

Spoortrillingen: een uniform rekenmodel

Blootstelling aan trillingen wordt sinds jaar en dag voornamelijk bepaald op grond van metingen. Als er wordt gerekend aan trillingen doet iedereen dat op eigen wijze. Dit leidt bij spoorse projecten tot problemen. De staatssecretaris van Milieu heeft gevraagd om een uniforme rekenmethode waarmee spoortrillingen kunnen worden beoordeeld zonder metingen uit te voeren.

Door: Arnold Koopman en Edwin Verheijen

Over de auteurs:

Drs. A. Koopman werkt bij het onderzoeksbureau Level Acoustics & Vibration en is gespecialiseerd in trillingen. Hij was de initiatiefnemer en technisch coördinator van CargoVibes, het Europese onderzoek naar spoortrillingen, en is de auteur van het meetprotocol voor tracébesluitplichtige spoorprojecten.

Dr. E. Verheijen is adviseur geluid en trillingen bij dBvision. Zijn specialismen zijn railverkeerslawaai, emissiebepaling, bronmaatregelen, Europese geluid-wetgeving en rekenmethodes, hindereffecten.

INLEIDING

Bij de aanleg of uitbreiding van spoorwegen waarvoor een Tracébesluit nodig is, moet het aspect trillingshinder worden beoordeeld. De beoordelingsmethode en normstelling daarvoor zijn in 2012 vastgelegd in de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts). In de huidige praktijk wordt dit onderzoek grotendeels gebaseerd op langdurige meetcampagnes, waarna uiteenlopende methoden worden gebruikt om de trillingshinder na realisatie van het project te bepalen. De meetcampagnes zijn complex: er moet binnen in woningen (midden op vloeren) worden gemeten en aan fundaties, tenminste een week lang en langer als dat nodig is voor betrouwbare resultaten. Vaak worden ook op maaiveld rijen sensoren uitgezet om de bodemverzwakking te bepalen. Problematisch is dat de duur van de metingen niet goed beheerst kan worden en dat er medewerking nodig is van bewoners. Een ander probleem is dat er weinig consensus is over de wijze waarop prognoses moeten worden uitgevoerd en verschillende bureaus dus tot verschillende resultaten komen. Die verschillen liggen in de orde van een factor 2.

Op 29 februari 2016 stelt de Staatsecretaris van Milieu in haar brief aan de Tweede Kamer² dat een gestandaardiseerde methodiek zeer wenselijk is, omdat het hiermee eenvoudiger wordt om op een eenduidige wijze trillingseffecten te prognosticeren en te toetsen, alsmede de effecten van maatregelen te bepalen. Bij voorkeur leidt die methodiek ook tot lagere uitvoeringslasten. Daarnaast is er behoefte aan beter inzicht in de kwaliteit van de rekenmodellen.

In opdracht van Ministerie van IenM heeft het RIVM de mogelijkheden onderzocht om tot een uniforme rekenmethodiek te komen voor spoortrillingen. Daartoe zijn drie vragen geformuleerd:

1. Welke kwaliteit hebben de bestaande rekenmodellen?
2. Kunnen die modellen verbeterd worden?
3. Welk rekenmodel kan worden voorgesteld?

Het onderzoek is uitgevoerd in 2016 en afgerond met een RIVM-rapport¹. Dit artikel is een samenvatting van het rapport.

ONDERZOEKSOPZET

Om de drie onderzoeksvragen te beantwoorden is de volgende onderzoeksopzet gehanteerd (zie figuur 1). Eerst is een functioneel programma van eisen (FPvE) opgesteld. Dit FPvE is het referentiekader waarmee wordt nagegaan of een rekenmodel voorziet in de vereiste aspecten. Daarmee wordt ook duidelijk welke zaken nog doorontwikkeling of uitbreiding behoeven.

De bestaande rekenmodellen die zijn beoordeeld, komen uit de huidige onderzoekspraktijk bij Nederlandse spoorprojecten, aangevuld met kansrijke internationale modellen (ontwikkeld of beoordeeld in Europese projecten op het gebied van spoortrillingen).



