiten gebaseerd op de gemiddelde omgevingsadressen dichtheid (oad) uitgedrukt in het aantal adressen per km². Er wordt onderscheid gemaakt tussen niet stedelijk (gemiddelde oad van minder dan 500 adressen per km²), weinig stedelijk (gemiddelde oad van 500 tot 1000 adressen per km²), matig stedelijk (gemiddelde oad van 1000 tot 1500 adressen per km²), sterk stedelijk (gemiddelde oad van 1500 tot 2500 adressen per km²) en zeer sterk stedelijk (gemiddelde oad van meer dan 2500 adressen per km²);

* Statistisch significant ($p < 0,05$)

Met betrekking tot het aandeel goederentreinen hebben we vooral effecten gevonden in relatie tot ernstige hinder door reizigerstreinen: personen die aan een spoorlijn wonen en die wat betreft het aandeel goederentreinen in de hoogste twee kwartielen zitten, rapporteren significant minder vaak ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen, dan personen die aan een spoorlijn wonen en die wat betreft het aandeel goederentreinen in het laagste kwartiel zitten. Bij ernstige hinder door trillingen van goederentreinen zien we juist het omgekeerde: personen die aan een spoorlijn wonen en die wat betreft het aandeel goederentreinen in de hoogste drie kwartielen zitten, rapporteren vaker ernstige hinder door trillingen van goederentreinen dan personen die aan een spoorlijn wonen en die wat betreft het aandeel goederentreinen in het laagste kwartiel zitten. Alleen voor personen die aan een spoorlijn wonen en die wat betreft het aandeel goederentreinen in het derde kwartiel zitten, was dit verschil statistisch significant ($p = 0,0451$). Er werd na correctie voor de andere factoren in tabel 8.1, geen effect van het aandeel goederentreinen gevonden op ernstige hinder door trillingen van railverkeer. Bij geen van de treintypen werd een effect gevonden van het aandeel nachttreinen.

Sociaal-demografische kenmerken en stedelijkheid

De invloed van verschillende sociaal-demografische factoren is ook onderzocht. Uit de analyse komt naar voren dat vrouwen vaker ernstige hinder door trillingen van de drie treintypen rapporteren dan mannen. Na correctie voor de andere factoren in tabel 8.1, bleek dat alleen de associatie met ernstige hinder door trillingen van railverkeer statistisch significant ($p = 0,0178$) was. Verder is leeftijd niet van invloed op de mate van gerapporteerde hinder door trillingen van alle drie de treintypen en is de invloed van opleiding niet eenduidig. Ook blijkt dat de mate van stedelijkheid niet van invloed is op de mate van gerapporteerde hinder door trillingen van de drie treintypen.

Sociale en persoonlijke factoren

Daarnaast hebben we ook gekeken naar sociale en persoonlijke factoren die van invloed kunnen zijn op de ervaren hinder door trillingen van de drie treintypen. Met name de acceptatie van trillingen en het feit dat mensen ramen, deuren en/of serviesgoed horen, voelen of zien rammelen of trillen (aangeduid met de term "rattle") blijken van invloed te zijn op de gerapporteerde hinder: mensen die de trillingen van de treinen (zeer) onacceptabel vinden, ervaren significant meer hinder door trillingen ten gevolge van alle drie de treintypen. Ook personen die de trillingen waarnemen doordat ze de ramen, deuren of het serviesgoed horen, voelen of zien trillen of rammelen, ervaren significant meer ernstige hinder door de trillingen van railverkeer, goederen- en reizigerstreinen.

Net als bij de meting uit 2013 vinden we ook effecten van verwachtingen: mensen die verwachten dat de trillingen ten gevolge van treinen het komend jaar zullen toenemen, rapporten gemiddeld vaker ernstige hinder door trillingen van alle drie de treintypen dan mensen die niet verwachten dat de trillingen door trillingen van treinen het komend jaar zullen toenemen. Dit verschil was alleen statistisch significant voor ernstige hinder door trillingen van railverkeer ($p < 0,001$).

Ook bezorgdheid over schade aan de woning leidt tot meer ervaren hinder door spoortrillingen: personen die bezorgd zijn over schade aan de woning rapporteren na correctie voor de andere factoren in tabel 8.1, significant vaker ernstige hinder door trillingen van railverkeer (OR = 2,94; $p < 0,001$), reizigerstreinen (OR = 2,31; $p = 0,0174$) en goederentreinen (OR = 2,80; $p = 0,0492$). Personen die bezorgd zijn over de waardedaling van hun woning rapporteren ook vaker ernstige hinder door trillingen van alle drie de treintypen. Alleen de associatie met ernstige hinder door trillingen van railverkeer bleek statistisch significant te zijn ($p = 0,0349$).

Opmerkelijk is dat de houding ten opzichte van het huidige beleid over en uitbreiding van het aantal treinen geen invloed heeft op de gerapporteerde ernstige hinder die de mensen ervaren door trillingen van de drie treintypen.

Geluid door railverkeer en hinder door geluid van railverkeer

Omdat in de "untargeted analyses" naar voren kwam dat zowel geluid van railverkeer (uitgedrukt als L_{den}) als hinder door geluid van treinverkeer belangrijke voorspellers zijn voor ernstige hinder door trillingen van alle drie de treintypen, hebben we ervoor gekozen om in de logistische regressieanalyse zowel ernstige hinder door geluid van treinverkeer als de blootstelling aan geluid van railverkeer (uitgedrukt in jaargemiddelde L_{den}) op te nemen. Beide factoren zijn echter redelijk hoog met elkaar gecorreleerd. Deze correlatie hebben we geprobeerd te verkleinen door in het model niet de hinderscore zelf op te nemen, maar een binaire variabele die uitdrukt of iemand wel of niet ernstig is gehinderd door geluid van de drie treintypen. Ter vergelijking zijn er ook enkele extra logistische regressiemodellen gemaakt waarin de blootstelling aan geluid van railverkeer (L_{den}) en de gerapporteerde hinder door geluid van de drie treintypen *niet* samen zijn opgenomen. Uit de analyses bleek (na correctie voor alle andere factoren in tabel 8.1, waaronder ernstige hinder door geluid van treinverkeer) de blootstelling aan geluid van railverkeer (uitgedrukt in L_{den}) *niet* is geassocieerd met de mate van gerapporteerde hinder door trillingen van een van de drie treintypen. Wanneer ernstige hinder door geluid van treinverkeer niet meer wordt meegenomen in het model verandert dit: in *afwezigheid* van ernstige hinder door geluid van railverkeer is de blootstelling aan geluid van railverkeer (L_{den}) positief en significant geassocieerd met de gerapporteerde hinder door trillingen van de drie treintypes. Met andere woorden: de kans op ernstige hinder door trillingen van alle drie de treintypen neemt toe naarmate het geluidniveau van railverkeer toeneemt.

Ernstige hinder door het geluid van een van de drie treintypen is echter wel steeds geassocieerd met ernstige hinder door trillingen van het corresponderende treintype: na correctie voor de andere factoren in tabel 8.1 (waaronder geluid van railverkeer) blijkt dat personen die ernstige hinder rapporteren door geluid van railverkeer, reizigers- of goederentreinen significant vaker ernstige hinder door trillingen van railverkeer, reizigers- of goederentreinen ervaren dan personen die geen ernstige hinder door geluid van het corresponderende treintype rapporteerden. En ook *zonder* dat blootstelling aan geluid van railverkeer (L_{den}) in het model wordt meegenomen, blijft hinder door

geluid van de drie treintypen een sterke voorspeller van ernstige hinder door trillingen van de drie treintypen. Overigens maakt het voor de associatie tussen de maximale blootstelling aan spoortrillingen ($V_{\max}$) en ernstige hinder door trillingen van de verschillende treintypen niet veel uit of hinder door geluid van een treintype en blootstelling aan geluid van railverkeer (L_{den}) wordt meegenomen in het model of dat slechts een van beide factoren wordt meegenomen.

Andere trillingsmaten

We hebben ook logistische regressieanalyses uitgevoerd waarbij naar de andere blootstellingsmaten van trillingen is gekeken dan de $V_{\max}$ zoals in tabel 8.1. Het betreft hier de gemiddelde blootstelling aan trillingen (uitgedrukt als RMS en V_{per}) en de afstand tot het spoor (in meters). Voor de RMS en V_{per} is de blootstelling, net zoals bij de $V_{\max}$, onderverdeeld in kwartielen. Voor de afstand is de blootstelling onderverdeeld in vier verschillende afstandsgroepen (<25m, 25-50m, 50-100m, 100-300m), waarbij de groep met de grootste afstand tot het spoor de referentiegroep is. In figuur 8.1 zijn de gecorrigeerde OR's van deze blootstellingsindicatoren te zien, samen met de OR's van de $V_{\max}$, voor ernstige hinder ten gevolge van trillingen van railverkeer en goederentreinen.

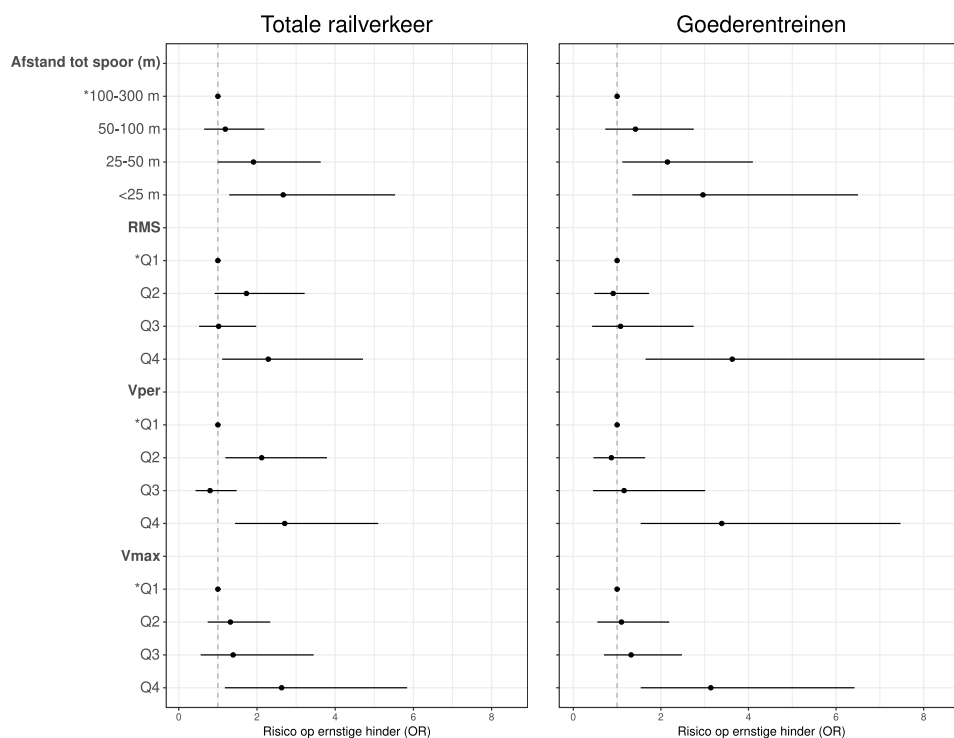
Uit figuur 8.1 blijkt dat mensen, naarmate ze dichterbij het spoor wonen, vaker ernstige hinder door zowel trillingen van railverkeer als goederentreinen rapporteren: in de figuur is dit te zien aan de steeds groter wordende OR's per afstandsgroep. In de groep personen die woont op een afstand van respectievelijk 25-50 meter en minder dan 25 meter zijn de OR's zelfs statistisch significant. Personen die tussen de 25 en 50 meter van het spoor wonen, hebben, na correctie voor versturende factoren, meer kans op ernstige hinder door trillingen ten gevolge van zowel railverkeer (OR = 1,91; $p = 0,0485$) als goederentreinen (OR = 2,15; $p = 0,0208$), ten opzichte van personen die 100 tot 300 meter van het spoor wonen. Ook personen die dichterbij dan 25 meter van het spoor wonen, hebben, na correctie voor versturende factoren, meer kans op ernstige hinder door trillingen ten gevolge van zowel railverkeer (OR = 2,67; $p = 0,0084$) als goederentreinen (OR = 2,96; $p = 0,0068$).

Na correctie voor potentieel versturende factoren blijkt dat mensen, naarmate ze worden blootgesteld aan hogere maximale blootstellingsniveaus door trillingen, vaker ernstige hinder door trillingen van zowel railverkeer als goederentreinen rapporteren: in tabel 8.1 en figuur 8.1 is dit te zien aan de steeds groter wordende OR's per kwartielgroep. Wanneer de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van de RMS, is een vergelijkbaar patroon te zien. Voor de gemiddelde blootstelling aan trillingen (uitgedrukt met behulp van de RMS) hebben alle personen binnen het vierde kwartiel van de blootstelling zelfs een significant verhoogde kans op ernstige hinder door trillingen veroorzaakt door zowel railverkeer als goederentreinen ten opzichte van personen in het eerste kwartiel.

Bij de V_{per} zien we hetzelfde patroon als bij de RMS. Voor de gemiddelde blootstelling aan trillingen (uitgedrukt met behulp van de V_{per}) hebben alle personen binnen het vierde kwartiel van de blootstelling zelfs een significant verhoogde kans op ernstige hinder door trillingen veroorzaakt

door zowel railverkeer als goederentreinen ten opzichte van personen in het eerste kwartiel.

In figuur 8.1 worden de resultaten voor ernstige hinder door trillingen door reizigerstreinen niet weergegeven. Uit de analyses is gebleken dat na correctie voor de versturende variabelen uit tabel 8.1, dat personen die dicht bij het spoor wonen (<25 meter, 25-50 meter en 50-100 m) net zoveel hinder rapporteren als personen die verder weg van het spoor wonen (100-300 m). Ook bleek na correctie voor versturende factoren dat mensen, naarmate ze worden blootgesteld aan hogere trillingsniveaus, niet meer ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen rapporteren.



*Figuur 8.1 De associatie tussen de blootstelling aan trillingen van railverkeer en ernstige hinder door trillingen van railverkeer en goederentreinen na correctie voor potentieel versturende factoren. Het risico op ernstige hinder is weergegeven als Odds Ratio (OR) plus een 95% zekerheidsinterval, waarbij de groepen met de laagste blootstelling (aangeven met *) de referentiegroepen zijn. Bij een OR waarde die significant groter is dan 1 (de verticale stippellijn) heeft een groep een verhoogde kans op ernstige hinder ten opzichte van de referentiegroep.*

8.2 De determinanten van ernstige slaapverstoring door spoortrillingen

In tabel 8.2 hebben we de resultaten van de logistische regressieanalyse weergegeven waarin is gekeken naar de associatie tussen de maximale blootstelling aan trillingen ($V_{\max}$) en ernstige slaapverstoring door trillingen afkomstig van respectievelijk railverkeer, reizigerstreinen en goederentreinen.

Maximale trillingssterkte en kenmerken van het spoor

Uit tabel 8.2 blijkt na correctie voor potentieel versturende factoren dat mensen die qua maximale blootstelling aan trillingen in het tweede en derde kwartiel zitten, vaker ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen rapporteren dan mensen die qua blootstelling in het eerste kwartiel zitten. Alleen het verschil tussen personen die qua blootstelling aan maximale trillingsniveaus door reizigerstreinen in het derde kwartiel zitten en personen die qua blootstelling in het eerste kwartiel zitten is statisch significant ($p = 0,0102$). Met betrekking tot ernstige slaapverstoring door trillingen van zowel railverkeer als goederentreinen is er, na correctie voor de andere factoren in tabel 8.2, geen duidelijk verband zichtbaar tussen de maximale trillingsniveaus en de gerapporteerde slaapverstoring. Dit betekent dat personen in de tweede, derde en vierde kwartielgroep evenveel kans op ernstige slaapverstoring door trillingen hebben als personen in de eerste kwartielgroep.

Net als bij ernstige hinder door spoortrillingen hebben we ook bij ernstige slaapverstoring gekeken naar de invloed van het aandeel goederentreinen in railverkeer in de nacht en het aandeel nachttreinen. Met betrekking tot het aandeel goederentreinen zien we, na correctie voor de andere factoren in tabel 8.2, dat alleen bij goederentreinen de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen toeneemt, naarmate het aandeel goederentreinen toeneemt ten opzichte van het eerste kwartiel. Deze toename was voor geen van de kwartielen statistisch significant.

Kijken we naar het aandeel treinen tijdens de nacht, dan blijkt dat de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van zowel railverkeer als reizigerstreinen toeneemt; bij goederentreinen zien we juist dat de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen afneemt, naarmate het aandeel treinen tijdens de nacht toeneemt. Echter in geen van de gevallen waren de waargenomen toe- en afnames statistisch significant.

Sociaal-demografische kenmerken en stedelijkheid

Net als bij ernstige hinder door spoortrillingen, hebben we ook de invloed van verschillende sociaal-demografische factoren op ernstige slaapverstoring onderzocht. Zoals is te zien in tabel 8.2, hebben vrouwen ruim twee keer vaker ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer ($p = 0,0162$) en goederentreinen ($p = 0,0090$) dan mannen. Bij slaapverstoring ten gevolge van trillingen van reizigerstreinen is er geen significant verschil tussen mannen en vrouwen. Ook is er na correctie voor de andere factoren in tabel 8.2 geen associatie tussen leeftijd en ernstige slaapverstoring door trillingen van de verschillende treintypen. Alleen voor slaapverstoring ten gevolge van trillingen van reizigerstreinen is er een significant verschil tussen de oudste en jongste leeftijdsgroep: personen van 65 jaar en ouder rapporteren minder vaak ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen dan personen van 16-44 jaar ($p = 0,0187$). Verder is er na correctie voor de andere factoren in tabel 8.2, geen associatie tussen opleiding en ernstige slaapverstoring door trillingen van de verschillende treintypen.

De mate van stedelijkheid is wel van invloed op de ernstige slaapverstoring ten gevolge van trillingen door treinverkeer: personen die in weinig stedelijke tot zeer stedelijke buurten wonen rapporteren vaker ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer dan personen die in een niet stedelijke buurt wonen. Voor personen die in matig stedelijke ($p = 0,0213$) en sterk stedelijke ($p = 0,0148$) buurten wonen, is dit verschil statistisch significant. Voor slaapverstoring door trillingen ten gevolge van goederentreinen en reizigerstreinen is er na correctie voor de andere factoren in tabel 8.2, geen associatie met stedelijkheid gevonden.

Sociale en persoonlijke factoren

Ook nu is de invloed van sociale en persoonlijke factoren op de mate van ervaren slaapverstoring door spoortrillingen onderzocht. Net als bij ernstige hinder door trillingen van railverkeer, zijn er ook nu duidelijke associaties gevonden met acceptatie en verwachtingen: mensen die de trillingen van de treinen (zeer) onacceptabel vinden, rapporteren meer slaapverstoring door trillingen van alle drie de treintypen. De sterkste associatie is gevonden bij slaapverstoring door trillingen door railverkeer ($OR = 4,21$; $p = 0,0016$), gevolgd door trillingen door reizigerstreinen ($OR = 3,56$; $p = 0,0021$) en goederentreinen ($OR = 3,07$; $p = 0,0003$). Personen die verwachten dat trillingen als gevolg van de treinen het komende jaar zullen toenemen, rapporteren ongeveer twee keer zo vaak ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer en goederentreinen dan mensen die verwachten dat de trillingen van treinen het komend jaar gelijk zullen blijven of zullen afnemen. Mensen die verwachten dat trillingen als gevolg van treinen het komende jaar zullen toenemen, rapporteren juist minder vaak ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen. Alleen de associaties tussen verwachtingen en ernstige slaapverstoring door trillingen van respectievelijk railverkeer en goederentreinen waren statistisch significant.

Bezorgdheid over de waardedaling van de woning, gezondheid vanwege trillingen en schade aan de woning, was geassocieerd met ernstige slaapverstoring door trillingen van alle drie de treintypen. Alleen de associaties tussen bezorgdheid over de gezondheid vanwege trillingen en ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer ($p = 0,0305$) en bezorgdheid over waardedaling van de woning en ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen ($p = 0,0219$) waren statistisch significant.

Personen die de trillingen waarnemen doordat ze de ramen, deuren of het serviesgoed horen, voelen of zien trillen of rammelen, rapporteren vaker ernstige slaapverstoring door de trillingen van alle drie de treintypen. Geen van deze associaties waren echter statistisch significant.

Een opvallend resultaat is dat mensen met een negatieve houding over het huidige beleid ten aanzien van treinverkeer langs het spoor *minder* vaak ernstige slaapverstoring ten gevolge van trillingen van alle drie de treintypen rapporteren. Deze associatie was zelfs statistisch significant voor ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer ($p = 0,0165$). Wel bleek na correctie voor de andere factoren in tabel 8.2, dat

personen met een negatieve attitude ten aanzien van plannen om het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden, vaker ernstige slaapverstoring door trillingen van alle drie de treintypen rapporteren. Voor geen van de drie treintypes was deze associatie echter statistisch significant.

Nachtelijk geluid van railverkeer en slaapverstoring door geluid van railverkeer

Omdat in de “untargeted analyses” naar voren kwam dat zowel nachtelijk geluid van railverkeer als slaapverstoring door nachtelijk geluid van de drie treintypen belangrijke voorspellers zijn voor ernstige slaapverstoring door trillingen van de drie treintypen hebben we ervoor gekozen om in de logistische regressieanalyse zowel ernstige slaapverstoring door nachtelijk geluid van de treintypen als de blootstelling aan nachtelijk geluid van railverkeer (uitgedrukt in jaargemiddelde L_{night}) op te nemen. Beide factoren zijn echter redelijk hoog met elkaar gecorreleerd. Deze correlatie hebben we geprobeerd te verkleinen door in het model niet de slaapverstoringsscore zelf op te nemen, maar een binaire variabele die uitdrukt of iemand wel of niet ernstig is slaapverstoord door nachtelijk geluid van een bepaald treintype. Ter vergelijking zijn er ook enkele extra logistische regressiemodellen gemaakt waarin de blootstelling aan nachtelijk geluid van railverkeer (L_{night}) en de gerapporteerde slaapverstoring door geluid van een bepaald treintype *niet* samen zijn opgenomen.

Uit de analyses (Tabel 8.2) bleek dat de blootstelling aan nachtelijk geluid van railverkeer (L_{night}) niet is geassocieerd met de gerapporteerde slaapverstoring door trillingen van railverkeer in *aanwezigheid* van ernstige slaapverstoring door geluid van railverkeer en de andere factoren in tabel 8.2. Wanneer de gerapporteerde ernstige slaapverstoring door geluid van railverkeer *niet* wordt meegenomen, bleek dat de blootstelling aan nachtelijk geluid van railverkeer (uitgedrukt in L_{night}) *wel* was geassocieerd met de gerapporteerde ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer. Met andere woorden, zonder correctie voor ernstige slaapverstoring door geluid van railverkeer, neemt de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van alle drie de treintypen toe naarmate het geluidniveau van railverkeer toeneemt. Deze toename is steeds statistisch significant.

Ernstige slaapverstoring door het geluid van de drie treintypen is echter wel steeds geassocieerd met ernstige slaapverstoring door de drie treintypen: na correctie voor de andere factoren in tabel 8.2 (waaronder nachtelijk geluid van railverkeer), blijkt dat personen die ernstige slaapverstoring rapporteren door nachtelijk geluid van railverkeer, reizigers- of goederentreinen significant vaker ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer, reizigers- of goederentreinen rapporteren dan personen die geen ernstige slaapverstoring door geluid van railverkeer rapporteerden. Ook *zonder* dat blootstelling aan geluid van railverkeer (L_{night}) in het model wordt meegenomen, blijft ernstige slaapverstoring door geluid van de drie treintypen een sterke voorspeller van ernstige slaapverstoring door trillingen van alle drie de treintypen.

Woningkenmerken

Ten slotte hebben we ook gekeken naar de invloed van de ligging van de slaapkamer, de aanwezigheid van HR glas in slaapkamers en het raamgedrag van de bewoners op de gerapporteerde ernstige slaapverstoring door spoortrillingen. Zoals is te zien in tabel 8.2, rapporteren personen wiens slaapkamer op de derde verdieping of hoger ligt, vaker ernstige slaapverstoring door de trillingen van railverkeer en reizigerstreinen dan personen wiens slaapkamer op de tweede verdieping of lager ligt. Alleen voor ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen was deze associatie statistisch significant ($p=0,0067$).

Qua raamgedrag zijn er wel effecten gevonden voor slaapverstoring door trillingen ten gevolge van railverkeer en reizigerstreinen maar niet voor trillingen veroorzaakt door goederentreinen. Mensen die de ramen in de winter of zomer sluiten, rapporteren vaker ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer ($OR = 2,67$; $p = 0,0127$) en reizigerstreinen ($OR = 4,3$; $p < 0,0001$) dan personen die de ramen altijd gesloten houden. Er is geen associatie gevonden tussen HR-glas in de slaapkamer en ernstige slaapverstoring veroorzaakt door trillingen van alle drie de treintypen.

Andere trillingsmaten

Ook in relatie tot de gemiddelde (uitgedrukt als RMS en V_{per}) trillingssterkte door spoortrillingen en de afstand tot het spoor (in m) hebben we een logistische regressieanalyse uitgevoerd.

Uit de analyses is gebleken dat, na correctie voor de verstorende variabelen uit tabel 8.2, personen die dicht bij het spoor wonen (<25 meter, 25-50 meter en 50-100 m) net zoveel slaapverstoring door trillingen van de verschillende treintypen rapporteren als personen die verder weg van het spoor wonen (100-300 m).

Na correctie voor potentieel verstorende factoren bleek dat mensen die qua gemiddelde blootstelling aan trillingen (uitgedrukt als V_{per} nacht of RMS_{nacht}) in het tweede en derde kwartiel zitten, vaker ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen rapporteren dan mensen die qua blootstelling in het eerste kwartiel zitten. Alleen het verschil tussen personen die qua blootstelling aan maximale trillingsniveaus door reizigerstreinen in het derde kwartiel zitten en personen die qua blootstelling in het eerste kwartiel zitten is steeds statistisch significant. Met betrekking tot ernstige slaapverstoring door trillingen van zowel railverkeer als goederentreinen is er, na correctie voor de andere factoren in tabel 8.2, geen duidelijk patroon zichtbaar tussen de gemiddelde trillingsniveaus en de gerapporteerde slaapverstoring. Dit betekent dat personen in de tweede, derde en vierde kwartielgroep evenveel kans op ernstige slaapverstoring door trillingen hebben als personen in de eerste kwartielgroep.

