

Trillingen rond nieuwbouw langs spoor in Nijmegen Noord

Nijmegen Lent Trillingsonderzoek

Status	definitief
Versie	2
Rapport	M.2016.1475.00.R001
Datum	5 april 2017

Inhoud

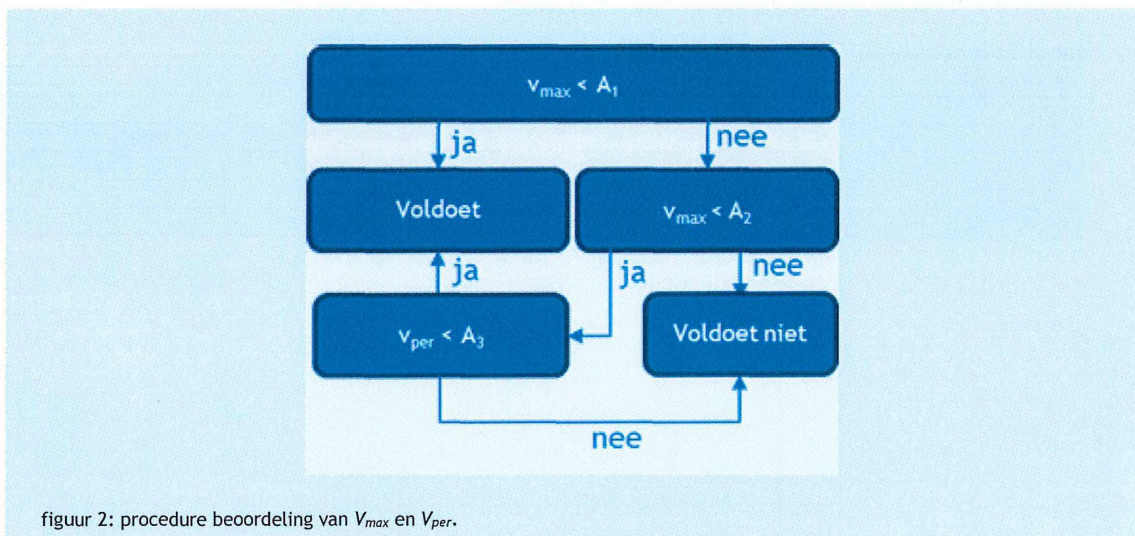
1. Inleiding	4
2. Toetsingskader	5
2.1 Beoordeling trillingshinder (SBR-B)	5
3. Onderzoeksmethode	7
3.1 Metingen	7
3.2 Bepaling overdracht in de bodem	7
3.3 Overdracht naar trillingsgevoelige objecten	8
4. Resultaten	9
4.1 Spectraal resultaat	9
4.2 $V_{\text{eff,max}}$ in de trillinggevoelige objecten	9
4.3 Bepaling v_{per}	11
4.4 Conclusie	11
5. Maatregelen	12
5.1 Benodigde reductie	12
5.2 Maatregelcatalogus	12
5.3 Maatregelen aan de baan	13
5.4 Maatregelen bij de overdracht	15
5.5 Maatregelen bij de ontvanger	17
6. Conclusie	18
7. Literatuur	19
Bijlagen	
Bijlage 1	Contourlijnen trillingen

2. Toetsingskader

De SBR-B richtlijn maakt gebruik van streefwaarden die gericht zijn op hinder door trillingen te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van deze streefwaarden dient dan ook zoveel mogelijk te worden vermeden. Indien de streefwaarden worden overschreden, dient dit de aanleiding te zijn voor overleg tussen de betrokken partijen. Afhankelijk van de omstandigheden kan vervolgens een afweging worden gemaakt of de te beoordelen trillingssterkte al dan niet acceptabel is.

2.1 Beoordeling trillingshinder (SBR-B)

Trillingshinder wordt beoordeeld aan de hand van het maximaal optredende trillingsniveau en het gemiddeld trillingsniveau, vergelijkbaar met het maximale geluidsniveau en het langtijdgemiddelde geluidsniveau bij de beoordeling van geluid. Voor een aantal typen trillingen en verschillende gebouwfuncties (wonen, onderwijs e.d.) staan in de richtlijn grens- en streefwaarden voor maximaal optredende trillingsniveaus en gemiddelde trillingsniveaus. Voor herhaald voorkomende trillingen wordt er getoetst volgens figuur 2 met de streefwaarde uit tabel 1.