FIGUUR 1: DE ONDERZOEKSOPZET GESCHEMATISEERD.

De confrontatie van de bestaande rekenmodellen met de eisen uit het FPvE is vervolgens uitgewerkt in een kruistabel. In die tabel is per bestaand model aangegeven aan welke eisen uit het FPvE het voldoet. Tevens is een totaalscore gegeven op basis van de geschiktheid en de verbetermogelijkheden van het model.

Een eerste versie van het FPvE, de beschrijving van bestaande modellen en de kruistabel zijn gedeeld met de sector: de ingenieursbureaus die het trillingsonderzoek bij spoorprojecten in opdracht van ProRail uitvoeren. De opmerkingen en suggesties die tijdens een workshop zijn geuit en die per e-mail zijn ontvangen zijn verwerkt in het FPvE en de kruistabel. Verder heeft de workshop geresulteerd in ideeën over hoe het uniforme rekenmodel, en de

daarbij benodigde data-infrastructuur, er uiteindelijk uit kan zien. Deze ideeën zijn vervolgens door het RIVM uitgewerkt tot scenario's die de ontwikkeling beschrijven die nodig is om de ideeën te realiseren. Daaraan zijn nog enkele andere kansrijke scenario's toegevoegd die voortborduren op of combinaties zijn van bestaande (deel)modellen. Hierbij is ook gebruik gemaakt van recente ontwikkelingen uit de vakliteratuur (literatuurscan).

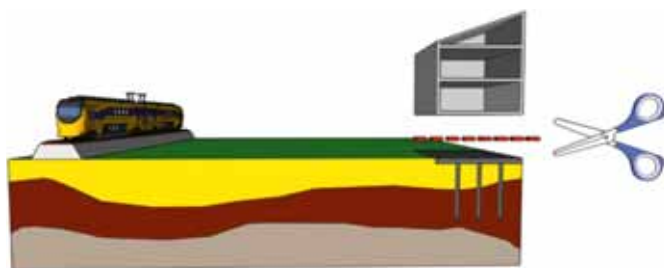
De ontwikkelscenario's vormen het belangrijkste resultaat van dit onderzoek. Ze beschrijven enerzijds het eindbeeld, dit wil zeggen het rekenmodel in de vorm waarin het in gebruik kan worden genomen inclusief de wijze waarop invoergegevens moeten worden verkregen en verwerkt. Ze beschrijven anderzijds het ontwikkelingstraject, dit wil zeggen de acties die nodig zijn om dit eindbeeld te realiseren.

Uiteindelijk moet een keuze gemaakt worden voor het te volgen scenario. Het RIVM rapport geeft hiervoor een systematiek. Hierbij wordt elk scenario beoordeeld op de aspecten ontwikkelingstijd, haalbaarheid, onderzoekslast, transparantie en bureauonafhankelijkheid. Vervolgens worden de scores gewogen opgeteld tot een eindoordeel.

SCOPE

Het beoogde uniforme rekenmodel dient compatibel te zijn met de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts). Dat betekent dat de rekenresultaten van het model geschikt moeten zijn voor de toetsing van trillingshinder in woningen en werkruimten vanwege railverkeer. Daarom zal het rekenmodel moeten voorzien in de eerste twee stappen van een trillingsonderzoek: de zogenoemde scoping fase (bepaling van het onderzoeksgebied) en screening fase (toetsing trillingshinder).

De Bts hanteert normen voor trillingsniveaus op vloeren in gebouwen. Dat betekent dat voor de Bts behoefte is aan een model dat reikt van de opwekking van trillingen op het spoor tot de daaruit voortkomende trillingen van de vloeren in gebouwen met voor trillingen gevoelige functies. Het onderzoek heeft zich, omwille van een korte doorlooptijd, gericht op het deel tot de fundering (zie figuur 2). Uiteraard dient de rekenmethode te worden uitgebreid met de overdracht van fundering naar de vloeren. Op dat moment is de totale rekenmethode pas volledig compatibel met de Bts. Vanuit de modellering bezien is het echter niet onlogisch voorlopig een knip te leggen bij de fundering, omdat de modellering van trillingsvoortplanting binnen gebouwen een geheel andere aanpak kent dan de trillingsvoortplanting vanaf de spoorbaan door de bodem.