Tabel 8.2 De relatie tussen de maximale blootstelling aan trillingen door treinverkeer (uitgedrukt in V_{max}) en ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer

Variabele	Ernstige slaapverstoring door trillingen railverkeer OR (95% Bthi)	Ernstige slaapverstoring door trillingen reizigerstreinen OR (95% Bthi)	Ernstige slaapverstoring door trillingen goederentreinen OR (95% Bthi)
Maximale blootstelling (V_{max}) †			
Kwartiel 1	Ref	Ref	Ref
Kwartiel 2	0,62 (0,28 - 1,36)	1,42 (0,67 - 3,02)	0,64 (0,29 - 1,38)
Kwartiel 3	2,43 (0,93 - 6,34)	2,91 (1,29 - 6,55)*	0,93 (0,35 - 2,49)
Kwartiel 4	0,86 (0,38 - 1,95)	0,96 (0,39 - 2,36)	0,86 (0,37 - 1,99)
Aandeel goederentreinen (%)^a			
Kwartiel 1	Ref	Ref	Ref
Kwartiel 2	0,81 (0,20 - 3,31)	0,70 (0,24 - 2,03)	1,45 (0,44 - 4,8)
Kwartiel 3	1,58 (0,28 - 8,88)	1,14 (0,26 - 4,96)	2,95 (0,75 - 11,55)
Kwartiel 4	0,30 (0,03 - 3,16)	0,37 (0,06 - 2,2)	2,39 (0,39 - 14,79)
Ratio nachttreinen (%)^b			
Tertiel 1	Ref	Ref	Ref
Tertiel 2	1,18 (0,34 - 4,11)	1,25 (0,36 - 4,36)	0,46 (0,15 - 1,43)
Tertiel 3	2,72 (0,31 - 23,66)	1,82 (0,38 - 8,77)	0,45 (0,09 - 2,37)
Geslacht			
Mannen	Ref	Ref	Ref
Vrouwen	2,33 (1,17 - 4,64)*	0,61 (0,34 - 1,1)	2,23 (1,22 - 4,06)*
Leeftijd			
16-44 jr.	Ref	Ref	Ref
45-64 jr.	0,82 (0,34 - 1,95)	1,64 (0,93 - 2,88)	0,95 (0,42 - 2,13)
65 jr. en ouder	0,46 (0,16 - 1,33)	0,40 (0,19 - 0,86)*	0,85 (0,33 - 2,15)
Opleiding			
Geen/lager onderwijs	0,82 (0,19 - 3,59)	0,41 (0,05 - 3,02)	4,62 (0,89 - 24,08)
Mavo/lbo	1,15 (0,52 - 2,56)	1,40 (0,67 - 2,94)	1,61 (0,51 - 5,13)
Havo/vwo/mbo	Ref	Ref	Ref
Hbo/wo	0,93 (0,44 - 1,94)	0,59 (0,32 - 1,08)	1,20 (0,64 - 2,27)
Stedelijkheid^c			
Zeer sterk stedelijk	1,78 (0,79 - 3,99)	0,80 (0,34 - 1,9)	0,55 (0,2 - 1,52)
Sterk stedelijk	2,86 (1,23 - 6,65)*	1,09 (0,45 - 2,61)	1,10 (0,48 - 2,53)
Matig stedelijk	2,73 (1,16 - 6,43)*	1,14 (0,44 - 2,93)	0,96 (0,4 - 2,33)
Weinig stedelijk	3,16 (0,93 - 10,75)	0,50 (0,21 - 1,21)	0,68 (0,22 - 2,08)
Niet stedelijk	Ref	Ref	Ref
Geluidniveau door railverkeer (L_{night}) in dB(A)	0,97 (0,93 - 1)	1,0 (0,97 - 1,04)	1,01 (0,98 - 1,04)
Ernstige slaapverstoring door geluid			
Railverkeer	43,76 (19,29 - 99,27)*	-	-
Reizigerstreinen	-	55,13 (26,27 - 115,68)*	-
Goederentreinen	-	-	19,78 (7,45 - 52,55)*
Hoort, voelt, ziet ramen, deuren en/of serviesgoed rammelen, trillen	1,30 (0,64 - 2,66)	1,51 (0,68 - 3,34)	1,81 (0,99 - 3,29)

Variabele	Ernstige slaapverstoring door trillingen railverkeer OR (95% Bthi)	Ernstige slaapverstoring door trillingen reizigerstreinen OR (95% Bthi)	Ernstige slaapverstoring door trillingen goederentreinen OR (95% Bthi)
Bezorgdheid over:			
Waardedaling woning	1,11 (0,49 - 2,53)	2,1 (1,11 - 3,96)*	1,81 (0,82 - 3,97)
Gezondheid vanwege trillingen	2,66 (1,10 - 6,45)*	1,41 (0,72 - 2,78)	1,57 (0,64 - 3,85)
Schade woning	2,02 (0,83 - 4,90)	1,22 (0,48 - 3,12)	1,90 (0,95 - 3,83)
Negatieve attitude tegenover:			
Huidig beleid t.a.v. treinverkeer langs het spoor	0,14 (0,03 - 0,7)*	0,47 (0,09 - 2,46)	0,9 (0,28 - 2,87)
Plannen om het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden	1,41 (0,50 - 3,97)	1,77 (0,54 - 5,82)	1,45 (0,55 - 3,78)
Trillingen door treinen zijn (zeer) onacceptabel	4,21 (1,73 - 10,28)*	3,56 (1,59 - 7,97)*	3,07 (1,68 - 5,6)*
Verwacht een achteruitgang door trillingen van de treinen	2,02 (1,06 - 3,82)*	0,62 (0,30 - 1,28)	1,87 (1,01 - 3,48)*
Ligging slaapkamer:			
Begane grond t/m tweede verdieping	Ref	Ref	Ref
Derde verdieping of hoger	1,04 (0,39 - 2,77)	3,14 (1,37 - 7,17)*	0,39 (0,08 - 1,91)
Raamgedrag			
Dicht (altijd)	Ref	Ref	Ref
Dicht (zomer of winter)	2,67 (1,23 - 5,79)*	4,3 (2,18 - 8,49)*	1,22 (0,53 - 2,78)
Open (zomer en winter)	1,03 (0,54 - 1,97)	1,22 (0,64 - 2,36)	0,76 (0,37 - 1,55)
HR-glas aanwezig in slaapkamer			
Nee	Ref	Ref	Ref
Ja	1,71 (0,92 - 3,19)	0,86 (0,47 - 1,6)	1,56 (0,84 - 2,88)
Weet niet	2,24 (0,78 - 6,46)	2,49 (0,95 - 6,56)	1,88 (0,73 - 4,85)

Afkortingen: Ref = Referentie groep, OR = Odds Ratio, 95% Bthi = 95% betrouwbaarheidsinterval, L_{Night} = Night level, * = statistisch significant, HR = Hoogrendementsglas.

a) Categorieën gemaakt op basis van kwartielen;

b) Categorieën gemaakt op basis van tertielen;

c) Stedelijkheid is een maatstaf voor de concentratie van menselijke activiteiten gebaseerd op de gemiddelde omgevingsadressen dichtheid (oad) uitgedrukt in het aantal adressen per km². Er wordt onderscheid gemaakt tussen niet stedelijk (gemiddelde oad van minder dan 500 adressen per km²), weinig stedelijk (gemiddelde oad van 500 tot 1000 adressen per km²), matig stedelijk (gemiddelde oad van 1000 tot 1500 adressen per km²), sterk stedelijk (gemiddelde oad van 1500 tot 2500 adressen per km²) en zeer sterk stedelijk (gemiddelde oad van meer dan 2500 adressen per km²);

* Statistisch significant (p < 0,05)

9 Discussie

In deze studie hebben we de invloed van de blootstelling aan spoortrillingen onderzocht op de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van een spoorlijn woont. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van het onderzoek besproken aan de hand van de onderzoeksvragen. Daarnaast gaan we in op een aantal aspecten die voor de interpretatie van de bevindingen van belang zijn, zoals de sterke en zwakke punten van het onderzoek, eventuele bevindingen in andere onderzoeken en de betekenis van de resultaten voor het beleid. Op basis hiervan doen we een aantal aanbevelingen.

9.1 Beantwoording onderzoeksvragen

In deze paragraaf beantwoorden we de vier onderzoeksvragen

9.1.1 *Wat is de omvang van ernstige hinder en ernstige slaapverstoring ten gevolge van de blootstelling aan trillingen van treinen in de Nederlandse bevolking?*

In het onderzoeksgebied van de Vervolgmeting wonen naar schatting ruim 1,1 miljoen mensen, verdeeld over ongeveer 533.000 woningen. Hierbij zijn gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd.

Ernstige hinder

In het onderzoeksgebied van de Vervolgmeting wonen naar schatting ruim 1,1 miljoen mensen, verdeeld over ongeveer 533.000 woningen. Op basis van de Vervolgmeting is geschat dat ongeveer 11% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend binnen 300 meter afstand van een spoorlijn (met uitzondering van gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen), ernstig wordt gehinderd door trillingen van railverkeer. Het gaat naar schatting om 126.500 personen.

Kijken we naar de verschillende treintypen, dan blijkt dat trillingen veroorzaakt door goederentreinen verreweg de meeste hinder veroorzaken: op basis van het vragenlijstonderzoek van de Vervolgmeting is geschat dat in 2021 ongeveer 22,6% van de Nederlandse bevolking die binnen 300 meter afstand van een spoorlijn woont (met uitzondering van gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen), ernstig wordt gehinderd door trillingen van goederentreinen. Het percentage ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen is in vergelijking met het percentage ernstige hinder door trillingen van goederentreinen laag. Het wordt geschat op 8%.

Ernstige slaapverstoring

Op basis van de resultaten van de Vervolgmeting is geschat dat in 2021 ongeveer 13% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die in de buurt van een spoorlijn woont (met uitzondering van gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle

sporen), ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer ondervindt.

In de Vervolgmeting is ook de hoeveelheid slaapverstoring door trillingen van andere bronnen dan treinverkeer gemeten. Gebleken is dat treinverkeer de belangrijkste bron van slaapverstoring door trillingen is onder de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend binnen 300 meter van een spoorlijn (met uitzondering van gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen).

Kijken we naar de verschillende treintypen, dan blijkt dat trillingen veroorzaakt door goederentreinen de meeste slaapverstoring veroorzaken. Op basis van het vragenlijstonderzoek van de Vervolgmeting is geschat dat in 2021 ruim 18% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter afstand van een spoorlijn woont (met uitzondering van gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen), ernstig wordt slaapverstoord door trillingen van goederentreinen. De prevalentie van ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen wordt op basis van de Vervolgmeting geschat op 6%.

Vergelijking met de meting uit 2013

De resultaten van de Vervolgmeting zijn een bevestiging van de resultaten van het onderzoek uit 2013: ook in 2013 veroorzaakten goederentreinen verreweg de meeste hinder. En net als bij de Vervolgmeting was de prevalentie van ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen in 2013 laag in vergelijking met de prevalentie van ernstige hinder door goederentreinen. Voor ernstige slaapverstoring is het hetzelfde beeld te zien.

Zoals we in hoofdstuk 5 al aangaven, kunnen de resultaten van de Vervolgmetingen niet helemaal met die van de meting uit 2013 worden vergeleken, omdat ten behoeve van de Vervolgmeting adressen in de buurt van spoorbruggen, tunnelbakken, en stations met veel parallelle sporen werden uitgesloten van deelname. Tijdens het onderzoek uit 2013 waren adressen in de buurt van spoorbruggen, tunnelbakken, en stations met veel parallelle sporen *niet* uitgesloten van deelname [11]. Er is geprobeerd na te gaan in hoeverre de voor 2013 gerapporteerde prevalentie van ernstige hinder door trillingen van railverkeer is beïnvloed door het al dan niet meenemen van uitsluitingsgebieden. Het resultaat is weergegeven in tabel 9.1. Uit de tabel blijkt dat de prevalentie van personen van 16 jaar en ouder die alleen in uitsluitingsgebieden wonen in 2013 lager is dan de prevalentie van personen van 16 jaar en ouder die in 2013 in het studiegebied wonen met uitzondering van uitsluitingsgebieden. De prevalentie van ernstige hinder door trillingen van railverkeer onder personen van 16 jaar en ouder die in gebieden tot 300 meter van een spoorlijn wonen (uitsluitingsgebieden uitgezonderd) wordt in 2021 geschat op 11,0% (95% betrouwbaarheidsinterval: 9,6 – 13,5%). Wanneer in 2013 ook gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnelbakken, en stations met veel parallelle sporen zouden zijn uitgesloten van deelname, zou het percentage ernstige hinder door trillingen van railverkeer worden geschat op 20,3% in plaats van de nu gerapporteerde 19,5%. Het verschil in steekproeftrekking tussen 2013 en 2021 heeft geresulteerd in

een iets ander studiegebied. Echter, het kan de waargenomen verschillen in de prevalenties van ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van railverkeer tussen 2013 en 2021 niet verklaren. Sterker nog: het lijkt erop dat de werkelijke verschillen in prevalentie tussen 2013 en 2021 nog iets groter lijken te zijn.

Tabel 9.1 Het percentage ernstige hinder door trillingen van railverkeer (inclusief het 95% betrouwbaarheidsinterval) onder personen van 16 jaar en ouder in het studiegebied van 2013

	% ernstige hinder trillingen railverkeer in 2013	95% Bthi	
Alleen uitsluitingsgebieden^a	16,1	10,7	21,4
Totale studiegebied^a exclusief uitsluitingsgebieden	20,3	17,3	23,3
Totale studiegebied (inclusief uitsluitingsgebieden)^b	19,5	16,9	22,1

Afkortingen: 95%Bthi = 95% Betrouwbaarheidsinterval

^a Dit betreft gebieden tot 300 meter van het spoor in de buurt van spoorbruggen, tunnelbakken en stations met veel parallelle sporen.

^b Zoals gerapporteerd in Van Kamp et al [11].

Naast de hierboven beschreven overeenkomsten, zien we ook een belangrijk verschil tussen de resultaten van de Vervolgmeting en de meting uit 2013: In beide onderzoeken is ook de hoeveelheid hinder door trillingen van andere bronnen dan railverkeer gemeten. In tegenstelling tot de situatie in 2013, is in de Vervolgmeting gebleken dat railverkeer niet meer de belangrijkste hinderbron van trillingen is onder de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van een spoorlijn woont (met uitzondering van gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen). In 2021 veroorzaken trillingen door wegverkeer en bouwactiviteiten de meeste hinder in de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor woont (met uitzondering van gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen). Bij ernstige slaapverstoring bleek dat railverkeer in vergelijking met een aantal andere bronnen wel de belangrijkste bron van slaapverstoring door trillingen in het onderzoeksgebied was.

De waarneming dat railverkeer in 2021 niet meer de belangrijkste hinderbron van trillingen is onder de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, binnen 300 meter van een spoorlijn, zou mogelijk verklaard kunnen worden door het feit dat de Vervolgmeting is uitgevoerd tijdens de Covid-19-pandemie (zie ook paragraaf 9.2.2).

9.1.2

Welke blootstellingsmaat voor trillingen is het meest geschikt om hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinen te voorspellen?

Om te bepalen welke blootstellingsmaat het beste ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van railverkeer kan voorspellen, hebben we verschillende maten voor de blootstelling aan trillingen van railverkeer onderzocht. Hiervoor zijn er meerdere voorspellende

modellen gemaakt, gebaseerd op verschillende blootstellingen. Deze modellen zijn met elkaar vergeleken op basis van modelfit (hoe goed past het model op de onderliggende data) en nauwkeurigheid (hoe nauwkeurig is het model in het voorspellen van hinder of slaapverstoring). Ten slotte is er ook gekeken naar de onderlinge correlaties tussen de verschillende maten.

Het blijkt dat er een sterke onderlinge correlatie is tussen de indicatoren voor maximale ($V_{\max}$) en gemiddelde trillingssterkte (RMS, V_{per}). Ook wat betreft nauwkeurigheid van de voorspellende modellen waren de verschillen tussen de onderzochte blootstellingsmaten klein. Dit betekent dat een voorspelling van het aantal gehinderden of slaapverstoorden op basis van een van de geteste blootstellingsindicatoren (bijvoorbeeld de $V_{\max}$), ongeveer even nauwkeurig is als de voorspelling gebaseerd op een andere blootstellingsindicator (bijvoorbeeld de V_{per} of de RMS).

Op basis van de modelfit zien we wel verschillen: hoewel de verschillen tussen de blootstellingsindicatoren met en zonder ISO-weging klein waren, bleken de blootstellingsindicatoren *zonder* ISO-weging een betere fit te hebben met de onderliggende data. Daarmee wordt de hypothese die ten grondslag ligt aan het toepassen van een dergelijke weging (namelijk dat een blootstellingsindicator waarbij een richtingsafhankelijke frequentieweging volgens ISO-2631 is toegepast, beter zou corresponderen met hoe mensen trillingen ervaren) verworpen. Sterker nog, de ISO-weging lijkt er voor te zorgen dat de waarden minder voorspellend worden.

Bij zowel hinder als slaapverstoring zijn de verschillen in fit tussen $V_{\max}$, V_{per} en RMS (alle zonder ISO-weging) klein. Alleen bij ernstige hinder door trillingen van goederentreinen doet de afstand tot het spoor het qua fit een stuk beter dan de andere onderzochte maten. Maar daarbij is het wel opmerkelijk dat de nauwkeurigheid minder sterk is.

De bevindingen van de Vervolgmeting zijn in lijn met de conclusies van andere onderzoeken [21, 28, 81] waarin is geprobeerd te onderzoeken welke maat het beste is en of het uitmaakt welke methode voor frequentie weging wordt toegepast. Net als bij de Vervolgmeting, bleken de trillingsmaten waarbij de ISO-weging is toegepast de hinder niet beter te voorspellen dan de trillingsmaten waarbij de frequentieweging volgens andere methodes werd verricht. Daarnaast waren de verschillende blootstellingsmaten steeds hoog met elkaar gecorreleerd. Op basis van de statistiek kwam er niet één maat naar voren die duidelijk de voorkeur verdiend. Ook tijdens de meting uit 2013 zijn verschillende blootstellingsmaten voor trillingen onderzocht. Door de onderlinge hoge correlatie was het ook destijds niet goed mogelijk om onderscheid te maken tussen mogelijke verschillen in effecten van deze maten op de gerapporteerde hinder of slaapverstoring [11].

9.1.3 *Welke blootstelling-respons relaties kunnen worden afgeleid voor (ernstige) hinder en (ernstige) slaapverstoring door trillingen van treinen en de blootstelling aan trillingen van treinen (reizigers- versus goederentreinen)?*

Ernstige hinder

Voor zowel railverkeer als goederentreinen hebben we een duidelijke BR-relatie gevonden tussen de berekende blootstelling aan trillingen en het percentage ernstige hinder ten gevolge van trillingen van deze treintypen: het percentage ernstige hinder door trillingen van railverkeer neemt toe naarmate de blootstelling aan trillingen van treinen groter wordt. Voor reizigerstreinen waren deze BR-relaties een stuk minder duidelijk.

Ernstige slaapverstoring

We hebben ook BR-relaties gevonden tussen de berekende blootstelling aan trillingen en het percentage ernstige slaapverstoring ten gevolge van spoortrillingen: het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer neemt toe naarmate de blootstelling aan trillingen van railverkeer groter wordt. Net als bij hinder, waren deze relaties voor goederentreinen het sterkst. De BR-relaties tussen de blootstelling aan trillingen door reizigerstreinen en ernstige slaapverstoring waren zwak.

Vorm van de BR-relaties

De relatie tussen blootstelling en respons is niet altijd lineair. Wanneer voor de afleiding van de BR-relatie een methode wordt gebruikt die alleen maar lineaire relaties kan beschrijven, kan dit resulteren in onbetrouwbare BR-relaties. In de analyses is gebruik gemaakt van twee verschillende methodes: logische regressie met een continue blootstelling en een categorische blootstelling). Met een categorische blootstelling kunnen ook non-lineaire verbanden goed beschreven worden, maar dit kan niet binnen modellen met een continue blootstelling. Uit analyses bleek dat in de meeste gevallen het categorische model de betere fit had en dat de BR-relaties van continue en categorische modellen van elkaar verschilden, met name in het hogere bereik van de blootstelling. Dit suggereert dat er geen lineaire relatie is tussen blootstelling aan trillingen en ernstige hinder en slaapverstoring.

Vergelijking met 2013

We hebben de resultaten van de Vervolgmeting ook vergeleken met de resultaten van de meting uit 2013 [11]. Uit de vergelijking tussen de BR-relatie tussen de blootstelling aan trillingen van railverkeer en ernstige hinder door trillingen van railverkeer, blijkt dat bij gelijke trillingsniveaus de kans op ernstige hinder door trillingen van railverkeer in 2021 doorgaans lager is dan in 2013.

Bij ernstige slaapverstoring is het beeld anders: uit de vergelijking tussen de BR-relatie tussen de blootstelling aan trillingen van railverkeer en ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer bleek dat bij gelijke trillingsniveaus de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer in 2021 doorgaans juist *hog*er is dan in 2013.

Een mogelijke oorzaak van het waargenomen verschil tussen de Vervolgmeting en de meting uit 2013 hebben we hierboven al benoemd, namelijk het effect van het excluderen van adressen uit de zogenaamde uitsluitingsgebieden. In paragraaf 9.1.1. zijn we al ingegaan op de mogelijke invloed hiervan op de geschatte prevalentie. Wat de invloed is van het al dan niet excluderen van de uitsluitingsgebieden op de afgeleide BR-relaties voor 2013 is niet onderzocht. Wel weten we dat de adressen van de deelnemers aan het onderzoek uit 2013 die buiten de uitsluitingsgebieden vallen gemiddeld dichterbij het spoor liggen dan de adressen van de deelnemers die in de uitsluitingsgebieden liggen. Dit heeft te maken met hoe de uitsluitingsgebieden worden bepaald. Dit wordt geïllustreerd in figuur 9.1 aan de hand van een uitsluitingsgebied (aangegeven in geel) rondom een brug (aangegeven in roze). Alle woningen binnen de gele lijn bevinden zich in een uitsluitingsgebied en zijn niet meegenomen in de Vervolgmeting. De trillingen die worden veroorzaakt door treinen die over de brug lopen, hebben effect op de woningen die in het uitsluitingsgebied liggen. De vorm van het uitsluitingsgebied wordt verklaard door het feit dat het effect van de brug nihil is voor de huizen die verderop vlak bij het spoor zijn gelegen. Verderop, buiten het uitsluitingsgebied is die verhouding anders. Er is verderop dus minder uitsluiting nabij het spoor.



Figuur 9.1 Voorbeeld van de bepaling van een uitsluitingsgebied (het gele kader) bij een brug (roze). De spoorlijn wordt geïllustreerd aan de hand van de twee rode parallelle lijnen. De twee afstanden links en rechts van het spoor zijn 50 en 100 meter (dus ongeveer 25 en 50 meter naast het spoor).

Omdat de deelnemers van het onderzoek uit 2013 wier adres niet in een uitsluitingsgebied ligt, gemiddeld dichterbij het spoor wonen, verwachten we dat de blootstelling aan trillingen van deze deelnemers wat hoger is dan de blootstelling van de deelnemers wiens adres wel in een uitsluitingsgebied ligt. Op basis daarvan is te verwachten dat de BR-relaties die zijn afgeleid op basis van de gegevens van het onderzoek uit 2013 na exclusie van deelnemers uit de uitsluitingsgebieden mogelijk iets steiler zullen verlopen.

9.1.4 *Wat is de invloed van fysieke, contextuele en persoonlijke factoren op ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer?*

Ernstige hinder

Uit de analyses is gebleken dat, naast de blootstelling aan spoortrillingen, vooral de hinder die mensen door het *geluid* van de treinen ervaren, geassocieerd is met de gerapporteerde hoeveelheid hinder door spoortrillingen.

Daarnaast spelen sociale en persoonlijke factoren een belangrijke rol. Het gaat dan met name om bezorgdheid over waardedaling van de woning en/of schade aan de woning, het horen, voelen of zien trillen van ramen, deuren of serviesgoed horen ("rattle"), acceptatie van trillingen door treinen en de verwachtingen over de trillingen van de treinen.

Sociaal-demografische factoren zoals leeftijd, geslacht, opleiding en stedelijkheid bleken nauwelijks van invloed te zijn op de gerapporteerde hinder door trillingen van de verschillende treintypen.

De blootstelling aan geluid van railverkeer (L_{den}) bleek alleen met ernstige hinder door trillingen van de verschillende treintypen te zijn geassocieerd na weglating van ernstige hinder door het geluid van het corresponderende treintype.

Na correctie voor potentieel verstorende factoren blijkt dat mensen naarmate ze worden blootgesteld aan hogere trillingsniveaus (uitgedrukt als V_{max} , V_{per} of RMS), dan wel dichterbij het spoor wonen, meer ernstige hinder door trillingen van treinverkeer en goederentreinen rapporteren. Voor reizigerstreinen bleek dat mensen naarmate ze worden blootgesteld aan hogere trillingsniveaus (uitgedrukt als V_{max} , V_{per} of RMS), dan wel dichterbij het spoor wonen, niet meer ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen rapporteren.

Ernstige slaapverstoring

Uit de analyses is gebleken dat, naast de blootstelling aan spoortrillingen, vooral de slaapverstoring die mensen door het nachtelijk *geluid* van de treinen ervaren, geassocieerd is met de gerapporteerde hoeveelheid slaapverstoring door spoortrillingen.

Daarnaast spelen sociale en persoonlijke factoren een belangrijke rol. Het gaat dan met name om de acceptatie van trillingen door treinen, de verwachtingen over de trillingen van de treinen en de bezorgdheid over waardedaling van de woning, of over de gezondheid vanwege de trillingen en schade aan de woning. Hoewel het horen, voelen of zien trillen van ramen, deuren of serviesgoed horen ("rattle") en het hebben van een negatieve attitude ten opzichte van plannen om het huidige treinverkeer in Nederland op sommige plekken uit te breiden positief is geassocieerd met ernstige hinder door spoortrillingen, was geen van deze associaties statistisch significant.

Sociaal-demografische factoren, zoals leeftijd en opleiding, bleken nauwelijks van invloed te zijn op de gerapporteerde slaapverstoring door trillingen van de verschillende treintypen. Stedelijkheid blijkt alleen van invloed te zijn op de gerapporteerde hoeveelheid ernstige

slaapverstoring door trillingen van treinverkeer. Ook zagen we dat vrouwen een hogere kans hadden op ernstige slaapverstoring door trillingen van zowel treinverkeer als goederentreinen dan mannen.

De invloed van de ligging van de slaapkamer is niet eenduidig: personen wier slaapkamer op de derde verdieping of hoger ligt ervaren meer ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer en reizigerstreinen en minder ernstige slaapverstoring door trillingen van goederentreinen dan personen wier slaapkamer op de eerste verdieping of begane grond ligt. Ten slotte maakt het verschil of de ramen in de zomer en/of de winter dicht zijn of niet.

De blootstelling aan geluid van railverkeer tijdens de nacht (L_{nacht}) bleek alleen met ernstige slaapverstoring door trillingen van de verschillende treintypen te zijn geassocieerd na weglating van ernstige slaapverstoring door het geluid van het corresponderende treintype.

Na correctie voor potentieel verstorende factoren blijkt dat personen die wat betreft blootstelling aan trillingen in het tweede of derde kwartiel zitten (uitgedrukt als V_{max} , $V_{\text{per nacht}}$ of $\text{RMS}_{\text{nacht}}$) meer ernstige slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen rapporteren dan personen die wat betreft blootstelling in het eerste kwartiel zitten. Voor zowel railverkeer als goederentreinen bleek dat mensen, naarmate ze worden blootgesteld aan hogere trillingsniveaus (uitgedrukt als V_{max} , $V_{\text{per nacht}}$ of $\text{RMS}_{\text{nacht}}$), niet meer ernstige slaapverstoring door trillingen van deze treintypen rapporteren.

9.2 Sterke en zwakke punten van de Vervolgmeting

9.2.1 Sterke punten

Steekproefomvang

De vraagstellingen van de Vervolgmeting hebben we beantwoord aan de hand van een vragenlijstonderzoek. Het grote voordeel hiervan is de relatief eenvoudige wijze waarop een grote groep mensen benaderd en bevraagd kan worden over zeer uiteenlopende aspecten van beleving van spoortrillingen en aspecten van gezondheid. De omvang van het onderzoek maakt het mogelijk om met voldoende statistische zeggingskracht uitspraken te doen over de ervaren hinder, slaapverstoring en andere gezondheidsaspecten die samen kunnen hangen met spoortrillingen.

Manier van steekproeftrekken

Bij de selectie van de deelnemers hebben we gelet op de verdeling van adressen over de blootstellingsklassen. Omdat het niet mogelijk was om de blootstelling aan trillingen op voorhand in te schatten, is hierbij gebruik gemaakt van een combinatie van afstand en bouwjaar van de woning. Zowel tijdens de Vervolgmeting als de meting uit 2013 is gebleken dat dit een effectieve manier van steekproeftrekking is. Bovendien is uit onderzoek gebleken dat de constructie, de manier van funderen en de bouwkundige staat van een gebouw van belang zijn. Zo bleek bijvoorbeeld uit het onderzoek van Öhrström en Skånberg [45] dat mensen die in huizen woonden met een houten constructie meer hinder door trillingen ondervonden dan mensen die in huizen woonden met een betonnen constructie. Een nauwelijks gefundeerde schuur trilt

mee met de bodem, terwijl een gebouw met funderingsbalken die zijn verankerd in betonnen heipalen veel minder zal meetrillen. Als proxy voor de constructie van een gebouw en haar bouwkundige staat is ten behoeve van de steekproeftrekking het bouwjaar gebruikt. De afstand tot het spoor is van belang voor de overdracht van de trillingen tussen bron en ontvanger. De invloed van trillingen is kleiner naarmate de afstand tot de trillingsbron groter is.