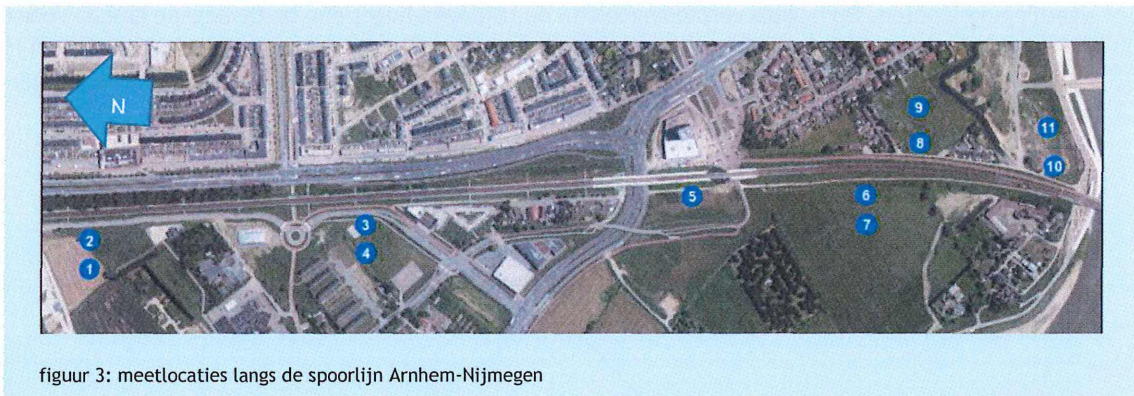
figuur 2: procedure beoordeling van V_{max} en V_{per} .

3. Onderzoeksmethode

3.1 Metingen

De elf meetlocaties zijn aangegeven in de onderstaande figuur. Meetpunten 2, 3 en 6 bevinden zich op een afstand van 50 meter uit het spoor. Meetpunten 5, 8 en 10 zijn op 35 meter afstand van het spoor geplaatst en de overige meetpunten liggen op 100 meter afstand van het spoor.

De uitvoering van de metingen heeft plaatsgevonden van 17 februari tot 4 maart, een meetperiode van twee weken.



figuur 3: meetlocaties langs de spoorlijn Arnhem-Nijmegen

Op elke locatie is de trillingsopnemer van het type Profound SBR+ op een diepte van 40 cm geplaatst. De trillingsopnemers meten de trillingssnelheid in drie verschillende richtingen. De x-richting staat loodrecht op het spoor, de y-richting staat parallel aan het spoor en de z-richting meet de trillingen in de verticale richting.

De meters zijn als volgt ingesteld:

- Interval tijd: 10 seconden
- Save level: disabled
- Code: SBR
- Traces: 1 per uur

3.2 Bepaling overdracht in de bodem

Na afloop van de metingen wordt de overdracht in de bodem bepaald door de v_s per meetlocatie te bepalen. Dit is het trillingsniveau dat 5% van de tijd heerst, deze waarde geeft een goede indicatie van het trillingsniveau tijdens een treinpassage.

Vervolgens wordt met de formule van Barkan de overdracht in de bodem bepaald:

$$v(r) = v(0) \left[\frac{r_0}{r} \right]^n e^{-\alpha(r-r_0)}$$

Omdat de uitstraling van het spoor gezien kan worden als een lijnbron is de factor n gelijk aan 0. De bodemfactor α kan vervolgens bepaald worden met:

$$\alpha = -\ln \frac{v(r)}{v(0)} \frac{1}{r - r_0}$$

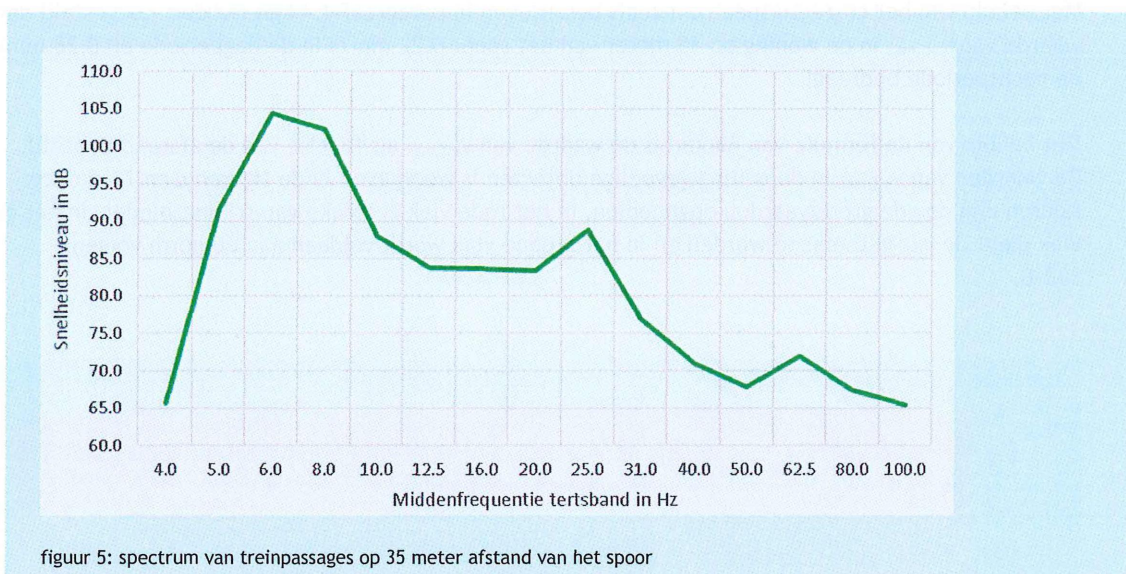
4. Resultaten

De spoorlijn Arnhem-Nijmegen kan gezien worden als een lijnbron. Op het traject rond Lent zijn geen wissels aanwezig die als puntbron kunnen fungeren. Uit de overdracht tussen de verschillende sets meters blijkt de waarde van α te variëren tussen 0.08 en 0.12 m⁻¹.

In de volgende paragrafen is uitgegaan van de meetdata rond meetpunt 8. Op dit meetpunt is de minste verstoring gemeten. Daarnaast is de relatief korte afstand tot het spoor (35 meter) een eenvoudig uitgangspunt om verder te rekenen.

4.1 Spectraal resultaat

Van 20 treinpassages bij meetpunt 8 zijn de FFT-spectra omgezet naar een gemiddeld verschilspectrum. In dit spectrum is een duidelijk maximum te zien bij 6 tot 8 Hz. Daarnaast is nog een lokaal maximum waargenomen op 25 Hz. Het spectrum, toegepast op de hoogste v_{eff} is weergegeven in onderstaande figuur.