FIGUUR 2: HET RIVM RAPPORT BEPERKT ZICH TOT TRILLINGEN AAN DE FUNDERING.

Als te bepalen grootte op de fundering wordt niet uitgegaan van de uiteindelijk voor de Bts te bepalen V_{per} en V_{max} , maar de V_{RMS} . Deze grootte, vergelijkbaar met een equivalent niveau Leq bij geluid, is makkelijker te bepalen en te valideren. In een parallel ontwikkeltraject zou daarom een module moeten worden gebouwd die uit de V_{RMS} , uit gegevens over het spoorgebruik en uit gegevens over het gebouw de voor de Bts benodigde V_{per} en V_{max} op de vloeren bepaalt. Deze module zou dan ook gebruikt

moeten, of kunnen, worden als niet gerekend maar gemeten wordt aan de fundering. Een belangrijk deel van de oorzaken van verschillen tussen metingen en tussen berekeningen en tussen metingen en berekeningen onderling worden dan in die gezamenlijke module uniform behandeld en daarmee geneutraliseerd.

FUNCTIONELE SPECIFICATIE

In een functioneel programma van eisen (FPvE) is een opsomming gegeven van de eisen waaraan een uniform rekenmodel voor spoortrillingen binnen de scope van de Bts zal moeten voldoen. Dit betreft met name eisen aan de bruikbaarheid, de kwaliteit, en de fysische beschrijving.

Een belangrijk aspect is dat het model vooralsnog niet gedetailleerder hoeft te zijn dan nodig is voor de "screening" fase. Screening-kwaliteit is wat ook bijvoorbeeld de huidige (standaard) rekenmodellen voor geluid en luchtkwaliteit leveren. Trillingsonderzoek kent echter nog een vervolgstap: de gedetailleerde fase, voor die locaties waar volgens de screening maatregelen moeten worden ontworpen. Omdat bij trillingen het maatregelleffect zeer situatiespecifiek is dient dat telkens in detail te worden onderzocht, bijvoorbeeld met extra metingen en extra berekeningen. Geschiktheid voor die fase is geen eis voor het uniform model.

BEOORDELING BESTAANDE MODELLEN

Van 7 Nederlandse en 10 buitenlandse rekenmodellen voor spoortrillingen is een beschrijving gegeven. Deze modellen zijn beoordeeld aan de hand van het FPvE. Geen van deze modellen blijkt voldoende om direct te kunnen worden toegepast. Empirische modellen missen betrouwbare, goed beschreven empirie, fysische modellen vragen gegevens die nu niet zomaar beschikbaar zijn. De fysische schematisering is meestal onvolledig. De meeste modellen leveren over de output geen bandbreedtes of betrouwbaarheid.

Uit de beoordeling blijkt wel dat drie modellen in principe in aanmerking komen om te dienen als basis voor een uniform rekenmodel. Dat gaat om VibraDyna en SRM-T als specifieke modellen voor spoortrillingen en daarnaast om de generieke methode FEM. Maar omdat geen van de modellen, elk om verschillende redenen, in de huidige vorm geschikt wordt geacht, is een verbetering nodig.

STOCHASTIEK, TRILLINGSMaat EN ONDERZOEKSLAST

De meeste rekenmodellen voor spoortrillingen zijn (semi-)empirische modellen, wat inhoudt dat ze gebaseerd zijn op (het parametriseren van) meetresultaten. De grote uitdaging van zulke modellen is een adequate beschrijving van de stochastiek, dit wil zeggen het feit dat belangrijke factoren in de praktijk variëren. Die variatie is er niet alleen tussen situaties (zoals de grote variatie aan bodemopbouw in Nederland) maar ook binnen situaties (zoals de verscheidenheid aan treinen die passeren en aan constructiewijzen van woningen). De impact van die variatie wordt vergroot door de keuze van een maximum, namelijk de V_{max} , als beoordelingsgrootte in de Bts. Dit betekent een behoorlijke onderzoekslast, in termen van kosten, doorlooptijd, maar ook in de belasting van omwonenden in wiens huizen de trillingen van treinen langdurig moeten worden geregistreerd.