Gebruik van een verbeterd model

De blootstelling aan trillingen van treinen hebben we ten behoeve van de Vervolgmetering bepaald met behulp van het OURS-model. Tijdens de meting in 2013 is gebruik gemaakt van het SRM-t-model. Een belangrijk verschil tussen de modellen zijn de onderliggende gegevens die worden gebruikt om de blootstelling te schatten. Daarnaast wordt in OURS ook een andere rekenmethode gehanteerd dan in SRM-T. Een overzicht van de verschillen tussen beide modellen is ook terug te vinden in Van Kamp en collega's [19]. Bij de berekening van de blootstelling aan trillingen zijn (soms om praktische redenen) aannames gedaan en keuzes gemaakt. Dit zorgt ervoor dat per individueel adres afwijkingen kunnen bestaan tussen de berekende en de werkelijke blootstelling. Deze afwijkingen worden veroorzaakt door onder meer variaties in vloergedrag, gebouwconstructies, type treinen, constructie spoor et cetera. Omdat het SRM-t-model vooral gebruik maakt van standaardwaarden en minder gedetailleerdere invoergegevens gebruikt dan het OURS-model, schatten we in dat deze afwijkingen voor de blootstelling geschat met SRM-t met de werkelijke blootstelling groter zijn dan de blootstelling geschat met OURS. Tijdens een eerdere vergelijking bleek al dat OURS lagere trillingsniveaus geeft dan het SRM-t-model [19]. Deze lagere waarden corresponderen beter met het bereik van meetwaarden, dat in andere trillingsonderzoeken is gevonden. Met andere woorden, ten behoeve van de Vervolgmetering hebben we gebruik kunnen maken van een beter blootstellingsmodel dan tijdens de meting uit 2013. Bijkomend voordeel van dit model was, dat het in staat was om meer blootstellingsparameters te berekenen. Een goed voorbeeld daarvan is het bepalen van blootstellingsindicatoren met en zonder ISO-2631-weging. Daarnaast was het OURS-model in staat om de gemiddelde blootstelling (uitgedrukt als V_{per} of RMS) te schatten voor verschillende periodes van de dag. Met het SRM-t-model was dit niet mogelijk.

Vorm van de BR-relatie

Voor het afleiden van de BR-relaties hebben we verschillende methodes gebruikt die zowel lineaire (logistische regressie met continue uitkomst) als non-lineaire (logistische regressie met categorische uitkomst) relaties kunnen beschrijven. Over het algemeen gaf gebruik van de blootstelling als categorische variabele vaak de sterkste relatie met de beste fit, wat suggereert dat er een non-lineaire relatie is de blootstelling en response. Dit blijkt ook als we naar de figuren van de verschillende BR-relaties kijken. De categorische modellen voorspellen meer ernstige hinder of slaapverstoring door trillingen bij een hoge blootstelling dan de continue modellen. Het is belangrijk dat er bij het afleiden van BR-relaties rekening wordt gehouden met non-lineaire effecten. Wanneer er zonder meer wordt uitgegaan van het feit dat de relatie tussen blootstelling aan trillingen en hinder of slaapverstoring

lineair verloopt en er daarom voor een specifieke methode wordt gekozen die alleen maar lineaire relaties kan beschrijven, kan dat tot onderschatting van het risico leiden bij hogere blootstellingsniveaus.

9.2.2

Zwakke punten

Er is echter ook een aantal belangrijke kanttekeningen te maken bij dit onderzoek.

Mogelijk selectieve non-respons

De motivatie om deel te nemen aan vragenlijstonderzoek neemt gedurende de laatste decennia steeds verder af. Dit vertaalt zich doorgaans naar steeds lagere responspercentages. In dit onderzoek is een responspercentage gehaald van 30%. Dit percentage is iets lager dan bij het vragenlijstonderzoek uit 2013 (32%). Hoewel wegingsmethodes zijn toegepast om de invloed van verschillen in opbouw tussen de respondenten en de populatie in het onderzoeksgebied te verkleinen, moet er bij de interpretatie van de resultaten rekening worden gehouden met mogelijke verschillen tussen de onderzoeksgroep en de populatie in het onderzoeksgebied.

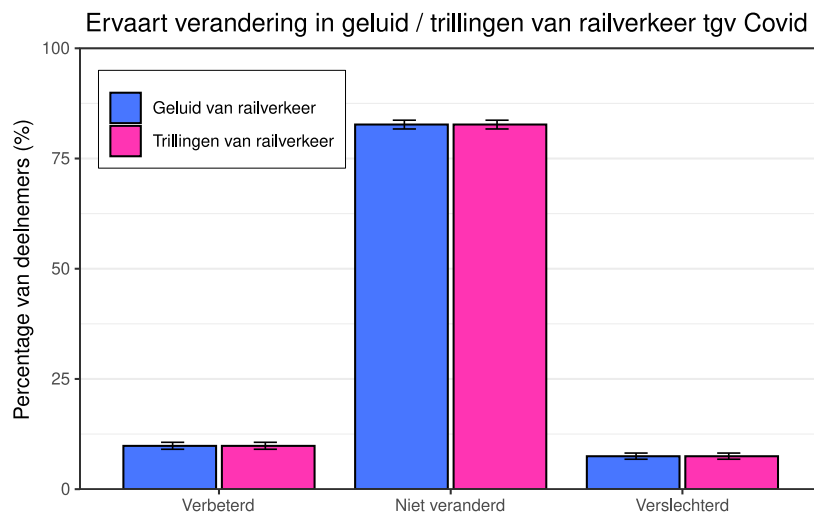
Speciale aandacht verdient de mogelijke invloed van zogenaamde selectieve non-respons op de resultaten van het onderzoek. Dit verschijnsel doet zich voor als, ten gevolge van non-respons, bepaalde groepen onder- of oververtegenwoordigd zijn in het onderzoek. Gedraagt een ondervertegenwoordigde groep zich duidelijk anders met betrekking tot de uitkomst, dan leidt dit tot een vertekening in de uitkomsten. Anders gezegd: een schatting valt systematisch te hoog of te laag uit. Het extra onderzoek dat is uitgevoerd onder non-respondenten heeft aangetoond dat de (non-)respons niet willekeurig is. Zo bleek namelijk dat de hinderscore onder de deelnemers hoger is dan in de groep non-respondenten. Dit heeft tot gevolg dat de deelnemers niet helemaal representatief zijn voor de totale steekproef, met een mogelijke lichte vertekening van de resultaten tot gevolg. Bij toepassing van de hindercijfers uit de survey op de totale populatie moet daarom rekening gehouden worden met een mogelijke overschatting van het percentage ernstige hinder. Het kleine aantal deelnemers dat bereikt is in het non-respons onderzoek (19%) maakt het echter niet mogelijk om op verantwoorde wijze een weging uit te voeren voor de invloed van selectieve non-respons.

Covid-19-pandemie

De Vervolgmeting is in het najaar van 2021 uitgevoerd tijdens de Covid-19-pandemie. Tijdens de pandemie heeft de overheid een groot aantal maatregelen genomen die waren bedoeld om de verspreiding van het coronavirus tegen te gaan. Dit had bijvoorbeeld gevolgen voor de dienstregeling van reizigerstreinen. Uit de jaarverslagen van de Nederlandse Spoorwegen (NS) blijkt dat de NS in maart 2020 een basisdienstregeling is gaan rijden, waardoor er minder treinen reden. Dit betekende dat in heel Nederland op alle stations twee keer per uur in beide richtingen een trein reed. Halverwege 2020 werd de treindienst weer opgeschaald in die gevallen waar dat nodig was. Halverwege oktober 2020 werd de dienstregeling echter weer stapsgewijs afgeschaald tot 90% van de normale omvang. De eerste maanden van 2021 zat Nederland in een lockdown en reed de NS ongeveer 90% van

de treinen. Vanaf de versoepelingen eind april 2021 is de NS echter weer gaan opschalen totdat eind augustus 2021 alle treinen reden. Dit was inclusief extra treinen die al voor de pandemie werden ingezet om de piekdrukke in de spits op te vangen. Vanaf halverwege december 2021 reed de NS tijdelijk minder treinen in de avond, nacht en spits. Ook startte de gebruikelijke avonddienstregeling twee uur eerder [109, 110]. Het spoorgoederenvervoer is een modaliteit die in vergelijking met het personenvervoer relatief corona-proof is. Toch waren de maatregelen tegen de verspreiding van het virus, ingesteld door zowel de Nederlandse overheid als in andere landen, van invloed op de hoeveelheid goederentreinen die over het Nederlandse spoor reden. We zagen al dat er door het invoeren van de basisdienstregeling minder reizigerstreinen reden. Daardoor was er in theorie meer ruimte voor spoorgoederenverkeer. Dat wil echter niet zeggen dat er in 2020 ook daadwerkelijk ook meer goederentreinen hebben gereden.

De volgende factoren zijn belangrijk om te noemen: Ten eerste, toen Italië in volledige lockdown ging, werd het aantal containertreinen teruggeschroefd: shuttles reden vijf keer per week heen en weer naar Italië in plaats van zes keer per week. Ten tweede was ook door de lockdown in China de aanvoer van containers minder. Daarbovenop kwam nog een extra effect: door de lockdown in China stokte de aanvoer van bijvoorbeeld auto-onderdelen. Het gevolg was dat in heel Europa de autofabrieken stil kwamen te liggen. Treinen die auto's vervoerden en/of die onderdelen vervoerden reden daardoor niet. Omdat voor de productie van auto's ook staal nodig is, reden er ook minder staaltreinen. In 2021 heeft het spoorgoederenvervoer zich echter goed hersteld. Dit ondanks het feit dat Nederland en (delen van) Europa ook in 2021 te maken hebben gehad met een of meerdere lockdowns vanwege de pandemie, draaide de economie op volle toeren. Een situatie waarin de productie in een of meerdere sectoren stil kwam te liggen, deed zich in 2021 niet voor. De omvang van het spoorgoederenvervoer was in 2021 over het algemeen dan ook groter dan in 2020. Zo nam het aantal goederentreinen op de grensovergangen met Duitsland bijvoorbeeld toe met 7% ten opzichte van 2020; de groei ten opzichte van de tijd voor de Covid-19-pandemie is 3%. Ook het aantal goederentreinen van en naar Rotterdam (toch de grootste generator van spoorgoederenvervoer) nam in 2021 met 10% toe ten opzichte van 2020 en met 6% ten opzichte van 2019. Het verkeer op de grens met België bleef echter achter, met een krimp van 7% ten opzichte van 2020 en 10% ten opzichte van 2019 [111-115]. We denken dan ook dat de trillingsniveaus door treinverkeer tijdens de uitvoering van het onderzoek door de Covid-19-pandemie nauwelijks zijn veranderd. Uit de resultaten van de Vervolgmeting bleek bovendien dat de meeste deelnemers aan de Vervolgmeting dit ook zo hebben ervaren: het overgrote deel van de deelnemers (84%) geeft namelijk aan te hebben ervaren dat zowel trillingen als geluid door treinen niet zijn veranderd ten gevolge van de Coronapandemie (zie ook figuur 9.1). Ruim 8% van de deelnemers ervaart dat de trillingen door treinen ten gevolge van de Covid-19-pandemie zijn verergerd. Voor het geluid van treinen zien we hetzelfde beeld.



Figuur 9.1 Percentage van de deelnemers aan de Vervolgmeting (N = 5.611) dat heeft aangegeven hoe geluid en trillingen van treinen volgens hen is veranderd ten gevolge van Covid-19.

Ten derde: onder invloed van de Covid-19-pandemie reisden mensen echter minder vaak met de trein en waren ze vaker aangewezen op hun directe leefomgeving: ze werkten niet alleen vaker thuis, maar maakten ook meer gebruik van bijvoorbeeld parken, pleinen en dergelijke dan voor de pandemie [116]. Er zijn aanwijzingen dat dit van invloed is geweest op de attitude die mensen hebben ten aanzien van vervoerswijzen als de trein: voor de trein zijn die attitudes sinds het uitbreken van de pandemie negatiever geworden, terwijl de bestaande positieve attitude ten aanzien van bijvoorbeeld de auto nog iets positiever werd. De attitudes ten aanzien van treinverkeer in de periode 2014-2018 waren zeer stabiel [117, 118]. Daarnaast is het veranderde reisgedrag en het feit dat mensen vaker aangewezen waren op hun directe leefomgeving mogelijk van invloed geweest op de hoeveelheid gerapporteerde hinder en slaapverstoring: uit landelijk belevingsonderzoek is namelijk gebleken dat mensen tijdens de Covid-19-pandemie gehinderd werden door geluid en trillingen van andere bronnen dan in de periode voorafgaand aan de pandemie [119, 120]. Dit lijkt ook het geval te zijn geweest bij de Vervolgmeting, waar we zagen dat treinverkeer in 2021 niet meer de belangrijkste hinderbron van trillingen is onder de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend binnen 300 meter van een spoorlijn (gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd). In 2021 veroorzaken trillingen door wegverkeer en bouwactiviteiten de meeste hinder in de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder die binnen 300 meter van het spoor woont (gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd). Bij ernstige slaapverstoring zien we dit patroon niet terug: Uit de Vervolgmeting bleek dat treinverkeer de belangrijkste bron van slaapverstoring door trillingen is onder de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend binnen 300 meter van een spoorlijn (gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd).

Omdat de Covid-19-pandemie voor en tijdens de veldwerkperiode van de Vervolgmeting speelde, zou er dus sprake kunnen zijn van een zogenaamde verandersituatie. Uit onderzoek naar de relatie tussen geluid en hinder weten we dat mensen bij veranderingen in omgevingsgeluid vaak een sterkere reactie vertonen dan op basis van de dan geldende BR-relaties wordt verwacht [84, 121]. Het omgekeerde is overigens ook mogelijk: mensen kunnen juist ook veel minder sterk reageren dan op basis van BR-relaties kan worden verwacht. Doordat mensen tijdens een verander situatie juist sterker of minder sterk reageren bij bepaalde geluidsniveaus heeft dat ook weer gevolgen voor een eventueel af te leiden BR-relatie. Het was niet mogelijk om te onderzoeken in welke mate de Covid-19-pandemie de relatie tussen de blootstelling aan trillingen en ernstige hinder of slaapverstoring door trillingen van treinen heeft beïnvloed. Aan de andere kant is het goed om te realiseren dat ook de meting uit 2013 heeft plaatsgevonden in een periode met veranderingen. Immers vlak voor de uitvoering van de meting in 2013 werd de Bts ingevoerd; bovendien stonden er als onderdeel van het Programma Hoogfrequent Spoor toenames in treinverkeer gepland. Dit kan er voor hebben gezorgd dat mensen in 2013 juist meer hinder of slaapverstoring hebben gerapporteerd. Of dit ook daadwerkelijk het geval is geweest, is niet onderzocht.

9.3 Betekenis voor beleid: bruikbaarheid van de resultaten

9.3.1 *De keuze voor een blootstellingsmaat*

Als onderdeel van deze Vervolgmeting hebben we verschillende maten voor de blootstelling aan trillingen van treinverkeer onderzocht: een maat die iets zegt over de maximale blootstelling en maten die iets zeggen over de gemiddelde blootstelling, rekening houdend met het aantal treinen en/of de lengte van de treinen. Op basis van de analyses is echter niet aan te geven welke van deze maten het beste is. Dit zou kunnen suggereren dat verschillende maten voor de blootstelling aan trillingen met verschillende hinderspecificatie en grenswaarden ongeveer dezelfde mate van bescherming zouden kunnen bieden ([21] in [11]). Wanneer het aantal treinen sterk toeneemt of de duur van de passages toeneemt (treinen worden langer) is dit echter sterk van invloed op een maat als de RMS en minder op een maat als de $V_{\max}$. De $V_{\max}$ zou daarom in theorie kunnen worden beschouwd als een goede indicator voor de waarneembaarheid van trillingen, terwijl de RMS waarschijnlijk een betere indicator is voor hinder. Dit zou mogelijk kunnen verklaren waarom de $V_{\max}$ bij de Vervolgmeting, iets beter dan de andere maten, slaapverstoring door trillingen voorspelt, en afstand en RMS betere voorspellers zijn voor hinder door trillingen. De keuze van de maat hangt onder meer af van het antwoord op vragen als: wat moet er aan de hand van de maat worden beoordeeld? De waarneembaarheid van de trillingen of de hinder? En in hoeverre vinden beleidsmakers het wenselijk om specifiek rekening te houden met de effecten van nachtelijke blootstelling?

Ten behoeve van de grens- en streefwaarden in de huidige regelgeving (Bts en SBR) wordt geen ISO-weging toegepast. Toepassing van de ISO-weging bij mogelijk nieuw te ontwikkelen normen lijkt niet wenselijk: uit de resultaten van de Vervolgmeting is immers gebleken dat de blootstellingsindicatoren *zonder* ISO-2631-weging zowel hinder

als slaapverstoring door trillingen van treinverkeer beter voorspelden. Ook in eerdere studies zijn vergelijkbare bevindingen gedaan [28].

9.3.2 *Toepassing van de BR-relaties: schatting van de omvang van het probleem*

De gevonden resultaten kunnen aanknopingspunten bieden voor een schatting van de ernst en omvang van het probleem van spoortrillingen in vergelijking met andere transport gerelateerde problemen, zoals luchtverontreiniging en geluid. Ook kunnen de resultaten aanknopingspunten bieden om een schatting te maken van de kosten en baten van te treffen maatregelen, gericht op de vermindering van gezondheidseffecten van spoortrillingen. Al deze schattingen kunnen echter alleen gemaakt worden op populatieniveau. Toepassing van de resultaten van de Vervolgmeting op individuele woningen of mensen en toepassing langs specifieke tracés is problematisch.

Om tot schattingen te komen van bijvoorbeeld de reductie in het aantal gehinderden en/of slaapverstoorden ten gevolge van maatregelen, moeten verschillende stappen worden doorlopen. Het voert te ver om deze stappen hier helemaal toe te lichten. Meer informatie is terug te vinden in hoofdstuk 5.2 van Van Kamp en collega's [11]. In het kort komt het erop neer dat er in elk geval informatie nodig is over a) de relatie tussen de blootstelling aan trillingen en ernstige hinder en/of slaapverstoring door trillingen uitgedrukt door middel van een BR-relatie, en over b) de verdeling van de populatie over trillingsniveaus veroorzaakt door treinverkeer.

Ad a) In hoofdstuk 7 zijn verschillende BR-relaties afgeleid die de associatie tussen de blootstelling aan trillingen van verschillende typen treinen en het percentage ernstige hinder of slaapverstoring door trillingen van verschillende typen treinen beschrijven. In principe kunnen alle in dit onderzoek afgeleide BR-relaties worden gebruikt om een schatting te maken van de omvang van de ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van respectievelijk railverkeer, goederentreinen en passagierstreinen. Daarbij verdient het echter de voorkeur om vooral gebruik te maken van die BR-relaties: (i) waarbij de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van afstand tot het spoor (m), of (ii) waarbij de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van een maat waarbij geen ISO-2631-weging is toegepast. Gebleken is dat de relatie tussen de blootstelling aan trillingen van treinverkeer en ernstige hinder of slaapverstoring in de meeste gevallen niet lineair was. Het verdient dan ook de voorkeur om in die gevallen gebruik te maken van de BR-relaties die zijn afgeleid door middel van de categorische modellen.

Ad b) Ook bij de verdeling van de populatie over trillingsniveaus veroorzaakt door treinen zijn kanttekeningen te maken: ten behoeve van de Vervolgmeting is de blootstelling aan trillingen van treinen geschat met behulp van het OURS-model. In principe kan met behulp van het OURS-model een schatting worden gemaakt van de blootstelling aan spoortrillingen van *alle* woningen tenzij er sprake is van het ontbreken van sonderingen. Het is echter de vraag of het resultaat voor alle woningen wel voldoende nauwkeurig is. Met name voor woningen in de buurt van spoorbruggen, tunnelbakken en grote stations met veel

parallele sporen is het lastig om een schatting van de blootstelling te krijgen die voldoende betrouwbaar is. Echter, wanneer de adressen in deze zogenaamde uitsluitingsgebieden individueel beoordeeld zouden worden, is het vaak wel mogelijk om tot een betrouwbare schatting van de blootstelling te komen. Houd er echter rekening mee dat dit vrij bewerkelijk is: elke spoorbrug of tunnelbak is namelijk weer anders, waardoor er per locatie detailmodellering nodig kan zijn of soms zelfs onderzoek nodig is.

9.3.3 *De rol van co-determinanten*

In de Vervolgmeting hebben we onderzocht welke factoren er naast de blootstelling aan spoortrillingen nog meer van invloed zijn op de gerapporteerde hinder en slaapverstoring door spoortrillingen. Daarbij is alleen gekeken in hoeverre verschillende co-determinanten zijn geassocieerd met de gerapporteerde hinder en slaapverstoring door spoortrillingen. Daarbij bleek dat de gevonden verbanden tussen de blootstelling aan trillingen en ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen zwakker werden of soms zelfs wegvielen. Hoe dat komt is niet duidelijk. Er is niet onderzocht of er sprake is van effectmodificatie en/of vertekening ("confounding") door de verschillende co-determinanten. Er is bijvoorbeeld niet onderzocht of de associatie tussen de blootstelling aan trillingen en ernstige hinder door spoortrillingen anders loopt voor personen met een negatieve attitude dan voor personen met een positieve attitude (effect modificatie).

Dat het geluid van de treinen ook van belang is, blijkt wel uit het feit dat naast de blootstelling aan spoortrillingen, vooral de hinder en slaapverstoring door het geluid van de treinen van invloed was op de gerapporteerde hinder en slaapverstoring door de spoortrillingen. Bovendien bleek de blootstelling aan geluid positief geassocieerd was met zowel de gerapporteerde hinder als slaapverstoring door trillingen, weliswaar na weglating van ernstige hinder of slaapverstoring door het geluid van de treinen. Op basis van de resultaten van de Vervolgmeting en andere studies [25, 45-47] is echter nog niet vast te stellen of er sprake is van bijvoorbeeld een cumulatieve-effect (geluid versterkt het effect van trillingen) of juist van een maskerend effect. Daarvoor zijn verdiepende analyses nodig.

Hoewel de resultaten van de Vervolgmeting veel overeenkomsten hadden met de resultaten van de meting uit 2013, waren er ook een aantal verschillen. Deze verschillen zouden onder meer kunnen worden toegeschreven aan co-determinanten. Weliswaar verschillen de locaties en ook de manier van onderzoeken niet zo erg van elkaar, maar er zit wel acht jaar tussen beide onderzoeken. Uit studies naar de relatie tussen geluid van vliegverkeer en hinder weten we dat de rol van co-determinanten erg kan verschillen tussen populaties, locaties en tijd. Dit wordt onder meer geïllustreerd in Smetsers en collega's [122]. Iets dergelijks zou ook aan de hand kunnen zijn in relatie tot hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinen.

Meer onderzoek naar de rol van co-determinanten zou dan ook zinvol zijn. Een complicerende factor hierbij is dat het verband tussen de blootstelling aan trillingen van treinen, co-determinanten en hinder door trillingen van treinen niet duidelijk is. Personen die in de buurt van een

spoorlijn wonen kunnen ernstig gehinderd zijn door de trillingen van de treinen en daardoor ook een negatieve houding ontwikkeld hebben. Oorzaak en gevolg kunnen op basis van een dwarsdoorsnede studie (eenmalige meting) niet worden afgeleid.

Daarnaast kunnen verschillende co-determinanten onderling sterk samenhangen. Dit betekent dat co-determinanten die een minder grote invloed hebben op hinder en/of nauwelijks of in mindere mate te beïnvloeden zijn (modificeerbaar zijn), niet uit het oog moeten worden verloren. Een illustratie uit omgevingsgeluid [82]: "Hoewel de luchtvaart op de lange termijn wereldwijd zorgt voor economische en sociale voordelen, zijn het eigenlijk vooral de direct omwonenden die, bijna direct, de negatieve effecten van (omgevingsgeluid ervaren. Dit draagt bij aan een algemeen gevoel van onrechtvaardigheid. Dit is een factor waarvan de invloed op de mate van hinder misschien minder groot is, maar die ook weer gerelateerd is aan een factor als "waargenomen beheersbaarheid ("perceived control")". Deze factor is van grote invloed op de mate van hinder en is ook daarnaast ook nog eens te beïnvloeden."

10 Conclusies en aanbevelingen

10.1 Conclusies

In het onderzoeksgebied van de Vervolgmeting wonen naar schatting ruim 1,1 miljoen mensen, verdeeld over ongeveer 533.000 woningen. Hierbij zijn gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen uitgezonderd.

Op basis van de Vervolgmeting is geschat dat ongeveer 11% van de Nederlandse bevolking van 16 jaar en ouder, wonend binnen 300 meter afstand van een spoorlijn (met uitzondering van gebieden in de buurt van spoorbruggen, tunnels en grote stations met veel parallelle sporen) ernstig wordt gehinderd door trillingen van railverkeer. Het gaat naar schatting om 126.500 personen. Het percentage ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer wordt op bijna 13% geschat.

De meeste hinder en slaapverstoring wordt veroorzaakt door goederentreinen, en in mindere mate door reizigerstreinen: bij 22,6% van alle omwonenden in deze leeftijdsgroep gaat het dan om ernstige hinder door goederentreinen en bij 18% om ernstige slaapverstoring door goederentreinen. De omvang van ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van reizigerstreinen wordt geschat op respectievelijk 8 en 6%.

In de huidige regelgeving (Bts en SBR) wordt de ISO-2631-weging momenteel niet toegepast. Uit de Vervolgmeting is gebleken dat de blootstellingsmaten voor trillingen *zonder* richtingsafhankelijke frequentieweging volgens ISO-2631 zowel hinder als slaapverstoring door trillingen van railverkeer beter voorspellen. Het is een bevestiging van de resultaten uit eerdere onderzoeken waarin is onderzocht wat de invloed is van richtingsafhankelijke frequentieweging. Toepassing van de ISO-weging lijkt bij mogelijk nieuw te ontwikkelen regelgeving dan ook niet wenselijk.

In de Vervolgmeting hebben we verschillende soorten blootstellingsmaten voor trillingen onderzocht: een maat die iets zegt over de maximale blootstelling ($V_{\max}$) en maten die iets zeggen over de gemiddelde blootstelling rekening houdend met het aantal treinen en/of de lengte van de treinen (bijvoorbeeld de RMS). Gebleken is dat er niet één maat is die duidelijk de voorkeur verdient boven de andere maten. Er waren namelijk amper verschillen in de fit en nauwkeurigheid van modellen gebaseerd op verschillende blootstellingsmaten voor trillingen. Bovendien zijn de blootstellingsindicatoren onderling sterk met elkaar gecorreleerd. Dit betekent dat ten behoeve van verder te ontwikkelen regelgeving op het gebied van trillingen door treinverkeer moet worden afgewogen waar het beleid zich ten aanzien van blootstelling op wil gaan richten: op de waarneembaarheid van trillingen en/of de hinderlijkheid van trillingen, of op andere aspecten.

Voor zowel railverkeer als goederentreinen hebben we een duidelijk verband gevonden tussen de trillingssterkte en het percentage ernstige hinder door trillingen: het percentage ernstige hinder door trillingen van treinen neemt toe naarmate de blootstelling aan trillingen van treinen groter wordt. Voor goederentreinen waren deze relaties het sterkst. Voor reizigerstreinen waren deze relaties een stuk minder duidelijk. Bij slaapverstoring was het beeld vergelijkbaar met dat bij hinder.