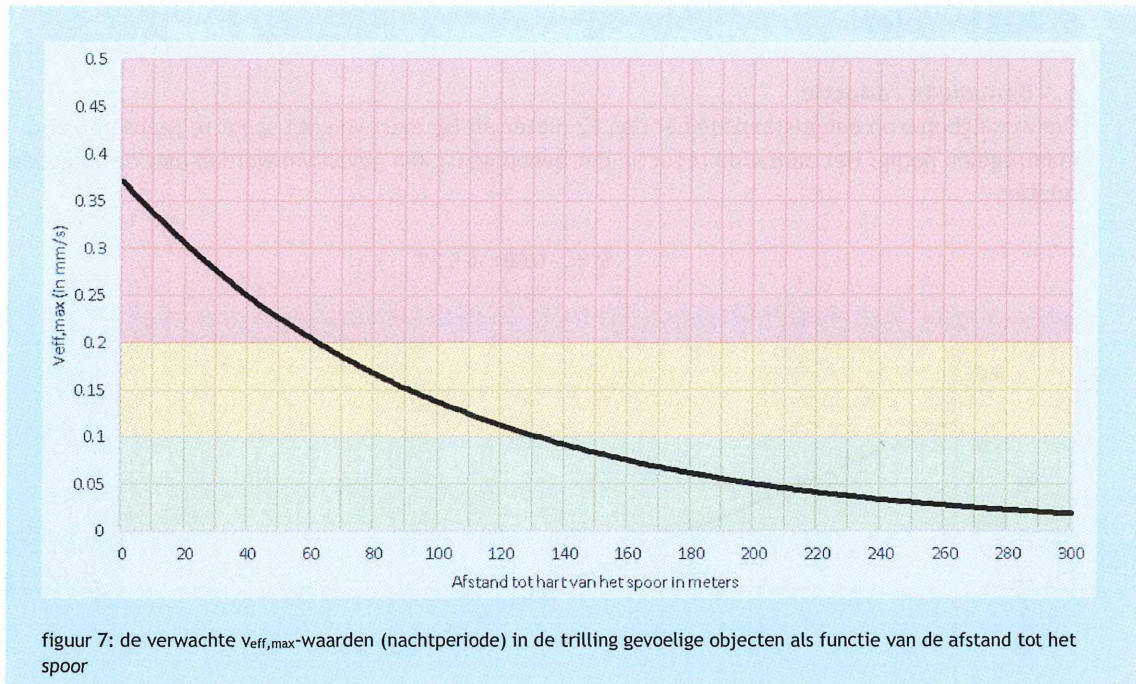


figuur 5: spectrum van treinpassages op 35 meter afstand van het spoor

4.2 $V_{\text{eff,max}}$ in de trillingegevoelige objecten

Voor de bepaling van het $v_{\text{eff,max}}$ -niveau in een trilling gevoelig object op 35 meter afstand zijn de gemeten $v_{\text{eff,30}}$ waarden van meetpunt 8 gebruikt. De trillingen in x-richting zijn dominant ten opzichte van de andere richtingen. Daarom is gekozen om alleen van de trillingen in deze richting uit te gaan.

De waarden die gebruikt zijn om de $v_{\text{eff,max}}$ te bepalen zijn weergegeven in tabel 3.



Uit deze twee figuren volgt dat trilling gevoelige objecten, zonder aanvullende maatregelen pas mogelijk is op een afstand van minimaal 62 meter. Tot een afstand van 131 meter dient eerst de v_{per} beschouwd te worden.

4.3 Bepaling v_{per}

Op meetpunt 8 (35 meter uit het spoor) is de v_{per} over 13 etmalen bepaald. Uit de meetdata volgt dat in de dagperiode 2.6% van de tijd een trein langs rijdt. In de nachtperiode passeert ongeveer op 0.9% van de tijd een trein. Dit komt overeen met ongeveer 20 treinen per uur in de dagperiode en 7 treinen per uur in de nachtperiode.

De waarden voor v_{per} in de trilling gevoelige objecten op 35 meter afstand van het spoor bedraagt 0.047 in de dagperiode en 0.007 in de nachtperiode. Beiden waarden voldoen aan de grenswaarden uit de SBR-B richtlijn.

4.4 Conclusie

De waarden van v_{per} in de trilling gevoelige objecten voldoen op een afstand van 35 meter aan de normen uit de SBR-B richtlijn. De waarden voor v_{max} voldoen pas op een afstand van 62 meter aan de grenswaarden uit de SBR-B richtlijn voor de nachtperiode. Dit betekent dat zonder aanvullende maatregelen de bouw van trilling gevoelige objecten alleen mogelijk is op een afstand van 62 meter uit het spoor.

Naast maatregelen aan de baan, overdracht of ontvanger is het in profiel houden van de wielen van de trein en een effen spoorstaaf belangrijk. Ronde wielen en vlakke spoorstaven leveren een reductie op van circa 4 tot meer dan 10 dB, afhankelijk van de uitgangssituatie. De kosten voor deze maatregel zijn afhankelijk van de onderhoudscyclus waarbij regelmatig geslepen moet worden.

5.3 Maatregelen aan de baan

Om trillingen te reduceren aan de baan zijn de volgende drie maatregelen het effectiefst.

Deze maatregelen worden beschreven in dit rapport.