In dit onderzoek wordt daarom voorgesteld om een tussenstap als rekenresultaat van het uniforme rekenmodel te introduceren, de V_{RMS} . Dit heeft als voordeel dat:

1. Het rekenmodel eenvoudiger kan worden;
2. Metingen (veel) eenvoudiger kunnen worden;
3. Metingen en berekeningen beter kunnen worden vergeleken.

ledigt, als beste naar voren. Daarvan heeft het Hybride-model de beste opties om de toekomstige onderzoekslast te minimaliseren. Om dit model te realiseren is een ontwikkeltijd van naar schatting anderhalf jaar benodigd. Het Hybride-scenario komt voort uit twee primaire ideeën van de workshop met de sector. De belangrijkste kenmerken van het Hybride-model zijn:

- Het is in potentie het meest nauwkeurige model, wat betekent dat al veel duidelijk wordt in de screeningfase en er minder onderzoek nodig is in de (veel duurdere) gedetailleerde fase. Dat scheelt geld en tijd;
- Het sluit aan bij de praktijk van andere milieu-aspecten, zoals geluid. Bronnen worden ingemeten en opgenomen in een register. Daarop zou bronbeleid kunnen worden gevoerd;
- Het heeft de potentie om als gedetailleerd model te worden gebruikt, waardoor meer ingenieursbureaus in staat zullen zijn ook die onderzoeksfase uit te voeren, wat scheelt in doorlooptijd en geld.

IMPACT

Keuze voor het Hybride-model en daarmee het Hybride scenario levert vooruitgang ten opzichte van huidige praktijk:

1. Introductie van een voor iedereen beschikbaar, uniform rekenmodel.
2. Reductie van de onderzoekslasten. De uitgebreide, langdurige en dure meetcampagnes die nu onderdeel vormen van trillingsonderzoek komen te vervallen.

Trillingsmaten

Trillingen worden gemeten met snelheids- of versnellingsensoren. Het meetresultaat wordt gefilterd in het frequentiedomein en het tijddomein, waarmee wordt gecorrigeerd voor de menselijke perceptie. Dit levert de effectieve waarde $V_{\text{eff}}(t)$ op. Dit is een dimensieloze parameter die dicht ligt bij trillingssnelheid in mm/s. Een gebeurtenis (zoals treinpassage) of een tijdvak van 30 seconde wordt beschreven met de hoogst opgetreden waarde: $V_{\text{eff,max}}$. Er wordt zolang gemeten als nodig is om een representatief beeld van de blootstelling te krijgen, bij spoorverkeer is dat tenminste 1 week. De blootstelling wordt met twee parameters beschreven. Ten eerste met (ongeveer) de hoogst opgetreden waarde van $V_{\text{eff,max}}$; V_{max} . Ten tweede met (ongeveer) de root-mean-square van $V_{\text{eff,max}}$; V_{per} . Al deze parameters worden gedefinieerd in SBR-richtlijn B⁴.

Een alternatief voor $V_{\text{eff,max}}$ voor het beschrijven van een gebeurtenis of een tijdvak van 30 seconde is de root-mean-square van $V_{\text{eff}}(t)$; V_{rms} . Een alternatief voor V_{max} en V_{per} voor het beschrijven van de blootstelling is de root-mean-square van $V_{\text{eff}}(t)$ over de hele meetduur: RMS. Deze parameters kennen overigens nog geen formele definitie in richtlijnen of normen.