Naast de blootstelling aan trillingen is er ook een aantal andere factoren van invloed op de gerapporteerde ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van treinen. Verreweg de belangrijkste factor was hinder door het geluid van de treinen. In relatie tot ernstige slaapverstoring door trillingen van treinen was slaapverstoring door het geluid van treinen de belangrijkste voorspeller. Daarnaast waren zowel voor ernstige hinder als slaapverstoring door trillingen met name sociale en persoonlijke factoren van belang: acceptatie van de trillingen, bezorgdheid, verwachtingen en de waarneming van trillende, bewegende of rammelende objecten in de woning ("rattle").

In principe kunnen alle BR-relaties die in de Vervolgmeting zijn afgeleid, worden gebruikt om een schatting te maken van de omvang van de ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van respectievelijk railverkeer, goederentreinen en passagierstreinen. Daarbij verdient het echter de voorkeur om vooral gebruik te maken van die BR-relaties: (i) waarbij de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van afstand tot het spoor (m), of (ii) waarbij de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van een maat waarbij *geen* ISO-2631-weging is toegepast. Gebleken is dat de relatie tussen de blootstelling aan trillingen van treinverkeer en ernstige hinder of slaapverstoring in de meeste gevallen niet lineair was. Het verdient dan ook de voorkeur om in die gevallen gebruik te maken van de BR-relaties die zijn afgeleid door middel van de categorische modellen.

De resultaten van de Vervolgmeting zijn op belangrijke punten een bevestiging van de resultaten van de meting uit 2013. Ook tijdens de meting uit 2013 bleek dat de meeste hinder wordt veroorzaakt door trillingen door goederentreinen, en in mindere mate door reizigerstreinen. Naast de blootstelling aan trillingen, waren vooral sociale en persoonlijke factoren van invloed op de hoeveelheid gerapporteerde hinder en slaapverstoring door spoortrillingen.

Ook in 2013 werd voor zowel railverkeer als goederentreinen een duidelijk verband gevonden tussen de trillingssterkte en het percentage ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen. Voor reizigerstreinen waren deze relaties een stuk minder duidelijk. Er waren echter ook verschillen: bij gelijke (maximale) trillingsniveaus, is de kans op ernstige hinder door trillingen van railverkeer in 2021 lager dan in 2013. Bij gelijke (maximale) trillingsniveaus, is de kans op ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer in 2021 juist hoger dan in 2013.

10.2 Aanbevelingen

Op basis van de Vervolgmeting komen we tot een aantal aanbevelingen:

Bekijk over vijf jaar of het op basis van de dan bestaande kennis nodig is om de BR-relaties die zijn afgeleid in deze Vervolgmeting te verversen.

BR-relaties zijn belangrijk voor het Nederlandse milieubeleid: ze kunnen worden gebruikt om normen mee af te leiden, en zijn van belang voor het achterliggende instrumentarium (bijvoorbeeld het doelmatigheidscriterium²⁴). Daarnaast kunnen met behulp van BR-relaties gezondheidseffecten in beeld worden gebracht waarmee antwoord kan worden gegeven op verschillende typen beleidsvragen zoals: bij welke groepen en blootstellingsniveaus doen (de meeste) problemen zich voor?, in welke gebieden kunnen maatregelen het beste worden ingevoerd, en welke maatregelen leveren de grootste gezondheidswinst op? Echter, de omstandigheden in een gebied zijn aan verandering onderhevig: bijvoorbeeld, er komt een spoorlijn bij, meer huizen worden geïsoleerd tegen trillingen, de acceptatie van de bevolking jegens treinverkeer verandert, er komt nieuwe wet- en regelgeving of er breekt een landelijke crisis uit et cetera. Daarnaast kan er nieuwe kennis verschijnen. Om te voorkomen dat er, zoals bij omgevingsgeluid vaak nog het geval is [107, 123], een te lange tijdspanne zit tussen veranderingen in lokale omstandigheden, het verschijnen van nieuwe kennis en de implementatie daarvan in de wet- en regelgeving, adviseren we niet alleen om de kennis op het gebied van spoortrillingen en gezondheid actueel te houden, maar ook om in het kader van “Wonen langs het spoor” in de toekomst nieuwe metingen te verrichten. We kunnen ons echter voorstellen dat de bevoegde gezagen er alleen al om praktische redenen niet op zitten te wachten dat er elk jaar nieuwe BR-relaties worden afgeleid. Daarom bevelen we aan om in elk geval elke 5 jaar uitgebreid te bekijken of het op basis van de dan bestaande kennis nodig en/of gelegitimeerd is om de bestaande BR-relaties te verversen.

Er moet meer inzicht komen in de mogelijke invloed van co-determinanten op de associatie tussen de blootstelling aan spoortrillingen en de ervaren hinder, de onderlinge samenhang tussen de co-determinanten en in welke mate ze te beïnvloeden zijn. Als onderdeel daarvan zou ook naar de rol van geluid moeten worden gekeken.

Tot nog toe is het onderzoek naar de invloed van co-determinanten op het optreden van hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinverkeer beperkt. Uit de overzichten van Van Kempen et al [10], Van Kamp et al [11] en de resultaten van de Vervolgmeting, kwam een aantal demografische, contextuele en persoonlijke factoren naar voren die geassocieerd bleken te zijn met ernstige hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinen. In hoeverre deze co-determinanten van invloed zijn op de associatie tussen de blootstelling aan trillingen van treinen en hinder of slaapverstoring door trillingen van treinen is echter niet onderzocht. Uit studies naar de relatie tussen geluid van

²⁴ Dit is een methode om te beoordelen of maatregelen ook doelmatig genoeg zijn om trillingshinder tegen te gaan. Met het doelmatigheidscriterium kan bevoegd gezag beoordelen of de kosten van een maatregel opwegen tegen de effectiviteit van een maatregel.

bijvoorbeeld vliegverkeer en hinder weten we dat de rol van co-determinanten erg kan verschillen tussen populaties, locaties en tijd [122]. Wanneer iets dergelijks ook aan de hand is in relatie tot hinder en/of slaapverstoring door trillingen van treinen, zou dit mogelijk een deel van de waargenomen verschillen tussen de resultaten van de Vervolgmeting en de eerste meting van “Wonen langs het spoor” uit 2013 kunnen verklaren. Bovendien kan kennis over co-determinanten belangrijke aangrijpingspunten en interventiemogelijkheden bieden om de blootstelling aan spoortrillingen te reduceren. Daarnaast kan het gevolgen hebben voor hoe trillingsreducerende maatregelen en/of beleid worden geïmplementeerd dan wel voor de communicatie over en/of het betrekken van omwonenden bij het welslagen van maatregelen en/of beleid. Doordat het RIVM in de loop der jaren als onderdeel van “Wonen langs het spoor” verschillende metingen heeft uitgevoerd bij mensen die in de buurt van een spoorlijn wonen, beschikt het over een groot aantal data op het gebied van blootstelling aan trillingen van treinen, co-determinanten, hinder, slaapverstoring en zelfgerapporteerde slaapkwaliteit.

Maak, net als in de Vervolgmeting, bij het afleiden van toekomstige BR-relaties gebruik van technieken waarbij ook rekening kan worden gehouden met het feit dat BR-relaties niet lineair zijn.

Voor het afleiden van de BR-relaties hebben we binnen dit onderzoek verschillende methodes gebruikt. In onderzoeken op het gebied van omgevingsgeluid en hinder worden BR-relaties vaak afgeleid op basis van lineaire logistische regressie [123]. Er is echter niet altijd sprake van een lineaire relatie tussen blootstelling en respons. Dat zien we ook wanneer we naar de figuren van de BR-relaties in hoofdstuk 7 kijken. In de Vervolgmeting is bij het afleiden van BR-relaties rekening gehouden met dit soort effecten door gebruik te maken van categorische modellen. Immers, wanneer er zonder meer wordt aangenomen dat de relatie tussen blootstelling aan trillingen en hinder of slaapverstoring lineair verloopt, kan dat tot onderschatting van het risico leiden bij hogere blootstellingsniveaus.

11 Gebruikte referenties

1. Stichting Bouwresearch (SBR), *Trilling: meet- en beoordelingsrichtlijnen, deel B - Hinder voor personen in gebouwen*. 2002, SBR.
2. Atsma JJ, *Besluit tot vaststelling van beleidsregels ten aanzien van trillinghinder ten behoeve van de vaststelling van tracebesluiten voor de aanleg, wijziging of het opnieuw in gebruik nemen van een landelijke spoorweg (Beleidsregel trillinghinder spoor)*. Staatscourant, 2012. **7532**(IENM/BSK-2012/5478).
3. Mansveld WJ, *Besluit van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu, van 24 maart 2014 nummer IenM/BSK-2014/63235, tot wijziging van de Beleidsregel trillinghinder spoor*. Staatscourant, 2014. **8251**(26 maart 2014).
4. Klumper T, Vlijm EJ, Faber PA, Eijk DR van, *Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen*. 2019, Witteveen en Bos, Coherence Consultants: Deventer.
5. Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM), *Mobiliteitsbeeld 2021, Bekroonde mobiliteit*, M.S. Bakker P, Editor. 2021, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM): Den Haag.
6. Bureau Spoorbouwmeester, MUST, *Atlas Spoor en Omgeving*, ed. Van den Hende J, Leidelmeijer S, Luiten E, Van Berkel S, Bruder A, Giesendorf R, Haszizulfic, Herrebout J, Keppke P, Mensink B, Simons V, Tsang C, Veldhuis W. 2022: Bureau Spoorbouwmeester. 72.
7. Van Veldhoven-Van der Meer S, *Spoor: vervoer- en beheersplan [Kamerbrief]*, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Editor. 23 april 2018, Tweede Kamer der Staten-Generaal: Den Haag.
8. Ollongren KH, *Voortgang versnelling woningbouw [Kamerbrief]*, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Editor. 9 juni 2021, Tweede Kamer der Staten-Generaal: Den Haag.
9. Atsma JJ, *32 404 Programma hoogfrequent spoorvervoer nr 31 Brief van de staatssecretaris van infrastructuur en milieu*, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Editor. 2011, Tweede Kamer der Staten-Generaal: Den Haag.
10. Kempen EEMM van, Baumann RA, Wijnen HJ van, Kamp I van, *Gezondheidseffecten van trillingen door treinen. Een review*. 2013, RIVM: Bilthoven.
11. Kamp I van, Kempen EEMM van, Wijnen HJ van, Verheijen E, Istamto T, Breugelmans ORP, Dirven EM, Koopman A, *Wonen langs het spoor. Gezondheidseffecten van trillingen door treinen*. 2015, RIVM: Bilthoven.
12. Steenbergen RDJM, Lentzen SSK, Koopman A, *Betrouwbare trillingsmaatregel ontwikkeling Standaard RekenMethode voor Trillingen (SRM-T)*. 2009, TNO: Delft.
13. Dijkma SAM, *Spoor: vervoer- en beheersplan*, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Editor. 29 februari 2016, Tweede Kamer der Staten-Generaal: Den Haag.
14. De Gruijter D, Koopman A, Verheijen E, Lentzen S, Boshuizen H, Bolte J, *Een uniform rekenmodel voor spoortrillingen 2016: Ontwikkelingsmogelijkheden*. 2016, RIVM: Bilthoven.

15. Kok A, Koopman A, Verheij T, *Gebruik rekenmodel spoortrillingen*. 2020, RIVM: Bilthoven.
16. RIVM. *Dutch calculation method for railway vibrations*. 2020; Available from: <https://github.com/rivm-syso/OURS>.
17. Van Veldhoven-Van der Meer, S., *Spoor: vervoer en beheersplan [Kamerbrief]*. 15 mei 2019, Tweede Kamer der Staten-Generaal, Den Haag.
18. Van Veldhoven-Van der Meer S, *Stand van zaken beleidsintensivering Spoortrillingen*, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Editor. 18 juli 2019: Den Haag.
19. Kamp I van, Kempen EEMM van, Simon SN, Mabaja N, Verheijen E, Wijnen H van, *Herhaalmeting wonen langs het spoor*. 2021, RIVM: Bilthoven.
20. Meloni T, *New Swiss legislation to protect persons from vibrations and structure-borne noise*. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2010. **29**(3): p. 189-196.
21. Janssen S, Koopman A, *Hinderspecificatie ten behoeve van de Beleidsregel Trillinghinder spoor (Bts)*. 2014, TNO.
22. Janssen SA, Vos H, Koopman A, *Attenuation of ground-borne vibration affecting residents near railway lines. WP1 Exposure response relationships and factors influencing these relationships*. 2013, Nederlandse Organisatie voor Natuurwetenschappelijk Onderzoek, Alfa Products and Technologies, Composite Damping Materials, Instytut Kolejnictwa, Emprsa de Manutencao de Equipamento Ferroviario, Infrabel, Instituto de Soldadura e Qualidade, University of Gotenburg, University of Salford, Beijing Jiaotong University.
23. International Organization for Standardization (ISO), *Mechanical Vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)*. 2003, ISO.
24. Griffin MJ, *Handbook of human vibration*. 1990, London: Academic Press.
25. Woodcock J, Peris E, Condie J, Sica G, Koziel K, Evans T, Moorhouse A, Steele A, Waddington D, *Human response to vibration in residential environments (NANR209). Technical report 6. Determination of exposure-response relationships* 2011, DEFRA: London.
26. International Organization for Standardization (ISO), *Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements*. 1997, ISO.
27. British Standards (BSi), *Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings. Vibration sources other than blasting*. 2008: United Kingdom.
28. Zapfe JA, Saurenman H, Fidell S, *TCRP Web-only document 48: Ground-borne noise and vibration in buildings caused by rail transit*. 2009, Transit Cooperative Research Program, Transportation Research Board of the National Academies.
29. Passchier-Vermeer W, *Vibrations in dwellings: exposure and annoyance*. 1995, TNO-PG: Den Haag.

30. Vincens N, Ögren M, Li H, Kempen E van, Edgren S, Persson Waye K, *EPIVIB: Hälsoeffekter av att bo vid en järnväg. Report: 2021 (In het Zweeds)*. 2021, School of Public Health and Community Medicine, Environmental and Occupational Medicine, Sound Environmental and Health Research Group: Gotenborg, Sweden.
31. Gezondheidsraad, *Grote luchthavens en gezondheid*. 1999, Gezondheidsraad: Den Haag.
32. World Health Organization (WHO), *Preamble to the Constitution of WHO as adopted by the International Health Conference, New York, 19 June - 22 July 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States and entered into force on 7 April 1948*. 1948, Official Records of WHO, no 2, p 100: New York.
33. Tomoya H, Tomoki N, Tsuyoshi K, Hiroshi Y, *Associations of insomnia with noise annoyance and neighborhood environments: a nationwide cross-sectional study in Japan*. Preventive Medicine Reports, 2021. **23**: p. 101416.
34. Dzhambov AM, Markevych I, Tilov B, Arabadzhiev Z, Stoyanov D, Gatseva P, Dimitrova DD, *Pathways linking residential noise and air pollution to mental ill-health in young adults*. Environmental Research, 2018. **166**: p. 458-465.
35. Kempen E van, Kamp I van, Nilsson M, Lammers J, Emmen H, Clark C, Stansfeld S, *The role of annoyance in the relation between transportation noise and children's health and cognition*. Journal of the Acoustical Society of America, 2010. **128**(5): p. 2817-2828.
36. Niemann H, Maschke C, Hecht K, *Lärmbedingte Belästigung und Erkrankungsrisiko. Ergebnisse des paneuropäischen LARES-Survey*. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz, 2005. **48**(3): p. 315-328.
37. Baudin C, Lefevre M, Wolfgang B, Cadum E, Champelovier P, Dimakopoulou K, Houthuijs D, Lambert J, Laumon B, Pershagen G, Stansfeld S, Venetia V, Hansell A, Evrard AS, *The role of aircraft noise annoyance and noise sensitivity in the association between aircraft noise levels and hypertension risk: results of a pooled analysis from seven European countries*. Environmental Research, 2020. **191**: p. 110179.
38. Dusseldorp A, Houthuijs DJM, Overveld AJP van, Kamp I van, Marra M, *Handreiking geluidhinder wegverkeer. Berekenen en meten*. 2011, RIVM: Bilthoven.
39. Peeters AL, Kaper JP, Jong RG de, Tukker JC, *Hinder door spoorweggeluid in de woonomgeving*. 1984, Interdepartementale Commissie Geluidhinder, IMG-TNO: Delft.
40. Jong RG de, Vos H, *Hinder door milieuverontreiniging in Nederland 1998. Verslag van deelstudies naar rangeerterreinen, militaire en kleine burgerluchtvaart*. 2000, TNO Preventie en Gezondheid: Leiden.
41. Miedema HME, Jong RG de, *Het aandeel van goederentransport in het treinverkeer en effecten van geluid en trillingen op omwonenden*. 1993, NIPG/TNO: Leiden.
42. Jong RG de, Eisses AR, *A prediction of annoyance due to high speed train noise in the Netherlands*. 1996, TNO Preventie en gezondheid: Leiden.

43. Woodroof HJ, Griffin MJ, *A survey of the effect of railway-induced building vibration on the community*. 1987, Institute of Sound and Vibration Research: Southampton.
44. Zeichart K, Sinz A, Schuemer R, Schuemer-Kohrs A, *Erschütterungswirkungen aus dem Schienenverkehr. Hauptbericht*. 1993, Obermeyer Planen und Beraten: München.
45. Öhrström E, Skånberg AB, *A field survey on effects of exposure to noise and vibration from railway traffic, Part 1: annoyance and activity disturbance effects*. Journal of Sound and Vibration, 1996. **193**(1): p. 38-47.
46. Öhrström E, *Effects of exposure to railway noise: a comparison between areas with and without vibration*. Journal of Sound and Vibration, 1997. **205**(4): p. 555-560.
47. Öhrström E, Gidlöf-Gunnarsson A, Ögren M, Jerson T, *Slutrapport Forskningsprogrammet TVANE: Effekter av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik - tågbonus, skillnader och samverkan mellan tåg - och vägtrafik*. 2011, Göteborgs Universitet, Sahlgrenska akademien, Medicinska institutionen, Avd för Samhällsmedicin och folkhälsa, Enh för Arbets- och miljömedicin: Göteborg.
48. Vadillo EG, Herreros J, Walker JG, *Subjective reaction to structurally radiated sound from underground railways: field results*. Journal of Sound and Vibration, 1996. **193**(1): p. 65-74.
49. Klæboe R, Turunen-Rise IH, Harvik L, Madshus C, *Vibration in dwellings from roads and rail traffic. Part II: exposure-effect relationships based on ordinal and logistic regression models*. Applied Acoustics, 2003. **64**(1): p. 89-109.
50. Aasvang GM, Engdahl B, Rothschild K, *Annoyance and selfreported sleep disturbances due to structurally radiated noise from railway tunnels*. Applied Acoustics, 2007. **68**(9): p. 970-981.
51. Gidlöf-Gunnarsson A, Ögren M, Jerson T, Öhrström E, *Railway noise annoyance and the importance of number of trains, ground vibration, and building situational factors*. Noise and Health, 2012. **14**(59): p. 190-201.
52. MacLachlan L, Ögren M, Kempen E van, Hussain-Alkhateeb L, Persson Wayne K, *Annoyance in response to vibrations from railways*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018. **15**(9): p. 1887.
53. MacLachlan L, Persson Wayne K, Pedersen E, *Exploring perception of vibrations from rail: an interview study*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017. **14**: p. 1303.
54. Licitra G, Fredianelli L, Petri D, Vigotti MA, *Annoyance evaluation due to overall railway noise and vibration in Pisa urban areas*. Science of the Total Environment, 2016. **568**: p. 1315-1325.
55. Yokoshima S, Morihara T, Sato T, Yano T, *Combined effects of high-speed railway noise and ground vibrations on annoyance*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017. **14**(8).
56. Ögren M, Gidlöf-Gunnarsson A, Smith M, Gustavsson S, Persson Wayne K, *Comparison of annoyance from railway noise and railway vibration*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017. **14**: p. 805.

57. Dormolen M van, et al, *Omgevingslawaai, slaap en gezondheid*. 1988, IVEM: Groningen.
58. Gezondheidsraad, *Over de invloed van geluid op slaap en de gezondheid* 2004, Gezondheidsraad: Den Haag.
59. World Health Organization (WHO), *Night noise guidelines for Europe*. 2009, WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark.
60. Fast T, *Beoordelingskader Gezondheid en Milieu: nachtelijk geluid van vliegverkeer rond Schiphol en slaapverstoring*. 2004, RIVM: Bilthoven.
61. Kempen E van, *Nieuwe gezondheidskundige richtlijnen voor omgevingsgeluid. Nadere gezondheidskundige analyses*. 2021, RIVM: Bilthoven.
62. World Health Organization (WHO), *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe*, Theakston F, Editor. 2011, WHO Regional Office for Europe, JRC European Commission: Copenhagen, Denmark.
63. Persson Waye K, Smith M, Hammar O, Ögren M, Croy I, *The impact of railway freight with regard to vibration level, noise and number of trains on sleep*, in *11th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)*. 2014: Nara, Japan.
64. Persson Waye K, Smith MG, Hussain-Alkhateeb L, Koopman A, Ögren M, Peris E, Waddington D, Woodcock J, Sharp C, Janssen S, *Assessing the exposure-response relationship of sleep disturbance and vibration in field and laboratory settings*. *Environmental Pollution*, 2019. **245**: p. 558-567.
65. Waddington D, Woodcock J, Smith MG, Janssen S, Persson Waye K, *CargoVibes: human response to vibration due to freight rail traffic*. *International Journal of Rail Transportation*, 2015. **3**(4): p. 233-248.
66. Smith MG, Croy I, Hammar O, *Nocturnal vibration and noise from freight trains impacts sleep*, in *International Congress on Acoustics 2013. In: Proceedings of Meetings on Acoustics*. 2013: Montreal, Canada. p. p 040114.2013.
67. Smith MG, Croy I, Ögren M, Persson Waye K, *On the influence of freight trains on humans: a laboratory investigation of the impact of nocturnal low frequency vibration and noise on sleep and heart rate*. *PLoS One*, 2013. **8**(2): p. e55829.
68. Smith MG, Ögren M, Persson Waye K. *Vibration and noise induced sleep disturbance from freight trains. The importance of vibration direction*. in *163rd Meeting Acoustical Society of America/ACOUSTICS 2012*. 2012. Hong Kong: Acoustical Society of America through the American Institute of Physics.
69. Croy I, Smith MG, Persson Waye K, *Effects of train noise and vibration on human heart rate during sleep: an experimental study*. *BMJ Open*, 2013. **3**(5): p. e002655 - e002655.
70. Ögren M, Ekblad A, Johansson P, Koopman A, Persson Waye K, *Ground and vibration estimation for health impact research*. *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*, 2021: p. 487-495.

71. Vincens N, Kempen E van, Ögren M, Persson Wayne K, *Living close to the railway: associations between rail traffic vibration, noise and non-fatal ischaemic heart disease*, in *14th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem*. 2023, International Commission on Biological Effects of Noise (ICBEN): Belgrade.
72. Vincens N, Kempen E van, Ögren M, Persson Wayne K, *Living close to the railway: effects of railtraffic vibration and noise on mental health*, in *24th International Congress on Acoustics (ICA 2022)*. 2022: Gyeongju.
73. Persson Wayne K, Li H, Kempen E van, Ögren M, Vincens N, *Living close to the railway: effects of vibration and noise from rail traffic on sleep disturbance*, in *The 24th International Congress on Acoustics (ICA, 2022)*. 2022: Gyeongju.
74. Blettner M, Sauerbrei W, Schlehofer B, Scheuchenpflug Th, Friedenreich C, *Traditional reviews, meta-analyses and pooled analyses in epidemiology*. International Journal of Epidemiology, 1999(28): p. 1-9.
75. Kempen EMM van, Staatsen BAM, Kamp I van, *Selection and evaluation of exposure-effect-relationships for health impact assessment in the field of noise and health*. 2005, RIVM: Bilthoven.
76. Passchier-Vermeer W, Zeichart K, *Vibrations in the living environment. Relationships between vibration annoyance and vibration metrics*. 1998, TNO-PG, Obermeyer Plannen und Beraten: Leiden, Munchen.
77. Janssen SA, Hofstetter H, Vos H, *Predicting vibration annoyance from distance to the railway*. 2013, TNO: Utrecht.
78. Woodcock J, Peris E, Moorhouse A, Waddington D, *Guidance document for the evaluation of railway vibration*. 2014, CargoVibes.
79. Yano T, Morihara T, Sato T. *Community response to Shinkansen noise and vibration: a survey in areas along the Sanyo Shinkansen Line*. in *4th European Congress on Acoustics: Forum Acusticum 2005*. Budapest.
80. Yokoshima S, Morihara T, Ota A, Tamura A. *Reanalysis of dose-response curves of Shinkansen railway noise*. in *The 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of noise (ICBEN)*. 2008. Foxwoods CT, USA.
81. Waddington D, Moorhouse A, Steele A, Woodcock J, Condie J, Peris E, Sica G, Koziel Z, *Human response to vibration in residential environments (NANR209). Final Report*. 2011, DEFRA: London.
82. Kempen EMM van, Simon S, *Kennisscan hinder door luchtvaartgeluid: Effecten van woningisolatie en niet-akoestische factoren*. 2019, RIVM: Bilthoven.
83. Condie J, Steele A, *Human response to vibration in residential environments (NANR209). Technical report 5: Analysis of social survey findings*. 2011, DEFRA: London.
84. Houthuijs DJM, Wiechen CMAG van, *Monitoring van gezondheid en beleving rondom de luchthaven Schiphol*. 2006, RIVM: Bilthoven.

85. Leidelmeijer K, Lensel J van, Giesbers I, *Kwaliteit van buurt en straat. Tussen feit en fictie*. 2009, Rigo Research en Advies in opdracht van VROM WWI: Den Haag.
86. Centraal Bureau voor de Statistiek. *Wijk- en buurtkaart 2020. Wijk- en buurtkaart 2020 versie 3*. 2020 [6 mei 2023]; Beschikbaar via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/nederland-regionaal/geografische-data/wijk-en-buurtkaart-2020>.
87. Centraal Bureau voor de Statistiek. *Kerncijfers per postcode*. 2023 [2 mei 2023]; Beschikbaar via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/nederland-regionaal/geografische-data/gegevens-per-postcode#:~:text=Het%20CBS%20verstrekt%20de%20data,vorm%20beschikbaar%20zijn%20voor%20derden>.
88. RIVM. *Kaarten | Atlas Leefomgeving | Risicokaart 2021*. 2021; Beschikbaar via: <https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten?config=3ef897de-127f-471a-959b-93b7597de188&activeTools=layercollection,search,info,bookmark,measure,draw,koeltorens&activateOnStart=layercollection&layerFilter=Alles%20tonen&gm-x=149999.99999999999&gm-y=459999.99999999998&gm-z=3&gm-b=1544180834512,true,1;1553270471109,true,1;1561969035963,true,1>
89. RIVM. *Kaarten | Atlas Leefomgeving | groenkaart*. 2020; Beschikbaar via: <https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten?config=3ef897de-127f-471a-959b-93b7597de188&use=piwiksectorcode&layerFilter=Alles%20tonen&gm-x=150000&gm-y=460000&gm-z=3&gm-b=1544180834512,true,1;1544725575974,true,0.8>.
90. RIVM. *Kaarten | Atlas Leefomgeving | Boomkaart*. 2020; Beschikbaar via: <https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten?config=3ef897de-127f-471a-959b-93b7597de188&use=piwiksectorcode&layerFilter=Alles%20tonen&gm-x=150000&gm-y=460000&gm-z=3&gm-b=1544180834512,true,1;1555682077585,true,0.8>.
91. RIVM. *Kaarten | Atlas Leefomgeving | PM2,5*. 2020; Beschikbaar via: <https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten?config=3ef897de-127f-471a-959b-93b7597de188&use=piwiksectorcode&layerFilter=Alles%20tonen&gm-x=150000&gm-y=460000&gm-z=3&gm-b=1544180834512,true,1;1643032516847,true,0.8>.
92. RIVM. *Kaarten | Atlas Leefomgeving | NO2*. 2020; Beschikbaar via: <https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten?config=3ef897de-127f-471a-959b-93b7597de188&use=piwiksectorcode&layerFilter=Alles%20tonen&gm-x=150000&gm-y=460000&gm-z=3&gm-b=1544180834512,true,1;1643032516845,true,0.8>.
93. Leidelmeijer K, Mandemakers J, *Leefbaarheid in Nederland 2020. Een analyse op basis van de Leefbaarometer 3.0*. 2022, Atlas Research: Amsterdam.
94. Briggs D, *Environmental pollution and the global burden of disease*. British Medical Journal, 2003. **68**(1): p. 1-24.