- Under Sleeper Pads
- Zettingsvrije plaat
- Ballastmatten

Overige maatregelen zijn weergegeven in onderstaande tabel inclusief maximale reductie. Indien er geen reductie is weergegeven in de tabel is de reductie niet bekend. Deze maatregelen zijn terug te vinden in de maatregelcatalogus van ProRail voor nadere informatie.

tabel 4: overige maatregelen aan de baan

Maatregel	Maximale reductie [dB]
Afveren rails met railklemmen op betonplaat	13
Slab track	10
Floating slab track	10
Betonplaat onder ballastbed met ballastmat	10
Betonplaat onder ballastbed met isolatiemateriaal onder dwarsliggers	10
Onderhoud rails	4 - 10
Aanvullend onderhoud ballastbed (tamping)	6
Geogrid	--
Ladder Track	--
Wide Sleeper Track	--

Under Sleeper Pads

Under Sleeper Pads bestaan uit verend materiaal dat aangebracht wordt onder de dwarsliggers (figuur 9). Hierdoor ontstaat een betere verdeling van de kracht over het oppervlak. De reductie bedraagt 12 tot 20 dB en werkt volgens het massa-veersysteem principe. Zodra de maatregel toegepast is, is er geen verder onderhoud aan de maatregel nodig. Deze maatregel is commercieel verkrijgbaar en heeft zijn werking bewezen in de praktijk.

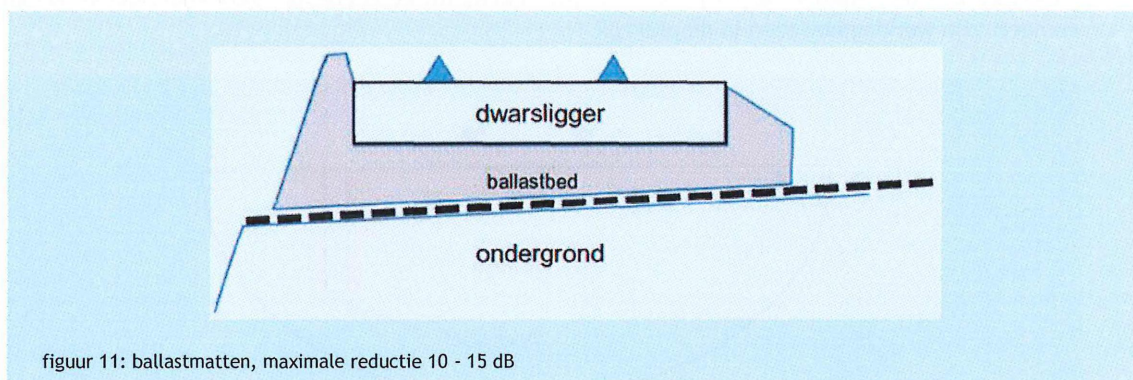
Om deze maatregel uit te voeren moeten de sporen waarbij de Under Sleeper Pads worden toegepast en de aangrenzende sporen tijdelijk buitendienst worden gesteld. De kosten voor deze maatregel zijn tussen de € 750,- en € 900,- per meter per spoor.

Mogelijke leveranciers van Under Sleeper Pads zijn:

- CDM <http://www.cdm.eu/systems.html>
- Getzner Werkstoffe GmbH <http://www.getzner.com>
- Angst+Pfister AG <http://www.angst-pfister.com/>

Mogelijke leveranciers van ballastmatten zijn:

- Getzner Werkstoffe GmbH <http://www.getzner.com/>
- Secutex, Naue GmbH & Co. KG <http://www.naue.com/en/edf.html>
- Angst+Pfister AG <http://www.angst-pfister.com/>
- Grötz GmbH & Co. KG <http://www.groetz.de>



Opgemerkt moet worden dat deze maatregel te vergelijken is met de trillingsisolerende spoorconstructie die lange tijd geleden in de Zeeruststraat in Scheveningen is aangebracht, Praktijkmetingen hebben uitgewezen dat de trillingsreductie hier circa 12 dB was.

5.4 Maatregelen bij de overdracht

Om trillingen te reduceren voor de overdracht zijn de volgende drie maatregelen het effectiefst en toepasbaar.