Het uitgaan van een uniforme rekenmethode heeft ook de volgende gevolgen:

- Voor omwonenden: meer rechtsgelijkheid. De kwaliteit van het onderzoek is nu veel minder afhankelijk van de kennis en mogelijkheden van het ingenieursbureau dat het onderzoek uitvoert. Bovendien worden omwonenden van spoorprojecten verlost van de last van trillingsmetingen binnenshuis (o.a. op de slaapkamervloer).
- Voor ProRail: trillingsonderzoek kan veel sneller uitgevoerd worden (kortere doorlooptijd) en bevindt zich daarmee niet langer op het kritieke pad binnen spoorprojecten.
- Voor IenM: een besparing op de onderzoekskosten van spoorprojecten. Wel komt er een vaste kostenpost voor terug: die voor het onderhoud aan het model. Per saldo kan deze investering worden terugverdiend afhankelijk van de grootte van de besparingen op metingen.
- Voor ingenieursbureaus: een vermindering van de omzet (minder meten), maar tevens een meer 'level playing field'. De aard van het werk verschuift van metingen en analyses naar bureau-studies.
- Nieuwe taken erbij: beheer van de benodigde registers en van het model.

TOT SLOT

Het RIVM rapport komt tot de conclusie dat een uniform rekenmodel haalbaar is en geeft advies hoe daar toe te komen. De Staatssecretaris van Milieu heeft hier positief op gereageerd zoals uit haar brief aan de Tweede Kamer van 22 februari van dit jaar³ blijkt: "Ik heb met veel interesse kennisgenomen van het rapport van het RIVM. Het RIVM heeft aangegeven naar aanleiding van dit rapport met een voorstel voor een plan van aanpak te komen. Zodra dit plan van aanpak beschikbaar is, zal ik dit bespreken met betrokken partijen en besluiten of en tot welke vervolgstappen dit leidt. Ik verwacht u hierover in het najaar van 2017 te kunnen informeren." Als het meezit zou dus volgend jaar met de uitwerking gestart kunnen worden. De komende maanden moet dat duidelijk worden.

REFERENTIES

- 1 De Gruijter, D.; Koopman, A.; Verheijen, E.; Lentzen, S.; Boshuizen, H.; Bolte, J.: Een uniform rekenmodel voor spoortrillingen 2016 – Ontwikkelingsmogelijkheden, RIVM-Briefrapport 2016-0209, Bilthoven, december 2016
- 2 Brief van Staatssecretaris IenM aan Tweede Kamer dd 29 februari 2016 (Kamerstuk 29984, nr. 655)
- 3 Brief van Staatssecretaris IenM aan Tweede Kamer dd 22 februari 2017 (Kamerstuk 29984, nr. 711)
- 4 SBR trillingsrichtlijn B: Hinder voor personen in gebouwen, SBRCURnet

A G E N D A

3 OKTOBER 2017

Masterclass Soundscape PLAATS: JAARBEURS UTRECHT.

De NSG organiseert een Masterclass Soundscape. De naderende Omgevingswet (maar ook de huidige wetgeving) biedt namelijk veel kansen voor deze nieuwe manier van nadenken over geluid. Daarom nemen professionals van de gemeente Utrecht, gemeente Den Haag en SoundAppraisal u een dag mee in de wereld van geluidsbeleving. Theoretische sessies over o.a. de beleving van geluid(omgevingen), de gezondheids-

effecten en typering van (geluids)omgevingen worden afgewisseld met praktische activiteiten zoals soundwalks en casusbeschrijvingen

Het programma bevat o.a. de volgende onderdelen:

- Introductie Soundscape
- Soundscape onderzoek
- Diverse praktijkcasus
- Geluidswandeling t.b.v. eigen Soundscape onderzoek
- Effecten van Soundscape

Internet: www.nsg.nl

29 OKTOBER 2017

Dag van de Stille PLAATS: DIVERSE PLAATSEN IN NEDERLAND

In Nederland vindt jaarlijks een Dag van de Stille plaats op de laatste zondag van oktober, de dag waarop de wintertijd ingaat. Die dag heeft zomaar een uur extra. Je kunt deelnemen aan de Dag van de Stille door een stille-activiteit te bezoeken of door zelf een activiteit te organiseren.

Internet: www.dedagvandestille.nl