95. Burnham KP, Anderson DR, *Model selection and multimodel inference*. 2 ed. 2002, New York: Springer New York.
96. Lumley T. *Survey: analysis of complex survey samples*. 2023 23 Juli 2023 [cited 2023; Available from: <https://rdrr.io/rforge/survey/>].
97. Wickham H, *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. 2016.
98. Centraal Bureau voor de Statistiek. *Bevolking; geslacht, leeftijd en burgerlijke staat, 1 januari*. 2021 [2 mei 2023]; Beschikbaar via: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7461bev/table?ts=1655130400183>.
99. CBS Microdata Services, *Richtlijnen voor Remote Access-Output*. 2022, CBS.
100. Centraal Bureau voor de Statistiek. *Bevolking; hoogstbehaald onderwijsniveau en onderwijsrichting, 2003-2022*. 2022 [2 mei 2023]; Beschikbaar via: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/85184NED/table?ts=1683016595415>.
101. Centraal Bureau voor de Statistiek. *Huishoudens; kindertal, leeftijdsklasse kind, regio, 1 januari*. 2022 [2 mei 2023]; Beschikbaar via: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/71487ned/table?ts=1683016995168>.
102. Centraal Bureau voor de Statistiek, *Nederland langs de Europese meetlat 2019*. 2019, Centraal Bureau voor de Statistiek: Den Haag.
103. Centraal Bureau voor de Statistiek. *Woningvoorraad; woningtype op 1 januari, regio*. 2022 [2 mei 2023]; Beschikbaar via: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/85035NED/table?ts=1658417234523>.
104. Centraal Bureau voor de Statistiek. *Voorraad woningen; gemiddeld oppervlak; woningtype, bouwjaarklasse, regio*. 2023 [2 mei 2023]; Beschikbaar via: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82550NED/table?ts=1658733070418>.
105. Berglund B, Nilsson ME, *Total and source-specific loudness of singular and combined traffic sounds*. Archives of the Centre for Sensory Research, 2001. **6**(3): p. 71-93.
106. DIN, *Structural vibration. Part 2: Human exposure to vibrations in buildings*. 1999: Germany.
107. Welkers D, Kempen E van, Helder R, Verheijen E, Poll R van, *Motie Schonis en de WHO-richtlijnen voor omgevingsgeluid (2018): Het doel heiligt de middelen 2020*, RIVM: Bilthoven.
108. World Health Organization Regional Office for Europe, *Environmental noise guidelines for the European region*. 2018, WHO Regional Office for Europe: Copenhagen.
109. Nederlandse Spoorwegen (NS), *NS Jaarverslag 2020*. 2021, Nederlandse Spoorwegen: Utrecht.
110. Nederlandse Spoorwegen (NS), *NS Jaarverslag 2021*. 2022, Nederlandse Spoorwegen: Utrecht.
111. ProRail, *ProRail Jaarverslag 2020*. 2021, ProRail: Utrecht.
112. ProRail, *Ontwikkeling spoorgoederenvervoer in Nederland. 2020 vergeleken met 2019*, Demmers R, Editor. 2021, ProRail: Utrecht.

113. ProRail, *ProRail Jaarverslag 2021*. 2022, ProRail: Utrecht.
114. ProRail, *Ontwikkeling spoorgoederen-verkeer in Nederland. 2021 vergeleken met 2020*, Demmers R, Editor. 2022, ProRail: Utrecht.
115. ProRail, *Ontwikkeling spoorgoederen-verkeer in Nederland. 2022 vergeleken met 2021*, Demmers R, Es T van, Editors. 2023, ProRail: Utrecht.
116. Volksgezondheid Toekomst Verkenning. *Verder kijken dan corona, over de toekomst van onze gezondheid*. 2020; Beschikbaar via: <https://www.volksgezondheidtoekomstverkenning.nl/magazine>
117. Haas M de, Hamersma M, Faber R. *Heeft COVID geleid tot structureel ander reisgedrag? Eerste inzichten op basis van een vervolgmeting met het Mobiliteitspanel Nederland (MPN)*. 2022.
118. Haas M de, Hamersma M, Faber R. *Gedrag voor en na de COVID-pandemie. Inzichten uit een nieuwe meting met het Mobiliteitspanel Nederland (MPN)*. 2023.
119. Poll R van, Simon S, *Onderzoek beleving woonomgeving (OBW). Hinder en slaapverstoring. De 2021-cijfers*. 2022, RIVM: Bilthoven.
120. Poll R van, Simon S, *Ernstige hinder en slaapverstoring in Nederland. Onderzoek Beleving Woonomgeving (OBW) 2020. Hinder in tijden van corona*. 2021, RIVM: Bilthoven.
121. Brown AL, Kamp I van, *WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review of transport noise interventions and their impacts on health*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017. **14**(8): p. 873.
122. Smeters RCGM, Siegmund PC, Houthuijs DJM, Hogenhuis RH, Heblj SJ, Devilee JLA, Breugelmans ORP, Beintema JA, *Vliegtuiggeluid: meten, berekenen en beleven: een verkenning van wensen en ontwikkelopties*. 2019, RIVM: Bilthoven.
123. Poll R van, Reedijk M, Hoekstra J, Swart W, Kassteele J van de, Houthuijs D, *Relaties vliegtuiggeluid – hinder en slaapverstoring 2020. Civiele en militaire vliegvelden in Nederland*. 2023, RIVM: Bilthoven.
124. Friedman J, Tibshirani R, Hastie T, *Regularization Paths for Generalized Linear Models via Coordinate Descent*. Journal of Statistical Software, 2010. **33**(1): p. 1-22.
125. Molnar C. *Interpretable Machine Learning*. 2023; Available from: <https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/>.
126. Kuhn M, *Building Predictive Models in R Using the caret Package* Journal of Statistical Software, 2008. **28**(5).
127. Liaw A, Wiener M, *Classification and Regression by randomForest*. R News, 2002. **2**(3): p. 18-22.
128. Molnar C, *An R package for Interpretable Machine Learning*. Journal of Open Source Software, 2018. **3**(26).
129. International Organization for Standardization, *Acoustics: Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys*. 2003, ISO: Geneva, Switzerland.
130. Miedema HME, *Response functions for environmental noise in residential areas*. 1992, Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO: Leiden.

Verklarende woordenlijst en afkortingen

AIC	Akaike Information Criterion. Dit is een maat die iets zegt over hoe goed een statistisch model fit met de onderliggende data.
AUC	Area Under the Curve. Dit is een maat van de precies van een model; het zegt iets over de nauwkeurigheid van een statistisch model.
BAG	Basis Administratie Gebouwen. Het BAG bevat basisgegevens van alle adressen en gebouwen in een gemeente. Denk bijvoorbeeld aan gegevens als bouwjaar, oppervlakte, gebruiksdoel, of locatie op de kaart.
BRO	Basisregistratie Ondergrond
BR-relatie	Blootstelling-response relatie. Deze geeft het verband weer tussen een blootstelling (bijvoorbeeld trillingen van treinen) en de respons (bijvoorbeeld ernstige hinder) op deze blootstelling binnen een populatie.
BS-6472	British Standard voor de meting en beoordeling van trillingen.
Bts	Beleidsregel trillinghinder spoor. Deze beleidsregel heeft tot doel vast te stellen hoe wordt omgegaan met enkele aspecten van trillingshinder.
95%-Bthi	95% Betrouwbaarheidsinterval of 95% zekerheidsinterval. Geeft het gebied van waarden aan (interval) waarbinnen de werkelijke waarde in de onderzoekspopulatie ligt. 95% betekent dat wanneer we het onderzoek zouden herhalen 95 van de 100 herhalingen een resultaat geven dat binnen dat interval ligt. Betrouwbaarheid zegt iets over de betrouwbaarheid van de berekende waarde
CargoVibes	Acroniem voor "Attenuation of ground-borne vibration affecting residents near freight railway lines". Cargovibes was een EU-project dat tussen 2011 en 2014 is uitgevoerd ten behoeve van het Zevende Kaderprogramma.
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
dB	Decibel. Maat voor het geluidsniveau
Deciel	Is een bij een score behorend getal dat aangeeft hoeveel procent van de deelnemers de genoemde score of een lagere score heeft behaald. In het eerste deciel zitten de 10% laagste scores, terwijl in het tiende deciel de 10% hoogste scores zitten.
DIN-4150	Dit is een norm van het Deutsches Institut für Normung (DIN) waarin wordt beschreven welke eisen en richtwaarden moeten worden nageleefd om te waarborgen dat mensen geen belangrijke hinder ondervinden in woningen of in ruimten die voor vergelijkbare doeleinden worden gebruikt. De DIN bevat ook een methodologie voor de beoordeling van trillingen veroorzaakt door spoorwegverkeer.

GIS	Geografisch Informatie Systeem. Het is een informatiesysteem waarmee (ruimtelijke) gegevens of informatie over geografische objecten, zogeheten geo-informatie kan worden opgeslagen, beheerd, bewerkt, geanalyseerd, geïnterpreteerd en gepresenteerd.
HR-glas	Hoogrendementsglas.
I&W	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
IenM	Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
ISO-2631	Internationale standaard van de International Standards Organization (ISO) waarin onder meer de methodologie wordt beschreven voor de meting en beoordeling van trillingen waaraan mensen in gebouwen worden blootgesteld.
L _{den}	Jaargemiddelde maat voor geluid in het gehele etmaal, met een weging naar dag, avond en nacht uitgedrukt in decibel.
Leefbaarometer	Instrument waarmee de leefbaarheid in alle bewoonde wijken, buurten en straten in Nederland gemonitord wordt. Het laat zien hoe de situatie van de leefbaarheid er is en hoe die zich in de afgelopen jaren heeft ontwikkeld.
L _{night}	Jaargemiddelde maat voor geluid in de nacht, uitgedrukt in decibel.
Mediaan	De mediaan is de waarde die zich precies in het midden van een dataset bevindt als je de waarden van hoog naar laag zet. Het is een centrummaat die de laagste 50% van de waarden scheidt van de hoogste 50%.
NO ₂	Stikstofdioxide. Het is een anorganische verbinding van stikstof en zuurstof.
OBW	Onderzoek Beleving Woonomgeving. Landelijk onderzoek waarmee door het RIVM in kaart wordt gebracht hoe bewoners geluid, trillingen, geur en veiligheid in de woonomgeving ervaren.
Odds Ratio (OR)	Dit is een associatiemaat die een benadering geeft van hoeveel (on)waarschijnlijker het is dat diegenen die blootstaan aan een bepaalde expositie (bijvoorbeeld trillingen door treinen) een ziekte of gezondheidseffect (bijvoorbeeld hinder) zullen krijgen dan diegenen die niet blootstaan aan de expositie dan wel aan lagere niveaus van de expositie blootstaan. Bijvoorbeeld als het gaat om de aan of afwezigheid van longkanker in relatie tot het al dan niet roken. Bij een OR van 2 zal de kans op het ontwikkelen van longkanker twee keer zo groot zijn bij de rokers dan bij de niet-rokers in de onderzoeksgroep. Of: stel het gaat om de aan- of afwezigheid van een hartziekte in relatie tot het al dan niet regelmatig verrichten van zware fysieke inspanning. Als de geschatte OR gelijk is aan 0,5 dan is de kans op het optreden van een hartziekte half zo groot bij diegenen die regelmatig een zware fysieke inspanning verrichten ten opzichte van diegenen die dat niet doen in de onderzoeksgroep. Een OR van 1 geeft aan dat er geen verschil is tussen de blootgestelde en niet-blootgestelde groep.

OURS	Ontwikkeling Uniform Rekenmodel Spoortrillingen. Dit is een model waarmee trillingsniveaus bij woningen door railverkeer kunnen worden berekend. Het model is in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat ontwikkeld door een consortium onder leiding van het RIVM.
Percentiel, p_x	Hiermee wordt aangegeven welk deel van de deelnemers bijvoorbeeld een trillingssterkte heeft die kleiner of gelijk is aan de waarde die bij het betreffende percentiel hoort.
PHS	Programma Hoogfrequent Spoor.
PM _{2,5}	Deeltjes fijnstof kleiner dan 2,5 micrometer.
Polysomnografie	Polysomnografie is een slaaponderzoek waarbij verschillende fysiologische parameters tijdens de slaap van een persoon opgenomen worden. Het resultaat wordt een polysomnogram genoemd.
Prevalentie	Percentage, aantal keren dat iets per 100 respondenten voorkomt op een gegeven moment.
RMS	Frequentie gewogen 'Root-mean-square'. Blootstellingsmaat (vaak een gemiddelde) voor trillingen over langere periodes of om de omvang van trillingsgebeurtenissen (events) uit te drukken. Deze blootstellingsmaat wordt vooral gebruikt bij continue trillingen.
SBR-B richtlijn	"Stichting Bouw Research" B richtlijn. Deze richtlijn (geen wetgeving) geeft een eerste aanzet hoe om te gaan met trillingshinder, waarbij wordt aangestuurd op overleg met alle betrokken partijen om maatregelen te overwegen en te beoordelen of de hinder acceptabel is of niet.
SRM-T	Standaard Rekenmethode voor trillingen.
$V_{dir,max}$	Maximale trillingsniveau in snelheid (grotendeels via DIN-4150 en SBR-B, maar frequentieweging per richting volgens ISO-2631-1). Deze maat is zeer verwant aan de V_{max} in de SBR-B, met als enig verschil de richtingsafhankelijke frequentieweging. Verticaal levert dit gemiddeld 15% hogere waarden op voor de $V_{dir,max}$.
V_{max}	De hoogste effectieve trillingssterkte gedurende de beoordelingsperiode, waarbij 2% van de treinen met de hoogste trillingsniveaus niet zijn meegeteld aangezien ze als outliers worden gezien.
V_{per}	De gemiddelde trillingssterkte gedurende de beoordelingsperiode, gewogen naar de duur van de blootstelling.
WHO	Wereldgezondheid Organisatie.
WOoN	WoonOnderzoek Nederland. Dit is een basisonderzoek om de woonsituatie en woonwensen van huishoudens in Nederland in kaart te brengen.
WOZ-waarde	Waardering Onroerende Zaken (WOZ).

Dankwoord

Verschillende mensen hebben een essentiële bijdrage geleverd aan het onderzoek en aan deze rapportage. In de eerste plaats was de bijdrage van Kantar Public van groot belang: zij hebben in opdracht van het RIVM data verzameld met behulp van de online vragenlijst. Een woord van bijzondere dank gaat ook uit naar Irene van Kamp. Zij is betrokken geweest bij de opzet en steekproeftrekking van deze studie. Ook danken we Nick Majaia en Arnold Koopman voor hun ondersteuning en adviezen bij de berekening van de blootstelling aan trillingen. Ten slotte danken we Edwin Verheijen voor zijn ondersteuning bij de herberekening van de blootstelling van de deelnemers aan de meting uit 2013 met behulp van het OUS-model.

Bijlage 1 Uitnodigingsbrief Groep I

Datum 17 september 2021
Betreft Uitnodigingsbrief Vervolgmeting Wonen langs het spoor

Beste bewoner,

Onderzoek "Vervolgmeting Wonen langs het spoor"

Het RIVM onderzoekt in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat de effecten van wonen langs het spoor in Nederland. Daarvoor benaderen we mensen die wonen op een afstand van maximaal 300 meter van een spoorlijn. Met deze brief vragen wij u (of iemand uit uw huishouden) aan dit onderzoek deel te nemen. Per adres kan maar één persoon van 16 jaar of ouder meedoen. Als er meer personen ouder dan 16 jaar op uw adres wonen, stellen we voor dat diegene die het eerst jarig is de vragenlijst invult. Onder de deelnemers aan het onderzoek worden 30 Bol.com-bonnen van 50 euro verloot.

Waarom dit onderzoek?

Het doel van dit onderzoek is een landelijk beeld te krijgen van de gezondheid en de kwaliteit van leven van mensen die aan het spoor wonen. Het onderzoek vindt in heel Nederland plaats onder bewoners van willekeurig geselecteerde adressen binnen 300 meter van het spoor.

Hoe kunt u meedoen?

U kunt meedoen door via onderstaande link de vragenlijst in te vullen. Het invullen duurt ongeveer 20 minuten. U kunt de vragenlijst invullen tot en met <datum> 2021. Alvast hartelijk dank hiervoor.

De link naar de vragenlijst: <https://www.rivm.nl/trillingen-langs-spoor>.

Uw persoonlijke code: <code>

LET OP: dit is uw persoonlijke link voor deelname aan dit onderzoek.

Z.O.Z.

Contact

Voor technische vragen kunt u contact opnemen met de helpdesk van Kantar Public (wonenbijhetspoor@kantarpublish.com). Voor inhoudelijke vragen kunt u een e-mail sturen naar info@rivm.nl.

Uw bijdrage

Voor het slagen van het onderzoek is het belangrijk dat zoveel mogelijk mensen meedoen. Uw bijdrage is van groot belang om een goed en betrouwbaar beeld te kunnen krijgen van de gezondheid en de woonbeleving in uw regio.

Gegevensverwerking

Bij dit onderzoek werkt het RIVM samen met onderzoeksbureau Kantar Public. Het RIVM en Kantar Public zijn gehouden aan de Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG). In de vragenlijst worden voor analyse doeleinden een aantal achtergrondgegevens (huishoudgrootte, woonsituatie, geslacht, geboortjaar, opleiding en werksituatie) gevraagd. Kantar Public gaat vertrouwelijk met uw antwoorden om. Wilt u hier meer over weten, kijk dan op <https://www.kantar.com/nl/-/media/project/kantar/netherlands/pdfs-privacy-2021>. Hoe het RIVM omgaat met uw gegevens kunt u lezen op: <https://www.rivm.nl/privacy>.

Met vriendelijke groet,

Hoofd Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid

Bijlage 2 Uitnodigingsbrief groep II

Datum 17 september 2021
Betreft Uitnodigingsbrief Vervolgmeting Wonen langs het spoor

Beste bewoner,

Onderzoek "Vervolgmeting Wonen langs het spoor"

Het RIVM onderzoekt in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat de effecten van wonen langs het spoor in Nederland. Daarvoor benaderen we mensen die wonen op een afstand van maximaal 300 meter van een spoorlijn. U krijgt deze uitnodiging omdat u al eens eerder heeft meegedaan. Wij hopen van harte dat u opnieuw bereid bent om de vragenlijst in te vullen. Onder de deelnemers aan het onderzoek worden 30 Bol.com-bonnen van 50 euro verloot.

Waarom dit onderzoek?

Het doel van dit onderzoek is een landelijk beeld te krijgen van de kwaliteit van leven van mensen die aan het spoor wonen. Daarnaast willen we graag weten of/en zo ja hoe de situatie voor u is veranderd. Het onderzoek vindt over heel Nederland plaats onder bewoners van willekeurig geselecteerde adressen die binnen 300 meter van het spoor wonen.

Hoe kunt u meedoen?

U kunt meedoen door via onderstaande link en met behulp van uw persoonlijke code de vragenlijst in te vullen. Het invullen duurt ongeveer 20 minuten. U kunt de vragenlijst invullen tot en met <datum> 2021. Alvast hartelijk dank hiervoor.

De link naar de vragenlijst: <https://www.rivm.nl/trillingen-langs-spoor>.

Uw persoonlijke code: <code>

LET OP: dit is uw persoonlijke link voor deelname aan dit onderzoek, het is heel belangrijk dat alleen de persoon die zich eerder heeft opgegeven voor deelname aan dit onderzoek van het RIVM deze vragenlijst invult.

Z.O.Z.

Contact

Voor technische vragen kunt u contact opnemen met de helpdesk van Kantar Public (wonenbijhetspoor@kantarpublic.com). Voor inhoudelijke vragen kunt u een e-mail sturen naar info@rivm.nl.

Uw bijdrage

Voor het slagen van het onderzoek is het belangrijk dat zoveel mogelijk mensen meedoen. Uw bijdrage is van groot belang om een goed en betrouwbaar beeld te kunnen krijgen van de gezondheid en de woonbeleving in uw regio.

Gegevensverwerking

Bij dit onderzoek werkt het RIVM samen met onderzoeksbureau Kantar Public. Het RIVM en Kantar Public zijn gehouden aan de Algemene Verordening Gegevensbescherming (AVG). In de vragenlijst worden voor analyse doeleinden een aantal achtergrondgegevens (huishoudgrootte, woonsituatie, geslacht, geboortejaar, opleiding en werksituatie) gevraagd. Kantar Public gaat vertrouwelijk met uw antwoorden om. Wilt u hier meer over weten, kijk dan op <https://www.kantar.com/nl/-/media/project/kantar/netherlands/pdfs-privacy-2021>. Hoe het RIVM omgaat met uw gegevens kunt u lezen op: <https://www.rivm.nl/privacy>

Met vriendelijke groet,

Centrumhoofd Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid

Bijlage 3 Vragenlijst Vervolgmeting Wonen langs het spoor

Wonen langs het spoor

Het onderzoek wordt door Kantar Public uitgevoerd, in opdracht van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Wij respecteren uw privacy en vragen u daarom onderstaande punten door te lezen voordat u akkoord gaat met deelname aan het onderzoek.

1. Het onderzoek wordt uitgevoerd zoals beschreven staat in de uitnodigingsbrief. U heeft dit gelezen en u heeft de informatie begrepen. U heeft daarbij genoeg tijd gehad om te beslissen of u mee wilt doen;
2. In deze vragenlijst worden vragen gesteld over uw gezondheid en uw leefomgeving. Ook worden er persoonsgegevens (huishoudgrootte, woonsituatie, geslacht, geboortjaar, opleiding en werksituatie) verzameld. Deze gegevens worden door Kantar Public verwerkt en geleverd voor analyse aan het RIVM;
3. Deelname aan dit onderzoek is vrijwillig en u kunt zich op elk moment, zonder opgaaf van reden, terugtrekken uit het onderzoek en uw toestemming intrekken.

U heeft kennisgenomen van het privacy beleid van Kantar Public (<https://www.kantar.com/nl/-/media/project/kantar/netherlands/pdfs-privacy-2021>) en het RIVM (<https://www.rivm.nl/privacy>). Door op "Ja" te klikken stemt u in met deelname aan dit onderzoek en geeft u toestemming om uw gegevens te verwerken zoals hierboven beschreven.

Wij hopen u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd en danken u bij voorbaat hartelijk voor uw deelname aan dit onderzoek.

- ☐ Ja, ik ga akkoord met bovenstaande en doe mee aan het onderzoek
- ☐ Nee, ik ga niet akkoord met bovenstaande en doe niet mee aan het onderzoek

Beste deelnemer,

Dank u voor het meedoen aan ons onderzoek over wonen langs het spoor. De enquête zal ongeveer 20 minuten in beslag nemen.

0A.	Heeft u in het onderzoek van 2013 en 2019 deze vragenlijst ook ingevuld?	☐ ☐	Ja → ga door naar vraag 1 Nee --> ga door naar vraag 0B.
0B.	Zo nee, wat is de reden dat deze persoon zelf de vragenlijst niet invult?	☐ ☐ ☐	Deze persoon woont niet meer op dit adres Deze persoon is overleden Een andere reden, namelijk...

Blok I. Uw woonomgeving

Hieronder volgt een aantal vragen over uw woonomgeving. Hiermee bedoelen we de buurt ofwel het gebied dat in de directe omgeving van uw woning ligt. De makkelijkste manier om dit voor te stellen is om een gebied te nemen dat binnen de 10-15 minuten lopen is van uw huis.

1.	Hoe tevreden bent u met uw woonomgeving? Druk dit uit in een rapportcijfer van 1 t/m 10, 1 = zeer ontevreden, 10 = zeer tevreden.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- | | |
|--|--|
| 2A. Wat zij de prettige kanten aan het wonen hier?
<i>Meerder antwoorden mogelijk</i> | ☐ De rustige omgeving
☐ Je hebt hier de ruimte
☐ De mensen in de buurt
☐ Er zijn voldoende groenvoorzieningen
☐ Het is een mooie omgeving
☐ De centrale ligging
☐ De winkels zijn dichtbij
☐ De landelijke omgeving
☐ Het station is dichtbij
☐ De schone lucht
☐ Er zijn geen prettige kanten
☐ Anders, namelijk.... |
| 2B. Wat zij de onprettige kanten aan het wonen hier? | ☐ Er zijn te weinig speelterreinen
☐ Onveiligheid op straat
☐ Er is onvoldoende openbaar vervoer
☐ Te veel wegverkeer
☐ Te dicht bij het spoor |

Meerder
antwoorden
mogelijk

- ☐ De mensen in de buurt
- ☐ De luchtvervuiling
- ☐ Je woont te dicht op elkaar
- ☐ Het lawaai
- ☐ Er zijn geen onprettige kanten
- ☐ Anders, namelijk....

- 3A. Vindt u dat de buurt waarin u woont, het afgelopen jaar vooruit of achteruit is gegaan?
- 3B. Denkt u dat de buurt waarin u woont, het komende jaar vooruit of achteruit zal gaan?

- ☐ Vooruit gegaan
- ☐ Achteruit gegaan
- ☐ Gelijk gebleven
- ☐ Vooruit gegaan
- ☐ Achteruit gegaan
- ☐ Gelijk gebleven

4	Kunt u aangeven op welke aspecten u het komende jaar een vooruit -of achteruitgang verwacht?			
	<i>Per regel één antwoord aankruisen</i>	VOORUITGANG	ACHTERUITGANG	VERWACHT GELIJKBLIJVENDE SITUATIE
A	Groenvoorzieningen in de buurt	☐	☐	☐
B	Veiligheid van de buurt als gevolg van criminaliteit	☐	☐	☐
C	De bewoners	☐	☐	☐
D	Winkelvoorzieningen	☐	☐	☐
E	Bouwwerkzaamheden	☐	☐	☐
F	Trillingen van wegverkeer	☐	☐	☐
G	Geluid van wegverkeer	☐	☐	☐
H	Trillingen van treinen	☐	☐	☐
I	Geluid van treinen	☐	☐	☐
J	Geluid van burelen	☐	☐	☐
K	Anders, namelijk	☐	☐	☐

Blok II. Trillingen in en rondom uw woning

We stellen in dit blok een aantal vragen **over trillingen** die u thuis (dus in uw huis, voor de deur, in uw tuin of op uw balkon) mogelijk heeft gevoeld, gezien of gehoord. Het gaat om uw ervaring over de **afgelopen 12 maanden**.