- OTC open sleuf met keerwanden
- OTC³ beklede keerwand
- OTC Polystyreen scherm in bodem bij woning

Overige toepasbare maatregelen zijn weergegeven in onderstaande tabel inclusief maximale reductie. Indien er geen reductie is weergegeven in de tabel is de reductie niet bekend. Deze maatregelen zijn terug te vinden in de maatregelcatalogus van ProRail voor nadere informatie.

tabel 5: overige maatregelen bij de overdracht

Maatregel	Maximale reductie [dB]
OTC open sleuf in bodem	8 - 14
OTC betonscherm in bodem	circa 4
Trillingscherm L-wand in talud	--

* Afhankelijk van de fundatie van de woning moet bepaald worden of deze maatregel toepasbaar is

OTC Keerwanden

De Ondergrondse Trillingsreducerende Constructie (OTC keerwanden) bestaat uit ondergrondse constructies die zorgen voor een impedantiesprong in de trillingsvoortplanting. De lengte en diepte van de keerwand zijn sterk afgeleid van dominerende golftypen in de grond en de te isoleren golflengte en dus de trillfrequenties. Keerwanden zijn relatief eenvoudig te plaatsen indien de trilling gevoelige objecten onderheid zijn. Is dit niet het geval dat moet er goed onderzocht worden hoe de bodemsamenstelling is zodat de fundering van de trilling gevoelige objecten niet verzakt tijdens en na het plaatsen van de keerwand. Ook is het van belang dat het type bodem bekend is.

5.5 Maatregelen bij de ontvanger

Om trillingen te reduceren bij de woning zijn de volgende twee maatregelen bekend:

- verstijven vloeren en wanden
- fundering op trillingsisolatie

Verstijven vloeren en wanden

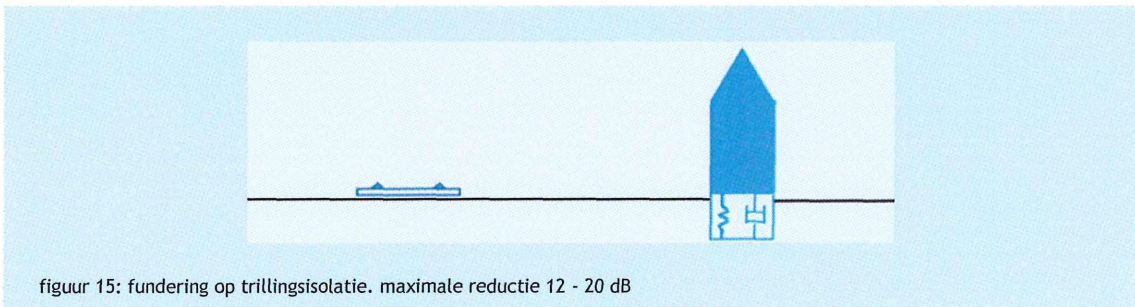
Het verstijven van de constructie van het trillingsbelaste object zorgt ervoor dat er minder opslinging van de trilling in het pand is. Het verstijven van een pand levert een reductie op van 10 tot 20 dB.

De kosten voor het verstijven van een pand variëren tussen de € 5.000,- en € 80.000,-. Het verstijven van het pand kan worden uitgevoerd door een aannemer. Uit de praktijk is gebleken dat deze maatregel effectief is. Voor deze maatregel is geen verder onderhoud nodig.

Fundering op trillingsisolatie

Het toepassen van trillingsisolatoren onder het gebouw levert in het algemeen een reductie op van circa 12 tot 20 dB (figuur 15). De kosten voor deze maatregel zijn erg afhankelijk per woning en variëren tussen de € 10.000,- en € 100.000,-. Het principe van de trillingsisolatoren is gebaseerd op het enkelvoudig massa-veersysteem. Voor deze maatregel is voor de korte termijn geen verder onderhoud nodig. Rubber blokken moeten na circa 25 jaar vervangen worden.

Voor de dominante aanstoot frequentie in de hier gemeten situatie van rond de 7 Hz, is de realiseerbare trillingsisolatie waarschijnlijk lager dan hierboven aangegeven, in de orde van 5 tot 10 dB.



7. Literatuur

[1] The determination of railway vibration levels in practice - van Leeuwen en van Zwienen.

[2]

http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgt/trilling_7_trillingen_esther_stapper_www_bouwpathologie.nl.pdf