5	Als u denkt aan de afgelopen 12 maanden, welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate trillingen van onderstaande bronnen u hinderen, storen of ergeren wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linker kolom (niet waarneembaar) in.												
	Ik ben helemaal niet (0) gehinderd Ik ben extreem (10) gehinderd												
<i>Per regel één antwoord</i>		Niet waarneembaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Wegverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Treinverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Vliegverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
D	Industrie of bedrijven	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E	Bouwactiviteiten, waaronder bouw-, sloop-, of wegwerkzaamheden	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F	Buren	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

6	We gaan nu wat dieper in op trillingen door treinverkeer. Kunt u voor onderstaande bronnen aangeven of i) deze in de afgelopen 12 maanden wel eens trillingen veroorzaakte, en ii) indien ja: hoe vaak dat dan was.								
			Trillingen gevoeld, gezien of gehoor door deze bron?	Zo ja, hoe vaak ?					
		NEE	JA	Dagelijks	2-3 keer per week	1 keer per week	1 keer per maand	Tenminste 1 keer per jaar	Zelden of nooit
A	Passerende reizigerstreinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Passerende goederentreinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Spooronderhoud of enig andere activiteit op het spoor (bijv. rangeren, treinen wassen)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
		➔ Indien u overal NEE heeft ingevuld, ga dan naar vraag 12							

7. **Hoe** neemt u de trillingen van het treinverkeer waar?
Meerdere antwoorden mogelijk

- ☐ Ik hoor de trillingen
☐ Ik voel de trillingen
☐ Als druk op mijn oren
☐ Ik voel het in mijn buik

- ☐ Als trillingen in mijn hele lichaam
☐ Ik zie de trillingen
☐ Anders, namelijk...

8.	Wat gebeurt er als u trillingen voelt, hoort of ziet die volgens u zijn veroorzaakt door treinverkeer, spooronderhoud of enige andere activiteit op het spoor?			
	<i>Per regel één antwoord aankruisen</i>	JA	NEE	NvT
A	Ik zie en/of hoor de ramen rammelen, trillen	☐	☐	☐
B	Ik zie en/of hoor de deuren rammelen, trillen	☐	☐	☐
C	Ik zie en/of hoor het serviesgoed (zoals borden of glazen in de kast) rammelen, trillen	☐	☐	☐
D	Ik zie en/of hoor dat lampen bewegen	☐	☐	☐
E	Ik voel dat het vanuit de vloer komt	☐	☐	☐
F	Er komen scheuren in de muren en/of het plafond	☐	☐	☐
G	Ik voel, hoor of zie andere dingen in huis door de trillingen, namelijk...	☐	☐	☐

9	Als u denkt aan de afgelopen 12 maanden, welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate trillingen van onderstaande bronnen u hinderen, storen of ergeren wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linkerkolom (niet waarneembaar) in.												
	Ik ben helemaal niet (0) gehinderd Ik ben extreem (10) gehinderd												
	<i>Per regel één antwoord</i>	Niet waarneembaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Reizigerstreinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Goederentreinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Spooronderhoud, of enig andere activiteit op het spoor (bijv. rangeren, treinen wassen)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

10	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate trillingen van de onderstaande bronnen uw slaap verstoren wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linkerkolom (niet waarneembaar) in.												
	Ik ben helemaal niet (0) slaapverstoord Ik ben extreem (10) slaapverstoord												
	<i>Per regel één antwoord</i>	Niet waarneembaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Wegverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

B	Treinverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Vliegverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
D	Industrie of bedrijven	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E	Bouwactiviteiten, waaronder bouw-, sloop-, of wegwerkzaamheden	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F	Buren	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

11	Als u denkt aan de afgelopen 12 maanden, welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate trillingen van onderstaande bronnen uw slaap verstoren wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linkerkolom (niet waarneembaar) in.												
	Ik ben helemaal niet (0) slaapverstoord Ik ben extreem (10) slaapverstoord												
<i>Per regel één antwoord</i>		Niet waarneembaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Reizigerstreinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Goederentreinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Spooronderhoud, of enig andere activiteit op het spoor (bijv. rangeren, treinen wassen)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Blok III. De geluidssituatie in en rondom uw woning

De volgende vragen gaan over de geluidssituatie in en rondom uw woning. We willen graag weten welke geluiden u thuis hoort, en hoe u dat ervaart. Het gaat om uw ervaring over de afgelopen 12 maanden.

- 12 Hoe waardeert u de geluidssituatie **in en rondom uw woning**?
- ☐ Zeer goed
 - ☐ Goed
 - ☐ Niet slecht en niet goed
 - ☐ Slecht
 - ☐ Zeer slecht

13	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate geluid van de onderstaande bronnen u hindert, stoort of ergert wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linkerkolom (niet hoorbaar) in.												
	Ik ben helemaal niet (0) gehinderd Ik ben extreem (10) gehinderd												
<i>Per regel één antwoord</i>		Niet hoorbaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Wegverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Treinverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Vliegverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

D	Industrie of bedrijven	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E	Bouwactiviteiten, waaronder bouw-, sloop-, of wegwerkzaamheden	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F	Buren	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

14	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate geluid van de onderstaande bronnen uw slaap verstoren wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linkerkolom (niet hoorbaar) in.												
	Ik ben helemaal niet (0) slaapverstoord						Ik ben extreem (10) slaapverstoord						
Per regel één antwoord		Niet hoorbaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Wegverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Treinverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Vliegverkeer	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
D	Industrie of bedrijven	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E	Bouwactiviteiten, waaronder bouw-, sloop-, of wegwerkzaamheden	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F	Buren	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

We gaan nu wat dieper in op het geluid van de treinen en werkzaamheden aan het spoor

15	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate geluid van de onderstaande bronnen u hindert, stoort of ergert wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linkerkolom (niet hoorbaar) in.												
	Ik ben helemaal niet (0) gehinderd						Ik ben extreem (10) gehinderd						
Per regel één antwoord		Niet hoorbaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Reizigerstreinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Goederentreinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Spooronderhoud, of enig andere activiteit op het spoor (bijv. rangeren, treinen wassen)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

16	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate geluid van de onderstaande bronnen uw slaap verstoren wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linkerkolom (niet hoorbaar) in.												
	Ik ben helemaal niet (0) slaapverstoord						Ik ben extreem (10) slaapverstoord						
Per regel één antwoord		Niet hoorbaar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

A	Reizigerstreinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Goederentreinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Spooronderhoud, of enig andere activiteit op het spoor (bijv. rangeren, treinen wassen)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Blok IV. Vragen over wonen aan het spoor

Nu volgt een aantal vragen over het treinverkeer in Nederland en over de spoorlijn en het treinverkeer bij u in de buurt.

- 17A Reist u, of reist iemand van uw gezinsleden regelmatig per trein naar werk of school? ☐ Minstens 1 van de gezinsleden reist doorgaans per trein naar werk of school ☐ Geen van de gezinsleden reist doorgaans per trein naar werk of school
- 17B Houden uw werkzaamheden of die van uw huisgenoten verband met het spoor en/of treinverkeer? ☐ Ja ☐ Nee

18	Hebt u in <u>uw woonkamer</u> ramen die uitkijken over:		
	<i>Per regel één antwoord aankruisen</i>	JA	NEE
A	Een spoorweg/passerende treinen	☐	☐
B	Een rangeerterrein	☐	☐
C	Een treinstation	☐	☐
D	Een spoorwegovergang	☐	☐

19	Hebt u in <u>uw slaapkamer</u> ramen die uitkijken over:		
	<i>Per regel één antwoord aankruisen</i>	JA	NEE
A	Een spoorweg/passerende treinen	☐	☐
B	Een rangeerterrein	☐	☐
C	Een treinstation	☐	☐
D	Een spoorwegovergang	☐	☐

20	Denk bij deze vraag aan de afgelopen 12 maanden. Welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate <u>u bezorgd bent over een aantal aspecten van treinverkeer</u> wanneer u thuis bent?												
	Ik ben helemaal niet (0) bezorgd	Ik ben extreem (10) bezorgd											
	<i>Per regel één antwoord</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	Hoe bezorgd bent u voor een daling van de waarde	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	

	van uw huis vanwege het wonen langs het spoor?											
B	Hoe bezorgd bent u over uw gezondheid vanwege trillingen door de treinen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Hoe bezorgd bent u over schade aan uw woning of uw bezittingen vanwege trillingen?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

21	positief	Zeer negatief					Neutraal					Zeer
Per regel één antwoord		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Staat u positief, neutraal of negatief tegenover het huidige beleid t.a.v. het treinverkeer langs het spoor waar u woont?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Staat u positief, neutraal of negatief tegenover de plannen voor een eventuele toename van het transport via het spoor in Nederland	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

22	Wat vindt u van onderstaande uitspraken over reizigerstreinen?											
A	Reizigerstreinen zijn											
	Milieuonvriendelijk											
	Milieuvriendelijk											
B	Reizigerstreinen zijn											
	Onnodig											
	Onmisbaar											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

23	Wat vindt u van onderstaande uitspraken over goederentreinen?											
A	Goederentreinen zijn											
	Milieuonvriendelijk											
	Milieuvriendelijk											
B	Goederentreinen zijn											
	Onnodig											
	Onmisbaar											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- 24 Hoe acceptabel vindt u de **trillingen** die door treinverkeer worden veroorzaakt?
- ☐ Zeer acceptabel
 - ☐ Acceptabel
 - ☐ Noch acceptabel, noch onacceptabel
 - ☐ Onacceptabel
 - ☐ Zeer onacceptabel

Blok V. Uw woning

Nu volgt een aantal vragen over uw huidige woning.

- 25 Woont u in een koop- of in een huurwoning?
- ☐ Koopwoning
 - ☐ Huurwoning
- 26 In wat voor type woning woont u?
- ☐ Een rijtjeshuis, hoekwoning, vrijstaand, twee onder een kap, villa, bungalow, landhuis → **ga naar vraag 27c**
 - ☐ Een flat, etagewoning, appartement, maisonnette, bovenwoning, benedenwoning → **ga naar vraag 27a**
 - ☐ Een boerderij, woning met tuindersbedrijf → **ga naar vraag 27c**
 - ☐ Een woning met aparte winkel, kantoor-, praktijk- of bedrijfsruimte → **ga naar vraag 27a**
 - ☐ Een wooneenheid met gezamenlijk gebruik van keuken of toilet → **ga naar vraag 27a**
 - ☐ Geen van deze → **ga naar vraag 27a**

- 27A Hoeveel **verdiepingen** heeft het gebouw waarin de woonruimte/woning ligt?
U moet daarbij de kelder en de begane grond niet als verdieping tellen. De zolder moet u wel meetellen

-----|-----
-- Verdiepingen

- 27B Geef aan op welke verdieping in uw woning, de woonkamer ligt
- ☐ Op de begane grond
 - ☐ Op de eerste verdieping
 - ☐ Op de tweede verdieping
 - ☐ Op de derde verdieping

- ☐ Op de vierde verdieping
- ☐ Hoger dan de vierde verdieping

27c Op welke verdieping van uw woning ligt, ligt **uw slaapkamer**?

- ☐ Op de begane grond
- ☐ Op de eerste verdieping
- ☐ Op de tweede verdieping
- ☐ Op de derde verdieping
- ☐ Op de vierde verdieping
- ☐ Hoger dan de vierde verdieping

28 Hoeveel kamers heeft u woning?
Daarbij tellen de woon-, slaap-, en studeer- of werkkamers mee.

-----|----- Kamers

29 Heeft u een kelder?

- ☐ Ja
- ☐ Nee

30A Van welke **constructie** zijn de vloeren in uw woonkamer?
Het gaat om het materiaal onder het parket, laminaat, plavuizen, zeil of vloerkleed

- ☐ Betonnen vloer
- ☐ Houten balken (met bijvoorbeeld houten platen of planken erop)
- ☐ Anders, namelijk...
- ☐ Weet ik niet

30B Van welke constructie zijn de vloeren in uw slaapkamer?
Het gaat om het materiaal onder het parket, laminaat, plavuizen, zeil of vloerkleed

- ☐ Betonnen vloer
- ☐ Houten balken (met bijvoorbeeld houten platen of planken erop)
- ☐ Anders, namelijk...
- ☐ Weet ik niet

31	Verschillende voorzieningen kunnen worden toegepast om een woning te isoleren tegen geluiden van buiten of om energie te besparen. Kunt u voor elke soort isolatievoorziening hieronder aangeven of deze in uw woning is aangebracht?			
	<i>Per regel één antwoord aankruisen</i>	JA	NEE	WEET NIET
A	Ramen met HR (+, ++, +++) glas of triple glas in de woonkamer	☐	☐	☐
B	Ramen met HR (+, ++, +++) glas of triple glas in de slaapkamer	☐	☐	☐
C	Spouwmuurisolatie	☐	☐	☐
D	Geluidsdempende ventilatieroosters (of suskasten)	☐	☐	☐
E	Anders, namelijk...	☐	☐	☐

32	Verschillende maatregelen kunnen worden toegepast om een woning te isoleren tegen trillingen van verschillende bronnen. Kunt u hieronder aangeven of deze in uw woning zijn aangebracht?			
	<i>Per regel één antwoord aankruisen</i>	JA	NEE	WEET NIET
A	Verstijven van de vloeren	☐	☐	☐
B	Bevestigen van een zogenoemd veer en dempingapparaat	☐	☐	☐
C	Anders, namelijk...	☐	☐	☐
➔ Indien u overal "NEE" heeft ingevuld, ga naar vraag 34				

- 33 Hoe tevreden bent u met het effect van deze maatregelen?
- ☐ Zeer tevreden
 - ☐ Tevreden
 - ☐ Niet tevreden, maar ook niet ontevreden
 - ☐ Ontevreden
 - ☐ Zeer ontevreden

34	Wanneer u in de slaapkamer bent, heeft u de ramen dan meestal open of dicht? Voor ramen op een kiertje, kiest u het antwoord "open"		
	<i>Per regel één antwoord aankruisen</i>	OPEN	GESLOTEN
A	Zomer	☐	☐
B	Winter	☐	☐

VI. Welzijn

Hieronder volgt een aantal vragen over uw welzijn.

35	Nu volgt een aantal stellingen die betrekking hebben op geluid . Wilt u op elke regel het antwoord kruisen, dat het meest overeenkomt met uw mening.						
	Helemaal mee eens						
	Helemaal mee eens						
	<i>Per regel één antwoord</i>	1	2	3	4	5	6
A	Ik word snel wakker door geluid	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Ik raak zonder al te veel moeilijkheden aan de meeste geluiden gewend	☐	☐	☐	☐	☐	☐
C	Ik vind het moeilijk om te ontspannen op een plaats waar het lawaaiig is	☐	☐	☐	☐	☐	☐
D	Het maakt me niet uit wat er om mij heen gebeurt, ik kan me altijd goed concentreren	☐	☐	☐	☐	☐	☐
E	Ik word boos op mensen die geluid maken waardoor ik niet kan slapen of werken	☐	☐	☐	☐	☐	☐
F	Ik ben gevoelig voor geluid	☐	☐	☐	☐	☐	☐

36	Geef voor de onderstaande onderwerpen aan hoe deze voor u veranderd zijn door de coronacrisis?		
<i>Per regel één antwoord</i>		Beter	niet veranderd
A	Geluidsituatie	☐	☐
B	Situatie trilling	☐	☐

Blok VII. Uzelf en uw huishouden

Ten slotte willen we nog graag een aantal vragen stellen over uzelf

37.	Sinds welk jaar woont u op dit adres?	-----	Jaar
-----	---------------------------------------	-------	------

38A Uit hoeveel personen bestaat het huishouden waar toe u behoort, uzelf meegerekend? -----|-----
-- Personen

- 38B Met welke personen woont u momenteel samen?
Er zijn meerdere antwoorden mogelijk
- ☐ Met partner/echtgenote
 - ☐ Met kind(eren) jonger dan 18 jaar
 - ☐ Met kind(eren) van 18 jaar en ouder
 - ☐ Met mijn ouder(s)
 - ☐ Met een andere volwassene/andere volwassenen
 - ☐ Ik woon niet samen, maar heb wel een duurzame relatie
 - ☐ Ik woon alleen

39 Wat is uw geslacht?
Vul het geslacht in dat in uw paspoort of op uw identiteitskaart staat

- ☐ Man
- ☐ Vrouw
- ☐ X

40 Wat is uw geboortjaar? _____

- 41 Wat is uw **hoogst voltooide opleiding**?
(een opleiding afgerond met diploma of getuigschrift)
- ☐ Geen opleiding (*lager onderwijs niet afgemaakt*)
 - ☐ Lager onderwijs (*basisonderwijs, special basisonderwijs*)
 - ☐ Lager of voorbereidend beroepsonderwijs (*zoals ambachts- of*

- huishoudschool, lts, leao, lhno, vmbo-b/k speciaal- of praktijkonderwijs)*
- ☐ Middelbaar algemeen voortgezet onderwijs (*zoals (m)ulo, mavo, vmbo-g/t, mbo-kort, mbo-1*)
 - ☐ Middelbaar beroepsonderwijs (*zoals vakopleidingen bakker of kapper, mbo-lang, mts, meao, bol, bbl, mbo-2, mbo-3, mbo-4*)
 - ☐ Hoger algemeen en voorbereidend wetenschappelijk onderwijs (*zoals hbs, mms, havo, vwo, Atheneum, Gymnasium*)
 - ☐ Hoger beroepsonderwijs (*zoals kweekschool, hbo, hts, heao, hbo-v, kandidaats of bachelor wetenschappelijk onderwijs*)
 - ☐ Wetenschappelijk onderwijs (doctoraal of master, postdoctoraal, hbo-master)
- 42 Welke situatie is op u van toepassing?
Er zijn meerdere antwoorden mogelijk
- ☐ Ik heb betaald werk, 1-11 uur per week
 - ☐ Ik heb betaald werk, 12-19 uur per week
 - ☐ Ik heb betaald werk, 20-31 uur per week
 - ☐ Ik heb betaald werk, 32 uur of meer per week
 - ☐ Ik ben met pensioen (AOW, prepensioen)
 - ☐ Ik ben werkloos/werkzoekend (geregistreerd bij het UWV WERK bedrijf)
 - ☐ Ik ben arbeidsongeschikt (WAO, WAZ, WIA, Wajong)
 - ☐ Ik heb een bijstandsuitkering
 - ☐ Ik ben huisvrouw/huisman
 - ☐ Ik volg onderwijs/ik studeer

Blok VIII. Afsluiting

Mogelijk hebben we ten behoeve van ons onderzoek nog aanvullende informatie nodig. Ook willen we in de toekomst vervolgonderzoek doen. Mogen wij u hiervoor in de toekomst benaderen? De antwoorden die u nu geeft, leiden niet tot enige verplichting. U kunt zonder opgave van reden op elk gewenst moment uw deelname aan het onderzoek beëindigen.

- 43 Mogen we contact met u opnemen als we merken dat
- ☐ Ja, u mag mij benaderen, maar ik verplicht mij tot niets
 - ☐ Nee

we meer informatie nodig hebben?

- 44 Mogen we contact met u opnemen voor een vervolgonderzoek?
- ☐ Ja, u mag mij benaderen, maar ik verplicht mij tot niets
- ☐ Nee → **Ga dan naar vraag 47**

Indien u bij vraag 43 en/of 44 'ja' heeft geantwoord, bewaren wij uw adresgegevens. Als u hieronder uw naam invult, dan kunnen wij u de volgende keer persoonlijk aanschrijven.

45 Achternaam _____
en
voorletters

Indien uw adresgegevens afwijken van die op de envelop waarin deze vragenlijst is verstuurd, of als u op korte termijn gaat verhuizen, graag dan ook hier uw juiste adresgegevens invullen:

46A	In welke straat woont u?						
46B	Wat is uw huisnummer?						
46C	Toevoeging huisnummer						
46D	Postcode						
46E	Woonplaats						

47. Wilt u nog informatie kwijt die relevant is voor het onderzoek?

Hartelijk dank voor het invullen van deze vragenlijst.

Bijlage 4 Non-respons-vragenlijst

Wonen langs het spoor:
Onderzoek onder niet-deelnemers

- 1 Sinds wanneer woont u op dit _____ Jaar
adres?

2.	Hoe tevreden bent u met uw woonomgeving? Druk dit uit in een rapportcijfer van 1 t/m10, 1 = zeer ontevreden, 10 = zeer tevreden.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

3	Als u denkt aan de afgelopen 12 maanden, welk getal van 0 tot 10 geeft het beste aan in welke mate trillingen van onderstaande bronnen u hinderen, storen of ergeren wanneer u thuis bent? Als een bron niet waarneembaar is bij u thuis, vul dan alleen de linkerkolom (niet waarneembaar) in.											
		Ik ben helemaal niet (0) gehinderd Ik ben extreem (10) gehinderd										
	Niet waar Neem baar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Treinverkeer		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- 4 Wat is uw geslacht? ☐ Man
Vul het geslacht in dat in uw ☐ Vrouw
paspoort of op uw ☐ X
identiteitskaart staat
- 5 Wat is uw _____
geboortejaar?

- 6 Wat is uw **hoogst voltooide opleiding?**
(een opleiding afgerond met diploma of getuigschrift)
- ☐ Geen opleiding (*lager onderwijs niet afgemaakt*)
 - ☐ Lager onderwijs (*basisonderwijs, special basisonderwijs*)
 - ☐ Lager of voorbereidend beroepsonderwijs (*zoals ambachts- of huishoudschool, lts, leao, lhno, vmbo-b/k speciaal- of praktijkonderwijs*)
 - ☐ Middelbaar algemeen voortgezet onderwijs (*zoals (m)ulo, mavo, vmbo-g/t, mbo-kort, mbo-1*)
 - ☐ Middelbaar beroepsonderwijs (*zoals vakopleidingen bakker of kapper, mbo-lang, mts, meao, bol, bbl, mbo-2, mbo-3, mbo-4*)
 - ☐ Hoger algemeen en voorbereidend wetenschappelijk onderwijs (*zoals hbs, mms, havo, vwo, Atheneum, Gymnasium*)
 - ☐ Hoger beroepsonderwijs (*zoals kweekschool, hbo, hts, heao, hbo-v, kandidaats of bachelor wetenschappelijk onderwijs*)
 - ☐ Wetenschappelijk onderwijs (*doctoraal of master, postdoctoraal, hbo-master*)

7	Neutraal	Zeer negatief										
Per regel één antwoord		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Staat u positief, neutraal of negatief tegenover <u>het huidige beleid t.a.v. het treinverkeer langs het spoor waar u woont?</u>	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
B	Staat u positief, neutraal of negatief tegenover <u>de plannen voor een eventuele toename van het transport via het spoor in Nederland</u>	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

- 8 Wat was de reden om niet met het onderzoek mee te doen?
- ☐ Geen tijd
 - ☐ Geen belangstelling
 - ☐ Andere reden, namelijk.....

Bijlage 5 Bepaling weegfactoren

Steekproefontwerp

Uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG, referentiejaar 2019)²⁵ hebben we alle gebouwen met een woonfunctie geselecteerd die binnen 300 meter van een spoortracé liggen. Uitgezonderd zijn adressen die in de buurt liggen van spoorbruggen, tunnelbakken en grote stations met veel parallelle sporen. In totaal zijn 532.730 adressen geselecteerd die nog niet eerder hebben deelgenomen aan een onderzoek naar spoortrillingen. Aan deze selectie is een groep van 1.189 adressen toegevoegd die wel eerder hebben meegedaan. In totaal gaat het om 533.919 adressen. Door een wijziging bleken binnen deze tweede groep 9 adressen verder dan 300 meter van het spoor te liggen. De afstand voor deze adressen op 300 meter gezet.

Vervolgens zijn er zes strata gedefinieerd: drie afstandsklassen tot het spoor (0 - 49, 50 - 99 en 100 - 300 meter) en twee bouwjaarklassen (<1950 en 1950+). In de eerste groep van 532.730 adressen is binnen ieder stratum een vooraf bepaald aantal adressen willekeurig geselecteerd, met in totaal 16.000 adressen. Voor de tweede groep van 1.189 adressen zijn alle adressen geselecteerd. Het totaal aantal adressen en het aantal geïnccludeerde adressen in de steekproef is weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel B5.1 Aantal adressen in de populatie en aantal adressen in de steekproef per groep en stratum.

Groep	Stratum	Afstand (m)	Bouwjaar	Populatie	Steekproef
I	1	0 - 49	<1950	9.936	4.000
I	2	0 - 49	1950+	27.424	4.000
I	3	50 - 99	<1950	18.392	2.400
I	4	50 - 99	1950+	67.518	2.400
I	5	100 - 300	<1950	93.901	1.600
I	6	100 - 300	1950+	315.559	1.600
Subtotaal				532.730	16.000
II	1	0 - 49	<1950	378	378
II	2	0 - 49	1950+	342	342
II	3	50 - 99	<1950	168	168
II	4	50 - 99	1950+	156	156
II	5	100 - 300	<1950	76	76
II	6	100 - 300	1950+	69	69
Subtotaal				1.189	1.189
Totaal				533.919	17.189

Omdat de exacte huishoudgrootte per adres onbekend is, is aan ieder adres op basis van de zes-cijferige postcode de gemiddelde

²⁵ Op de website van het Kadaster is meer informatie te vinden over het BAG: <https://www.geobasisregistraties.nl/basisregistraties/adressen-en-gebouwen>

huishoudgrootte gekoppeld²⁶. Dit levert naar schatting 1.151.210 personen op die binnen 300 meter van een spoortracé wonen. Voor ieder geïnccludeerd adres is aan één willekeurig gekozen persoon van het huishouden gevraagd om deel te nemen aan het onderzoek. In potentie zijn dat dus 17.189 deelnemers.

Startgewichten

Het bovenstaande steekproefontwerp leidt ertoe dat het geheel aan geselecteerde adressen en deelnemers niet representatief is voor de populatie personen die binnen 300 meter van een spoor wonen. Zo zijn er bijvoorbeeld relatief meer adressen geselecteerd in de afstandscategorie 0 - 49 meter dan in de afstandscategorie 100 - 300 meter.

Om de steekproef representatief te maken voor de populatie, kunnen we aan iedere geïnccludeerde deelnemer in de steekproef een gewicht toekennen dat het aantal personen representeert in de populatie. Dit gewicht wordt berekend als 1 gedeeld door de kans dat een persoon geïnccludeerd wordt in de steekproef. Dit gewicht noemen we het startgewicht.

De steekproef is een tweetraps-gestratificeerde steekproef. Stap 1: de kans dat in een groep in een stratum een adres geïnccludeerd wordt, is het aantal adressen in die groep en dat stratum in de steekproef gedeeld door het aantal adressen in die groep en dat stratum in de populatie. Volgens het steekproefontwerp is voor ieder adres in groep II deze kans gelijk aan 1, want ieder adres in deze groep is namelijk geïnccludeerd in de steekproef. Stap 2: de kans dat in een groep in een stratum een persoon op een adres geïnccludeerd wordt is 1 gedeeld door het aantal personen woonachtig op dat adres. Aangezien de twee inclusiekansen onafhankelijk van elkaar zijn, mogen we ze met elkaar vermenigvuldigen om de totale inclusiekans van een persoon te verkrijgen.

Opmerking: omdat we op de adressen gebruik maken van de gemiddelde huishoudgrootte per zes-cijferige postcode in plaats van de exacte huishoudgrootte, zijn voor een aantal adressen de gemiddelde huishoudgroottes kleiner dan 1 of zelfs 0. Dit wordt veroorzaakt doordat niet alle woningen bewoond zijn. Het gevolg is dat de inclusiekans voor personen op deze adressen groter dan 1 of zelfs oneindig groot kan worden. Dit mag praktisch gezien niet mogelijk zijn. In plaats daarvan werken we daarom met het aantal personen per adres, gemiddeld over een groep en stratum.

Correctie ten gevolge van non-respons

Non-respons leidt tot een geringer aantal respondenten dan was gepland. In principe hoeft dat niet tot onjuiste uitkomsten te leiden, maar de betrouwbaarheidsmarges van de schattingen zullen groter zijn. De situatie is ernstiger wanneer de non-respons selectief is. Dit verschijnsel doet zich voor als, ten gevolge van non-respons, bepaalde

²⁶ De gemiddelde huishoudgrootte is bepaald door per postcode-6 gebied het aantal personen in het gebied te delen door het aantal adressen in het gebied. De gegevens over het aantal personen en aantal adressen per postcode-6 gebied zijn afkomstig van het Centraal Bureau voor de Statistiek (2023).

groepen onder- of oververtegenwoordigd zijn in het onderzoek. Gedraagt een ondervertegenwoordigde groep zich duidelijk anders met betrekking tot de uitkomst, dan leidt dit tot een vertekening in de uitkomsten. Anders gezegd: een schatting valt systematisch te hoog of te laag uit.

We kunnen corrigeren voor non-respons als de kans op respons samenhangt met een reeks bekende kenmerken van een bepaalde groep in de steekproef. Het correctiegewicht voor een persoon in de steekproef is dan 1 gedeeld door de kans op respons in de steekproef.

Typische verklarende variabelen voor non-respons zijn bijvoorbeeld leeftijd, geslacht en opleidingsniveau. Bij dit onderzoek zijn dergelijke kenmerken uitgevraagd en dus bekend voor de respondenten. Echter, bij de non-respondenten zijn deze kenmerken onbekend en daarom onbruikbaar. De enige mogelijke correctie voor non-respons in dit onderzoek is door gebruik te maken van de informatie uit de strata. Het is redelijk om aan te nemen dat de respons afhangt van de groep (nieuwe- of eerdere deelnemers), de afstand tot het spoor en het bouwjaar. Daardoor bereken we de kans op respons van een persoon in de steekproef als het aantal respondenten in een groep in een stratum gedeeld door het aantal geïncludeerde personen in die groep en dat stratum.

Eindgewichten

De eindgewichten worden berekend als het product van de inclusiegewichten en non-respons gewichten. Het eindgewicht geeft aan hoeveel personen iedere respondent representeert in de populatie. Een overzicht van de gewichten per groep en per stratum is weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel B5.2 Startgewichten, correctiegewichten en eindgewichten per groep en stratum.

Groep	Stratum	Afstand (m)	Bouwjaar	Startgewicht	Correctiegewicht	Eindgewicht
I	1	0 - 49	<1950	5,62	2,69	15,10
I	2	0 - 49	1950+	14,10	3,07	43,30
I	3	50 - 99	<1950	17,30	3,45	59,90
I	4	50 - 99	1950+	58,40	3,85	225,00
I	5	100 - 300	<1950	131,00	4,62	608,00
I	6	100 - 300	1950+	424,00	4,79	2029,00
II	1	0 - 49	<1950	2,15	1,37	2,94
II	2	0 - 49	1950+	2,10	1,38	2,90
II	3	50 - 99	<1950	2,15	1,62	3,47
II	4	50 - 99	1950+	2,19	1,56	3,42
II	5	100 - 300	<1950	2,34	1,55	3,64
II	6	100 - 300	1950+	2,28	1,57	3,58

Gezien de lagere correctiegewichten bij groep II lijkt de animo voor deelname onder de eerdere deelnemers groter dan bij de nieuw

gevraagde deelnemers. Ook zien we een effect van afstand tot het spoor op de respons: deelnemers die dichterbij het spoor wonen hebben een lager correctiegewicht en zijn dus eerder geneigd te responderen dan deelnemers die verder van het spoor wonen.

Bijlage 6 Untargeted Analysis

Inleiding

Uit Van Kamp en collega's [11] en de literatuur (zie ook hoofdstuk 2) zijn meerdere factoren en blootstellingenmaten bekend die de ervaren hinder en slaapverstoring door trillingen afkomstig van railverkeer bij mensen die rond het spoor wonen kunnen voorspellen. Behalve deze bekende voorspellers is het mogelijk dat er ook andere onbekende factoren voorspellend zijn of bijdragen aan hinder of slaapverstoring. Om potentiële onbekende voorspellers te identificeren, hebben we daarom ook een zogenaamde *untargeted analysis* (UA) uitgevoerd binnen het onderzoek met behulp van verschillende *machine learning*-technieken. Bij een UA worden er op voorhand geen strikte aannames gedaan over welke van de beschikbare variabelen invloed kunnen hebben op de uitkomstmaat. Binnen de analyse wordt tegelijkertijd naar een groot aantal variabelen gekeken en de sterkste voorspellers van de uitkomstmaat worden op een data-gedreven manier geïdentificeerd.

Methode

De gebruikte datasets voor de UA bevatten informatie afkomstig uit de vragenlijst en uit de modelering van de blootstelling aan trillingen (OURS) en geluid (RMG-II) door treinverkeer op het woonadres van elke deelnemer. Vanwege het grote aantal vragen in de vragenlijst is er wel een voorselectie geweest om alleen relevante vragen als voorspellers mee te nemen. Ook is er voor gekozen om per type uitkomstmaat (ernstige hinder of slaapverstoring door trillingen) alleen voorspellers te gebruiken die direct van toepassing zijn op de uitkomstmaat. Zo is er bijvoorbeeld bij de uitkomstmaat ernstige hinder geen gebruik gemaakt van variabelen die (een verwachte) impact hebben op slaapverstoring, zoals "L_{night} treinverkeer" of "Ernstige slaapverstoring t.o.v. geluid treinen". Per analyse is er in totaal naar ongeveer 70 unieke voorspellers gekeken.

Voor de UA hebben we gebruikgemaakt van twee verschillende methodes: *Least Absolute Shrinkage and Selections Operator* (LASSO) regressie en *Random Forest* (RF). In zowel de LASSO- als de RF-methode worden er voorspellende modellen aangemaakt, waaruit daarna de best voorspellende variabelen worden bepaald. Door de uitkomsten van deze twee methodes te combineren kan er een goede inschatting worden gemaakt welke variabelen de beste voorspellers van ernstige hinder of slaapverstoring door trillingen zijn.

Voor beide methodes is het van belang om de nauwkeurigheid van de modellen in te kunnen schatten. Omdat er gebruik wordt gemaakt van classificatie-modellen met een binaire uitkomstmaat (wel of geen hinder/slaapverstoring), hebben we hiervoor de *area under the curve* (AUC) van de *receiver operating characteristic curve* gebruikt. Een AUC-waarde heeft een range van 0,5 (volledige willekeurige voorspelling van de uitkomst) tot 1,0 (perfecte voorspelling van de uitkomst op basis van het model). Des te dichter de AUC bij de 1 zit, des te hoger is de nauwkeurigheid van het model.

LASSO

Bij de LASSO regressie methode wordt van een penalty-parameter λ gebruikt die wordt toegepast op alle (genormaliseerde) coëfficiënten binnen een regressiemodel die niet de waarde 0 hebben. Des te hoger de penalty λ , des te dichter de waarde van een coëfficiënt bij de 0 komt. Als λ hoog genoeg is, zal een coëfficiënt uiteindelijk een waarde van 0 krijgen en hierdoor geen informatie meer toevoegen aan het voorspellende model. Door vervolgens te kijken naar de nauwkeurigheid van het model, kan er een inschatting worden gemaakt hoeveel informatie een coëfficiënt van een variabele toevoegt aan het model. Daalt de nauwkeurigheid van het model niet in afwezigheid van de variabele, dan voegt deze variabele geen extra informatie toe aan het model. Door stapsgewijs de λ waarde te verhogen tot een waarde waarbij elke coëfficiënt de waarde 0 krijgt en bij elke stap de nauwkeurigheid te bepalen, krijg je inzicht in welke variabelen het meeste bijdragen aan de nauwkeurigheid van het model.

Het uiteindelijke beste model binnen de LASSO-regressieanalyse is het model met de hoogste λ -waarde waarvan de AUC-waarde niet meer dan 1 standaard fout lager ligt dan de maximale AUC-waarde van alle modellen in de analyse. Dit model heeft een nauwkeurigheid die niet lager is dan dat van het meest accurate regressiemodel maar bevat tegelijkertijd het laagst aantal mogelijke voorspellers. De variabelen die deel uitmaken van dit model kunnen gezien worden als de belangrijkste voorspellers van de uitkomstmaat.

De LASSO-analyse is uitgevoerd met de R-package *glmnet* [124]. In totaal zijn er per analyse 100 verschillende regressiemodellen aangemaakt met een λ -waarde tussen de 0,001 en 100. De AUC van elk model is geschat door vijfvoudige kruisvalidatie.

Random Forest

Random Forest (RF) is een voorspellend *machine learning*-algoritme dat gebruikt kan worden voor classificatie taken [125]. Het algoritme maakt op basis van alle beschikbare voorspellers in een dataset een groot aantal beslissingsbomen aan om een uitkomstmaat te voorspellen. Elke beslissingsboom is gebaseerd op een ander, willekeurig deel van de data. De voorspellingen van al deze individuele beslissingsbomen worden gecombineerd (*ensemble learning*) om tot de uiteindelijke voorspelling te komen. Door middel van kruisvalidatie technieken en door te kijken naar de AUC-waarden kan de nauwkeurigheid van het RF-model ingeschat worden. Hierbij wordt eerst een model gebouwd op basis van een gedeelte van de data (de trainingsdata), waarna vervolgens wordt gekeken hoe goed het model de uitkomstmaat kan voorspellen in de overige, voor het model onbekende, data (de testdata). De standaardfout en de AUC-waarde van het RF geven vervolgens aan hoe goed het model de uitkomstmaat voorspelt. Door deze procedure meerdere malen te herhalen met steeds andere combinaties van trainings- en testdatasets, krijg je een nauwkeuriger beeld van de precisie van het model.

Om inzicht te krijgen welke individuele voorspellers het meeste bijdragen aan de nauwkeurigheid van het RF-model kan een

zogenaamde *variable importance* (VI) procedure worden toegepast [125]. Tijdens deze procedure wordt stapsgewijs telkens 1 voorspeller in de dataset gerandomiseerd, waardoor deze geen informatie meer toevoegt aan het model. Vervolgens wordt er met deze dataset een nieuw RF-model aangemaakt. Door het verschil te bepalen tussen de nauwkeurigheid van dit nieuwe RF-model en de nauwkeurigheid van het originele RF-model, kan je de relatieve belangrijkheid van de voorspeller inschatten. Door de VI-procedure op alle voorspellers in de dataset toe te passen is het mogelijk om een rangorde te maken van de voorspellers op basis van de belangrijkheid binnen het model. Voor een betere precisie van de VI-rangorde kan de procedure meerdere malen herhaald worden. De mediane VI-waarde wordt dan gebruikt voor de uiteindelijke rangorde.

De RF-analyse en VI-procedure hebben we uitgevoerd met behulp van de R-packages *caret*, *random forest* en *iml* [125-128]. De nauwkeurigheid van elk RF-model is geschat door vijfvoudige kruisvalidatie en de VI-procedure is per model acht keer herhaald.

Individuele effecten van voorspellers binnen Random Forest

Om inzicht te krijgen in de richting en bijdrage van individuele voorspellers binnen het RF-model, hebben we gebruikgemaakt van zogenaamde "*accumulated local effect*" (ALE) plots. Deze methode schat de conditionele bijdrage van de variabele in het model voor verschillende waarden van deze variabele. Een positieve ALE-waarde staat voor een verhoogde kans op de uitkomstmaat, en een negatieve waarde voor een lagere kans [125]. Hoe verder de ALE-waarde van 0 is, des te sterker is het effect. Bij een ALE-waarde van 0 is de voorspelling van de uitkomst voor een specifieke waarde van de variabele gelijk aan de gemiddelde voorspelling van het RF-model.

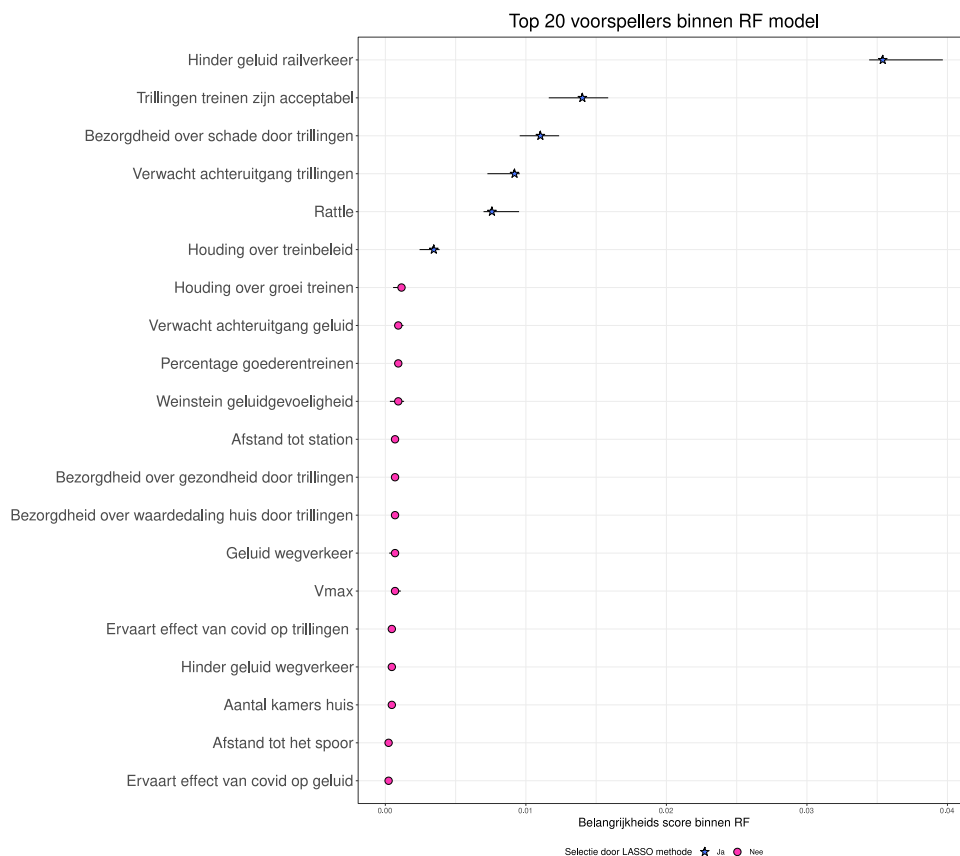
Voordelen van deze methode zijn dat er non-lineaire verbanden kunnen worden aangetoond en het minder gevoelig is voor gecorreleerde variabelen. Nadelen zijn dat de uitkomsten niet direct te kwantificeren zijn (bijvoorbeeld naar het percentage gehinderden bij een specifieke waarde) en er relatief veel observaties nodig zijn om een duidelijk beeld van de richting van het effect te krijgen. Binnen de UA zijn de ALE-plots gebruikt om de effecten van de voorspellers "Afstand tot het spoor", " $V_{\max}$ ", " L_{den} " of " L_{night} " en "ratio goederentreinen" binnen de RF voor hinder en slaapverstoring door trillingen ten gevolge van treinverkeer duidelijk te maken. Hiervoor is gebruik gemaakt van een RF-model waarin alleen deze vier voorspellers zijn meegenomen. De ALE-plots zijn gemaakt met behulp van de R-package *iml* [128].

Resultaten

Ernstige hinder

Er is een UA uitgevoerd voor ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door trillingen van railverkeer. Binnen elke analyse hebben we zowel gekeken naar alle mogelijke voorspellers van hinder of slaapverstoring als naar een subgroep van blootstelling-gerelateerde voorspellers. De belangrijkste resultaten bespreken we hieronder. De resultaten van de UA voor ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door trillingen ten gevolge van treinverkeer zijn ook weergegeven in figuren B6.1 en B6.2.

Uit de LASSO kwamen zes verschillende variabelen naar voren als de belangrijkste voorspellers van ernstige hinder: "Hinder geluid railverkeer"; "Trillingen zijn acceptabel"; "Bezorgdheid over schade door trillingen"; "Verwacht achteruitgang van trillingen"; "Rattle" en "Houding over treinbeleid". Deze zes variabelen waren ook de top-6 belangrijkste variabelen binnen de RF-analyse (zie ook figuur B6.1). Het aandeel goederentreinen op het totale railverkeer is de belangrijkste blootstellings-variabele, zowel in de volledige (9^e plaats in ranking) als in de blootstelling-specifieke UA. Ook scoren de blootstellingsmaten $V_{\max}$ (15^e plaats) en afstand tot het spoor (19^e plaats) redelijk goed in de RF, maar wel aanzienlijk minder dan de geluidshinder- en verwachtings-variabelen. Binnen de blootstelling-specifieke UA scoren de variabelen aandeel goederentreinen op het totale railverkeer en het geluidsniveau van railverkeer (L_{den}) het hoogst, gevolgd door afstand tot het spoor, V_{per} en $V_{\max}$.



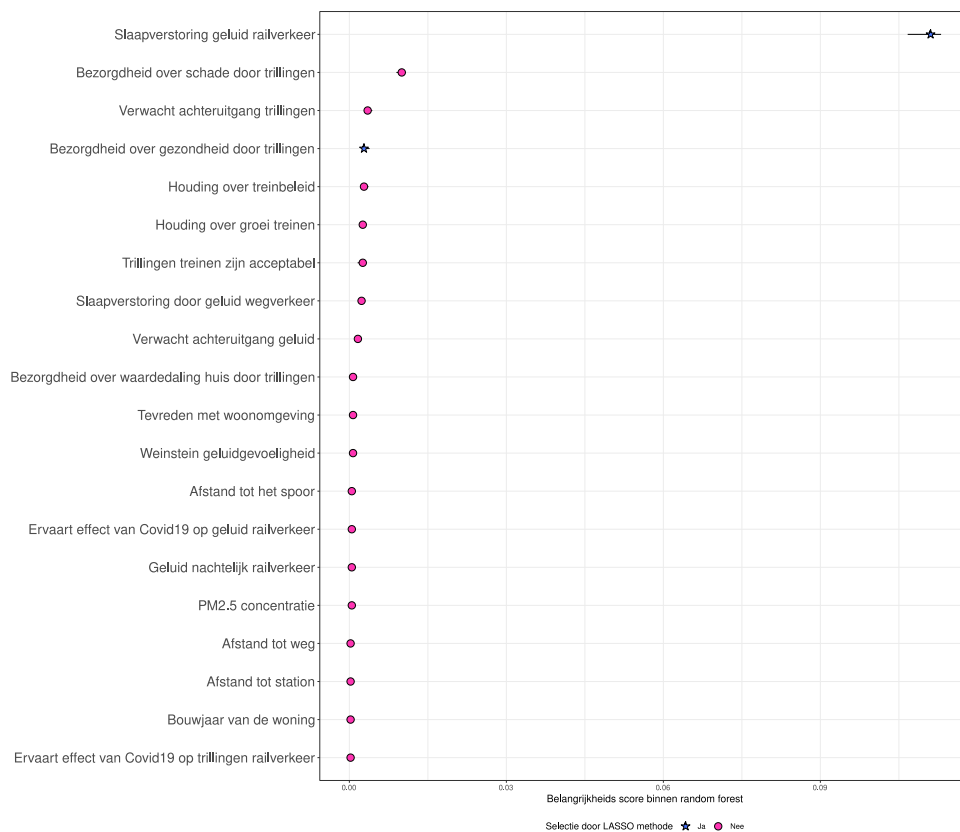
Figuur B6.1 De top-20 voorspellers van ernstige hinder door trillingen van treinverkeer binnen het Random Forest-model gebaseerd op een dataset van 4.300 observaties en 70 verschillende variabelen. Voorspellers die door de LASSO analyse geselecteerd zijn als beste voorspellers ($n = 6$) binnen de dataset zijn aangegeven met een ster.

Ernstige slaapverstoring

Ernstige slaapverstoring door geluid van railverkeer en bezorgdheid over schade/gezondheid door trillingen zijn de belangrijkste voorspellers van ernstig slaapverstoring door trillingen ten gevolge van treinverkeer in de UA. Op basis van de hoge belangrijkheidsscore van de voorspeller

ernstige slaapverstoring door geluid van railverkeer is op te maken dat er een zeer sterke relatie is tussen deze voorspeller en slaapverstoring door trillingen. Ook is deze variabele verantwoordelijk voor bijna alle nauwkeurigheid van de LASSO- en RF-modellen binnen de UA-analyse.

Er komt niet een heel duidelijke belangrijkste blootstellingsvariabele naar boven in de UA. De nachtelijk geluidsblootstelling L_{night} en afstand tot het spoor komen terug in top-20 variabelen van de RF, maar op basis van de belangrijkheidsscore is er geen echt verschil tussen deze variabelen. Binnen de UA met alleen maar rail-specifieke blootstellingen is het aandeel goedertreinen binnen het nachtelijke railverkeer de belangrijkste voorspeller, gevolgd door het nachtelijke geluid van railverkeer (L_{night}) en afstand tot het spoor.



Figuur B6.2. De top-20 voorspellers van ernstige slaapverstoring door trillingen van treinverkeer binnen het Random Forest-model gebaseerd op een dataset van 4.295 observaties en 70 verschillende variabelen. Voorspellers die door de LASSO-analyse geselecteerd zijn als beste voorspellers ($n = 2$) binnen de dataset zijn aangegeven met een ster.

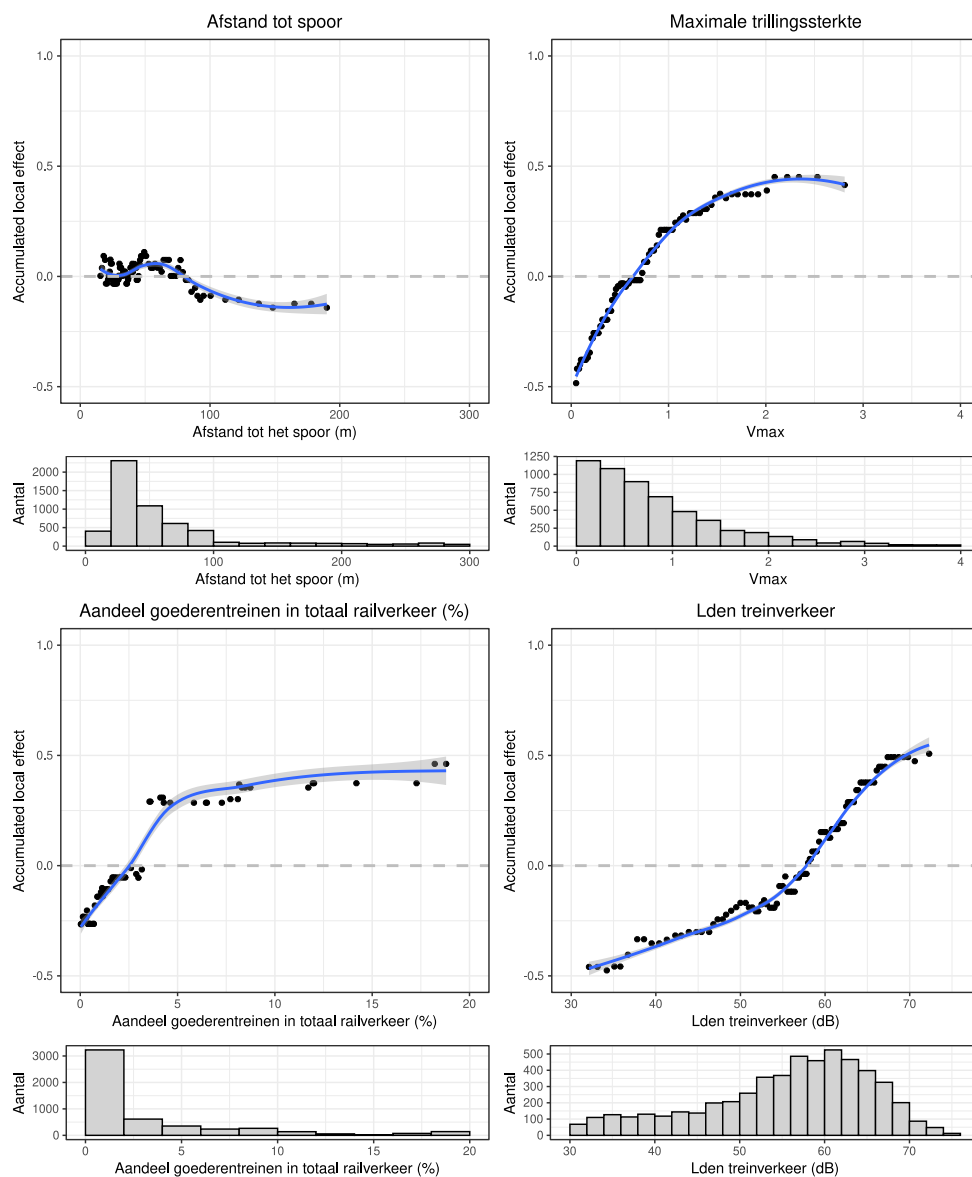
Verkenning richtingseffecten

Voor de verkenning van de richtingseffecten hebben we nieuwe RF-modellen voor ernstige hinder en slaapverstoring gemaakt met vier voorspellers: afstand tot het spoor, V_{max} , het percentage goederentreinen op het totale railverkeer en de geluidsblootstelling (L_{den} voor ernstige hinder en L_{night} voor ernstige slaapverstoring). Vervolgens is voor elke voorspeller het ALE bepaald voor verschillende waarden van

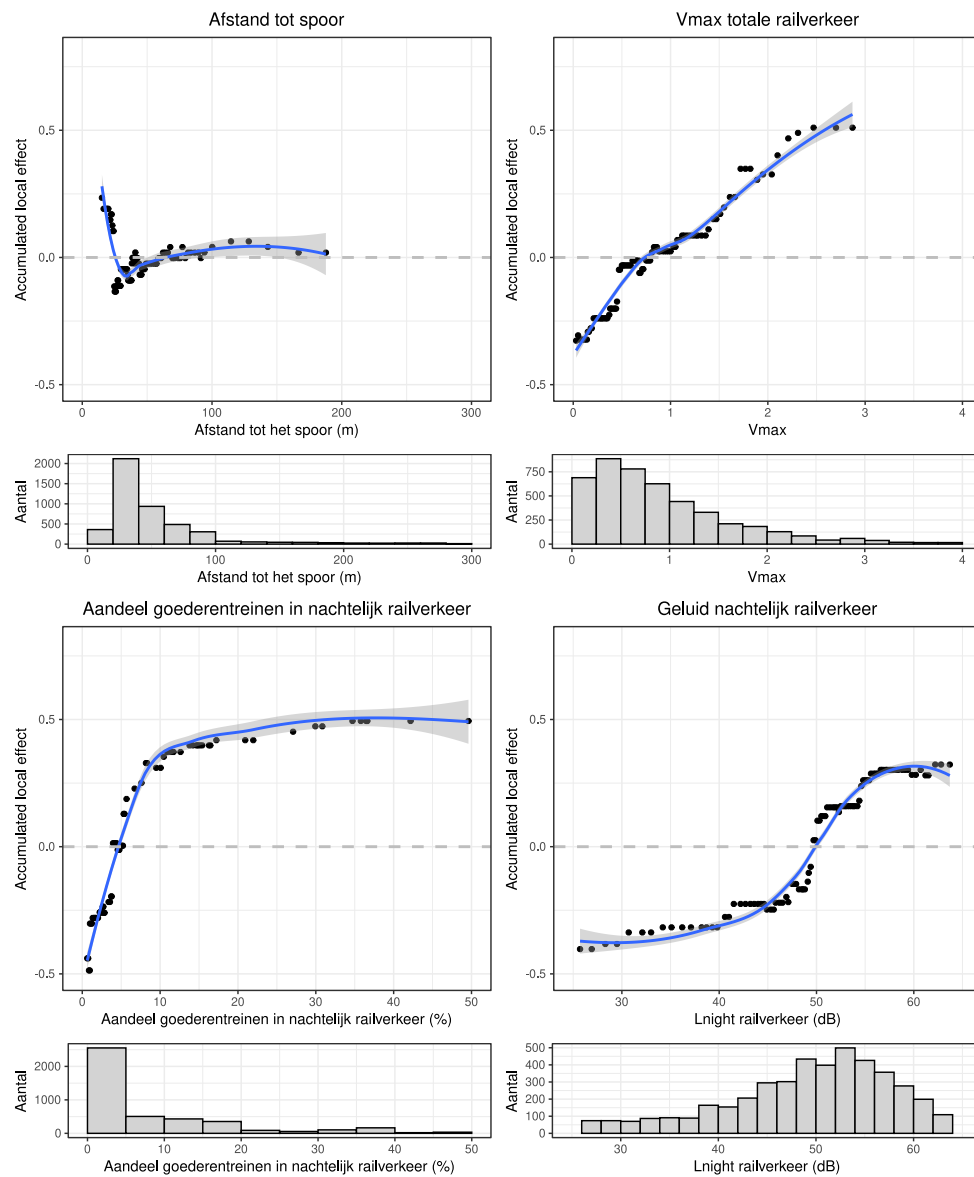
de voorspeller. De resultaten zijn weergegeven in figuren B6.3 en B6.4. Hierbij is ook telkens een histogram weergegeven van de blootstelling. Omdat voorspellingen van het ALE minder betrouwbaar zijn wanneer er weinig observaties beschikbaar zijn, zijn alleen de waarden weergegeven die binnen het 5^e en 95^e percentiel van de totale blootstellingen vallen.

Binnen het RF-model voor ernstige hinder veroorzaakt door trillingen ten gevolge van treinverkeer geeft de ALE-plot van afstand tot het spoor een opvallend patroon weer. Personen binnen 50 meter hebben minder kans op ernstige hinder maar de kans neemt juist toe bij personen die tussen de 50 en 80 meter van het spoor wonen. Na 80 meter neemt de kans weer geleidelijk af. Dit patroon is non-lineair en wijkt af van de BR-relaties die we observeren in de rapportage. Dit kan verklaard worden doordat in de RF-methode geen weging wordt toegepast, er meerdere voorspellers zijn opgenomen in het RF-model en door de methodische verschillen tussen RF en logistische regressie. Het ALE voor $V_{\max}$ geeft aan dat de kans op ernstige hinder stijgt wanneer de maximale trillingssterkte toeneemt. De relatie is non-lineair; tussen $V_{\max}$ waarden van 0 en 1 neemt het effect geleidelijk toe maar begint vlakt daarna af. Verder neemt de hinder ook toe wanneer het percentage goederentreinen in het totale railverkeer stijgt: hoe meer goederentreinen, des te meer kans op hinder. Ook dit effect lijkt non-lineair te zijn. Bij de indicator L_{den} neemt de kans op hinder toe bij stijgende geluidsniveaus. De relatie tussen geluid en hinder is non-lineair, met name bij geluidsniveaus hoger dan 55 dB neemt het ALE van L_{den} sterk toe.

Bij het RF-model voor ernstige slaapverstoring veroorzaakt door trillingen ten gevolge van het totale railverkeer geeft de ALE-plot van afstand tot het spoor weer dat personen binnen 25 meter een verhoogde kans hebben op slaapverstoring. Daarna neemt de kans sterk af maar opvallend genoeg lijkt er tussen de 25-50 meter minder slaapverstoring te zijn dan bij de mensen die verder weg wonen. Net als bij ernstige hinder is dit een ander patroon dan bij de BR-relatie. Voor de $V_{\max}$ is er een redelijk lineair verband tussen maximale geluidsblootstelling en ernstige slaapverstoring, waarbij de slaapverstoring toeneemt wanneer de $V_{\max}$ waarde stijgt. Verder is er een grotere kans op ernstige slaapverstoring wanneer het percentage goederentreinen toeneemt. Tot slot stijgt de kans op slaapverstoring bij toenemende nachtelijke geluidsniveaus van railverkeer. Wel begint dit effect pas echt vanaf 40 dB en vlakt het effect rond de 55 dB ook af. Tussen deze geluidsniveaus lijkt er wel sprake te zijn van een lineaire stijging.



Figuur B6.3 De accumulated local effect plots van de effecten van de voorspellers "Afstand tot het spoor", "Maximale trillingssterkte V_{max} ", "Percentage goederentreinen in totale railverkeer" en "Lden railverkeer" in een RF-model ($n = 5.558$) voor slaapverstoring met alleen maar blootstellingen. De histogrammen van de voorspellers worden ook getoond. Alleen de waarden binnen het 5^e en 95^e percentiel van de data worden gepresenteerd.



Figuur B6.4 De accumulated local effect plots van de effecten van de voorspellers "Afstand tot het spoor", "Maximale trillingssterkte V_{max} ", "Fractie goederentreinen in de nacht" en " L_{night} treinverkeer" in het RF-model voor slaapverstoring met alleen maar blootstelling. De histogrammen van de voorspellers worden ook getoond. Alleen de waarden binnen het 5^e en 95^e percentiel van de data worden gepresenteerd.

Discussie

Hieronder volgt een korte discussie specifiek over uitkomsten van de UA. Een bredere discussie over de algemene uitkomsten studie staat in Hoofdstuk 9.

De UA-methode wordt toegepast om zonder aannames inzicht te krijgen in de vraag welke factoren goede voorspellers zijn van de uitkomstmaat, in dit geval ernstige hinder en slaapverstoring. Een duidelijk verschil tussen de UA uitgevoerd op hinderuitkomsten en slaapverstoringsuitkomsten is dat er bij hinder meerdere variabelen als duidelijke voorspellers uit de analyse kwamen maar het bij slaapverstoring veel meer beperkt was tot de variabele "slaapverstoring door geluid railverkeer". De LASSO- en RF-modellen die slaapverstoring voorspellen, zijn bijna volledig afhankelijk van deze slaapverstoringsvariabele om voorspellingen te doen. Dit suggereert dat het ervaren van hinder door trillingen van meerdere soorten factoren afhangt en het ervaren van slaapverstoring door trillingen voornamelijk van slaapverstoring door geluid.

Bij elke soort hinder of slaapverstoring door trillingen is er een sterke relatie met hinder of slaapverstoring door het geluid van treinverkeer (zie hoofdstuk 8). Er is een positieve correlatie tussen geluid en de verschillende typen trilling-blootstellingen ($r \sim 0,6 - 0,7$) en een negatieve correlatie tussen geluid en afstand tot het spoor ($r \sim -0,5$) in de datasets (zie hoofdstuk 6). Hoe groot de invloed is van deze correlaties is lastig vast te stellen met de beschikbare datasets. Wel geven de ALE-plots van L_{den} en L_{night} een sterk effect weer op de kans op hinder in een model waarin ook afstand tot het spoor en V_{max} zijn opgenomen. Alles samen geeft dit aan dat geluid en hinder door geluid een factor is om rekening mee te houden binnen onderzoek naar hinder door trillingen.

Een verdere verkenning van de UA valt buiten de doelstellingen van dit onderzoek. Wel hebben we er de intentie om de UA verder uit te werken en de resultaten op te nemen in een wetenschappelijk artikel. In de toekomst kunnen de UA- en ALE-methodes worden toegepast om meer inzicht te creëren in de richting van de effecten en interacties tussen geluids-, en trillingsblootstellingen en afstand die bijdragen aan ervaren hinder of slaap.

Conclusie

Op basis van de uitkomsten van de UA hebben we besloten om naast de vragen uit de survey die betrekking hebben op houding en verwachtingen rondom het railverkeer, ook de variabele "Hinder door geluid railverkeer" te gebruiken in de logistische regressie-analyse (zie hoofdstuk 8). Daarnaast suggereert de UA sterk dat er sprake is van non-lineaire relatie tussen trillingsmaten en ernstige hinder en slaapverstoring, wat aansluit op de resultaten van andere onderdelen van de studie (zie hoofdstuk 7).

Bijlage 7 Codering van de variabelen in de analyses

In deze bijlage beschrijven we op welke manier de variabelen zijn gedefinieerd die zijn meegenomen in de hoofdanalyses in hoofdstukken 5, 7 en 8.

Bezorgdheid over trillingen van treinen (VR20)

Bezorgdheid over een aantal aspecten van treinverkeer is gemeten met behulp van een vraag met een schaal met 11 antwoord categorieën (0-10), waarbij naar de bezorgdheid werd gevraagd met betrekking tot: a) waardedaling van de woning, b) bezorgdheid over de gezondheid, en c) schade aan de woning. De antwoorden op de drie items zijn per vraag geschoond. Deelnemers die 8, 9 of 10 hebben ingevuld worden ten behoeve van de analyse aangeduid als 'ernstig bezorgd'. De deelnemers die 0,1,2,3,4,5,6 of 7 hebben ingevuld worden aangeduid als "niet ernstig bezorgd".

Geslacht (VR41)

We maken onderscheid tussen de volgende groepen, namelijk man, vrouw en X. Onder X vallen alle andere geslachten die niet onder man of vrouw vallen.

Hinder in verband met trilling of geluid (VR05B, VR13B, VR09A, VR09B, VR09C, VR15A, VR15B en VR15C)

Hinder door geluid is gemeten door middel van een gestandaardiseerde vraag die is vastgesteld in de ISO-norm: ISO/TS/15666,2003. Hinder door trillingen is gemeten met behulp van de aangepaste versie van deze ISO-vraag [129].

In beide gevallen gaat het om een vraag met een schaal met 11 antwoord categorieën (van 0-10). Om op een gestandaardiseerde wijze percentages gehinderden te bepalen, worden aan de uitersten van de schaal waarop de hinder gemeten is de waarden 0 respectievelijk 100 toegekend. Internationaal is de conventie gegroeid om het percentage respondenten voor wie de hinder op deze schaal boven de 72 uitkomt het percentage "highly annoyed" te noemen [130] of "ernstig gehinderd" in het Nederlands. Ten behoeve van het schatten van de prevalentie van ernstige hinder is het percentage ernstige hinder bepaald uit de scores van de individuele deelnemers. De score van een deelnemer wordt als volgt bepaald: de cutoff-score 72 ligt in de achtste antwoordcategorie. Alle deelnemers met de antwoorden 0,1,2,3,4,5 en 6 krijgen de score 0, deelnemers met de antwoorden 8,9 of 10 krijgen de score 100. De deelnemers die met een 7 hebben geantwoord krijgen de score 8. Deelnemers die hebben geantwoord dat ze de bron niet hebben waargenomen, worden als helemaal niet gehinderd beschouwd (score 0). Omdat in een logistische regressie-analyse de te bestuderen uitkomst binair was (0/1), zijn alleen deelnemers die 8, 9 of 10 hebben ingevuld gecategoriseerd als ernstig gehinderd.

Acceptatie trillingen van treinen (VR24)

Acceptatie van trillingen is gemeten met behulp van een vraag met vijf verbale antwoord categorieën. Aan de hand van het antwoord op de vraag is gedefinieerd of iemand de trillingen van de treinen (zeer) acceptabel vond (antwoordcategorie zeer acceptabel of acceptabel ingevuld) of niet (antwoord categorie Noch acceptabel, noch onacceptabel, Onacceptabel of Zeer onacceptabel ingevuld).

Houding ten opzichte van huidige beleid treinen (VR21A)

De houding ten opzichte van het huidige beleid is gemeten met behulp van een vraag met een schaal van 0 tot 10 (0= zeer positief en 10= zeer negatief). Aan de hand van het antwoord op deze vraag is gedefinieerd of iemand een "negatieve attitude t.o.v. huidige beleid" had (antwoord 8, 9 of 10) of niet (antwoord 0,1,2,3,4,5,6, of 7).

Houding ten opzichte groei van transport via het spoor (VR21B)

De houding t.o.v. de groei van transport via spoor is gemeten met behulp van een vraag met een schaal van 0 tot 10 (0= zeer positief en 10= zeer negatief). Aan de hand van het antwoord op deze vraag is gedefinieerd of iemand een "negatieve attitude t.o.v. groei" had (antwoord 8, 9 of 10) of niet (antwoord 0,1,2,3,4,5,6, of 7).

Leeftijd (VR42)

Leeftijd was onderverdeeld in drie verschillende groepen:
 Categorie 1: deelnemers met een leeftijd tussen 15 en 44 jaar;
 Categorie 2: deelnemers met een leeftijd tussen 44 en 64 jaar;
 Categorie 3: deelnemers met een leeftijd boven 64 jaar.

Ligging slaapkamer (VR27C):

Er is gemeten op welke verdieping de slaapkamer van de deelnemers zich bevindt. Ten behoeve van de analyse hebben we de antwoorden verdeeld in twee categorieën gemaakt, namelijk
 Categorie 1 = Begane grond t/m tweede verdieping;
 Categorie 2= Derde verdieping en hoger

Opleidingsniveau (VR41)

Opleidingsniveau was onderverdeeld in vier verschillende categorieën:
 Categorie 1: deelnemers met geen of lager onderwijs;
 Categorie 2: deelnemers met een mavo/lbo opleidingsniveau;
 Categorie 3: deelnemers met een havo/vwo/mbo opleidingsniveau;
 Categorie 4: deelnemers met een hbo/wo opleidingsniveau

Bij sommige analyses/weergaven (ten behoeve van tabellen 4.6, 4.9 en 4.10) hebben we categorie 1 en categorie 2 samengevoegd vanwege het lage aantal deelnemers.

Rattle (VR08A-C)

Onder "rattle" wordt het volgende verstaan: het horen, voelen of zien van trillende ramen, deuren en/of serviesgoed. Het is een variabele waarin we de antwoorden van drie verschillende vragen (VR08A, VR08B en VR08C) hebben gecombineerd. Er werd gevraagd wat er gebeurt als

respondent trillingen voelt, hoort of ziet die volgens respondent veroorzaakt zijn door treinverkeer, spooronderhoud of enig andere activiteit op het spoor. Daarbij werd gevraagd naar het zien of horen trillen of rammelen van a) ramen, b) deuren of c) serviesgoed. Deelnemers konden als mogelijk antwoord geven: Ja=1, Nee=2 of Niet van Toepassing=3. Op basis van de antwoorden op deze vragen werden ten behoeve van de analyse twee groepen gemaakt:

Groep 1: Deelnemers die op tenminste een van de vragen ja hadden geantwoord.

Groep 2: Deelnemers die op alle drie de vragen nee of NvT hadden geantwoord

Slaapverstoring in verband met trilling of geluid (VR10B, VR14B, VR11A, VR11B, VR11C, VR16A, VR16B en VR16C)

Slaapverstoring wordt ook op een 11-puntsschaal (van 0-10) gemeten en wordt op dezelfde manier berekend als hinder. Respondenten die aangaven dat het geluid of de trillingen "Niet waarneembaar" waren, worden als helemaal niet in hun slaap gestoord beschouwd.

Stedelijkheid

De stedelijkheidsgraad is gebaseerd op de CBS-gegevens van Statline. De vijf stedelijkheidsklassen zijn gebaseerd op klassengrenzen van 2500, 1500, 1000 en 500 adressen per km². De volgende klassen worden onderscheiden:

- Zeer sterk stedelijk (omgevingsadressendichtheid van 2500 of meer);
- Sterk stedelijk (omgevingsadressendichtheid van 1500 tot 2500);
- Matig stedelijk (omgevingsadressendichtheid van 1000 tot 1500);
- Weinig stedelijk (omgevingsadressendichtheid van 500 tot 1000);
- Niet stedelijk (omgevingsadressendichtheid van minder dan 500).

Verwachting (VR04H)

De verwachtingen werden in kaart gebracht met vraag VR04 waarbij geïnformeerd werd of er een vooruitgang, achteruitgang of gelijkblijvende situatie was wat betreft de trillingen van treinen. Ten behoeve van de analyses zijn de deelnemers die hadden aangegeven dat ze verwachtten dat de situatie met betrekking tot trillingen van treinen gelijk bleef of vooruit zou gaan samengenomen.

Raamgedrag (VR34A en VR34B):

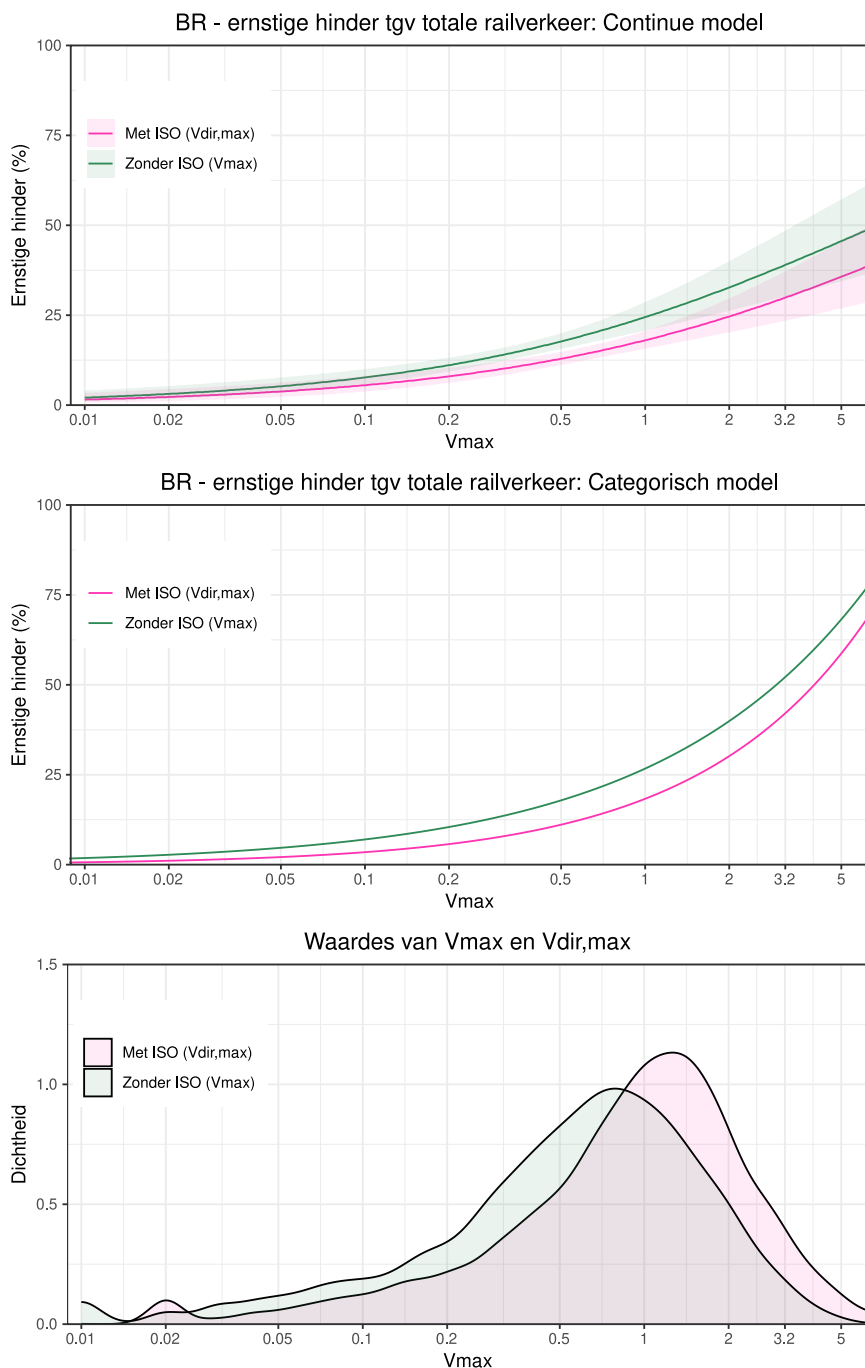
Er is geïnformeerd of de deelnemers wanneer ze in hun slaapkamer zijn de ramen open of gesloten hebben. Dit is nagevraagd voor zowel de zomer als de winter. Op basis van de antwoorden op beide vragen zijn drie groepen gemaakt:

1. Dicht (altijd) = ramen dicht in winter en zomer
2. Dicht (zomer of winter) = ramen dicht in zomer of winter
3. Open (zomer en winter) = ramen zomer en winter open

HR-glas aanwezig in slaapkamer (VR31B)

Er is geïnformeerd of er HR-glas aanwezig was in de slaapkamer.
Deelnemers konden als mogelijk antwoord geven: Ja=1, Nee=2 of Weet niet=3.

Bijlage 8 Vergelijking BR-relaties met en zonder ISO-weging



Figuur B8.1 De BR-relaties van V_{max} en $V_{dir,max}$ en ernstige hinder door trillingen afkomstig van het totale railverkeer geschat met een continu (boven) en een categorisch (middel) logistisch regressiemodel. Daarnaast is de blootstellingsverdeling van de V_{max} (zonder ISO-weging) en de $V_{dir,max}$ (met ISO-weging) binnen de dataset weergegeven met behulp van een dichtheidsplot (onder). Uit deze plot is op te maken dat de waarden van $V_{dir,max}$ hoger liggen dan de V_{max} waarden.

Bijlage 9 Formules van BR-relaties

In principe kunnen alle in dit onderzoek afgeleide BR-relaties worden gebruikt om een schatting te maken van de omvang van de ernstige hinder en slaapverstoring door trillingen van respectievelijk railverkeer, goederentreinen en reizigerstreinen. Daarbij verdient het echter de voorkeur om vooral gebruik te maken van BR-relaties waarbij (i) de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van afstand tot het spoor (m), of (ii) waarbij de blootstelling aan trillingen wordt uitgedrukt door middel van een maat waarbij geen ISO-2631-weging is toegepast. Gebleken is dat de relatie tussen de blootstelling aan trillingen van treinverkeer en ernstige hinder of slaapverstoring in de meeste gevallen niet lineair was. In die gevallen is het beter om gebruik te maken van de BR-relaties die zijn afgeleid door middel van de categorische modellen.

In deze bijlage hebben we daarom alleen de formules weergegeven van de BR-relaties tussen de blootstelling aan trillingen van respectievelijk railverkeer, goederentreinen en reizigerstreinen en ernstige hinder en ernstige slaapverstoring door trillingen van deze trein typen *zonder* ISO-weging. De getoonde formules geven altijd de BR-relatie gebaseerd op het model (continue of categorische blootstelling) met de beste fit weer. Wanneer er geen aantoonbaar verschil in de fit aanwezig was, zijn de formules van zowel het lineaire als het categorische model weergegeven. De formules van de continue modellen geven een logistisch regressie model weer. Voor de categorische modellen betreft het een formule om de trendlijn van de tien individuele voorspellingen van het categorische model weer te geven (zie paragraaf 3.9.3 en hoofdstuk 7). Hierdoor verschilt de opbouw van de formules.

In de tabel hebben we ook het blootstellingsbereik weergegeven van de formule. Dit is de range van blootstellingswaarden waarin de formule betrouwbaar kan worden toegepast. Wanneer de formules worden gebruikt met waarden buiten deze range, kunnen er (aanzienlijke) afwijkingen optreden

Tabel B9.1 Formules van BR-relatie tussen de blootstelling aan spoortrillingen en het percentage ernstige hinder door treinverkeer

Indicator	Formule	Bereik formule	Type model
Totaal railverkeer			
Afstand tot het spoor (m)	% ernstige hinder = $e^{(3,84225 - 0,01271 * \text{afstand})}$	5 tot 300 meter	Categorisch
V_{max}	% ernstige hinder = $e^{(3,28509 + 1,33892 * \log_{10}(V_{\text{max}}))}$	0,05 tot 3,2	Categorisch
V_{per}	% ernstige hinder = $e^{(4,37632 + 1,10652 * \log_{10}(V_{\text{per}}))}$	0,0005 tot 0,5	Categorisch
RMS	% ernstige hinder = $e^{(6,8129 + 1,1341 * \log_{10}(\text{RMS}))}$	0,00001 tot 0,002	Categorisch
Reizigerstreinen			
Afstand tot het spoor (m)	% ernstige hinder = $(1 / (1 + e^{(-(-1,5525 - 0,0082 * \text{afstand}))})) * 100$	5 tot 300 meter	Continu
V_{max} reizigerstreinen	% ernstige hinder = $(1 / (1 + e^{(-(-1,8389 + 1,0498 \log_{10}(V_{\text{max}}))})) * 100$	0,01 tot 3,2	Continu
V_{max} reizigerstreinen*	% ernstige hinder = $e^{(2,6305 + 0,6979 * \log_{10}(V_{\text{max}}))}$	0,05 tot 3,2	Categorisch
V_{per} reizigerstreinen	% ernstige hinder = $(1 / (1 + e^{(-(-1,3207 + 0,6040 * \log_{10}(V_{\text{per}}))})) * 100$	0,0005 tot 0,5	Continu
RMS reizigerstreinen	% ernstige hinder = $(1 / (1 + e^{(-(-0,0171 + 0,6070 * \log_{10}(\text{RMS}))})) * 100$	0,00001 tot 0,002	Continu
Goederentreinen			
Afstand tot het spoor (m)	% ernstige hinder = $(1 / (1 + e^{(-(-0,0610 - 0,0086 * \text{afstand}))})) * 100$	5 tot 300 meter	Continu
V_{max} goederentreinen	% ernstige hinder = $e^{(4,0303 + 0,9743 * \log_{10}(V_{\text{max}}))}$	0,01 tot 2,0	Categorisch
V_{per} goederentreinen	% ernstige hinder = $e^{(5,1764 + 0,7947 * \log_{10}(V_{\text{per}}))}$	0,0005 tot 0,1	Categorisch
RMS goederentreinen	% ernstige hinder = $e^{(6,8149 + 0,8233 * \log_{10}(\text{RMS}))}$	0,00001 tot 0,001	Categorisch

*Er was geen verschil in de fit tussen het continue en categorische model voor ernstige hinder door trillingen van reizigerstreinen gebaseerd op de V_{max} reizigerstreinen. Daarom zijn beide formules getoond.

Tabel B9.2 Formules van BR-relatie tussen de blootstelling aan spoortrillingen en het percentage ernstige slaapverstoring door treinverkeer

Indicator	Formule	Bereik formule	Type Model
Totaal railverkeer			
Afstand tot het spoor (m)	% ernstige slaapverstoring = $(1 / (1 + e^{(-(-1,3782 - 0,0049 \cdot \text{afstand}))}) * 100$	5 tot 300 meter	Continu
V_{max}	% ernstige slaapverstoring = $e^{(2,9971 + 0,8058 * \log_{10}(V_{\text{max}}))}$	0,05 tot 3,2	Categorisch
V_{per} nacht	% ernstige slaapverstoring = $e^{(3,9094 + 0,7572 * \log_{10}(V_{\text{per, nacht}}))}$	0,0005 tot 0,5	Categorisch
RMS nacht	% ernstige slaapverstoring = $e^{(5,3411 + 0,7109 * \log_{10}(RMS_{\text{nacht}}))}$	0,00001 tot 0,0125	Categorisch
Reizigerstreinen			
Afstand tot het spoor (m)	% ernstige slaapverstoring = $(1 / (1 + e^{(-(-2,0625 - 0,0068 \cdot \text{afstand}))}) * 100$	5 tot 300 meter	Continu
V_{max} reizigerstreinen	% ernstige slaapverstoring = $e^{(2,3443 + 0,6963 * \log_{10}(V_{\text{max}}))}$	0,05 tot 3,2	Categorisch
V_{per} reizigerstreinen nacht	% ernstige slaapverstoring = $e^{(2,9980 + 0,5951 * \log_{10}(V_{\text{per, nacht}}))}$	0,0005 tot 0,5	Categorisch
RMS reizigerstreinen nacht	% ernstige slaapverstoring = $e^{(4,1741 + 0,5159 * \log_{10}(RMS_{\text{nacht}}))}$	0,00001 tot 0,0125	Categorisch
Goederentreinen			
Afstand tot het spoor (m)	% ernstige slaapverstoring = $(1 / (1 + e^{(-(-0,6448 - 0,0058 * \text{afstand}))}) * 100$	5 tot 300 meter	Continu
V_{max} goederentreinen	% ernstige slaapverstoring = $e^{(3,7039 + 0,8714 * \log_{10}(V_{\text{max}}))}$	0,01 tot 2,0	Categorisch
V_{per} goederentreinen nacht	% ernstige slaapverstoring = $e^{(4,7459 + 0,7080 * \log_{10}(V_{\text{per}}))}$	0,001 tot 0,1	Categorisch
RMS goederentreinen nacht	% ernstige slaapverstoring = $e^{(5,9928 + 0,6747 * \log_{10}(RMS_{\text{nacht}}))}$	0,00001 tot 0,001	Categorisch

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

juli 2023

De zorg voor morgen
begint vandaag