Tijdelijke woningbouw Gooimeerlaan te Leiden

Te verwachten trillingniveaus als gevolg van railverkeer

Concept

Rapportnummer H 9386-3-RA d.d. 9 juli 2024

Tijdelijke woningbouw Gooimeerlaan te Leiden

Te verwachten trillingniveaus als gevolg van railverkeer

Concept

Opdrachtgever:	Gemeente Leiden
Rapportnummer:	H 9386-3-RA
Datum:	9 juli 2024
Referentie:	MN/NG/ /H 9386-3-RA
Verantwoordelijke:	ing. M.H. Noordermeer
Opsteller:	ir. N. Groot
	085 8228 411
	n.groot@peutz.nl

Peutz bv, postbus 696, 2700 ar zoetermeer, +31 85 822 87 00, info@peutz.nl, www.peutz.nl
kvk 12028033, opdrachten volgens DNR 2011, lid NIingenieurs, btw NL.004933837B01, ISO-9001:2015
mook - zoetermeer - groningen - eindhoven - haps - düsseldorf - dortmund - berlijn - nürnberg - leuven - parijs - lyon

Inhoudsopgave

1	**Inleiding**	**4**
2	**Metingen**	**6**
2.1	Algemeen	6
2.2	Meetinstrumenten	7
2.3	Meetresultaten	7
3	**Beoordeling**	**9**
3.1	Metingen	9
3.2	Geprojecteerde woningen	13
4	**Toetsing**	**15**
4.1	Toetsingskader	15
4.2	Toetsing	16
5	**Mogelijke maatregelen**	**17**
5.1	Reductiedoelstelling	17
5.2	Mogelijk te treffen maatregelen	17
5.3	Voorliggende situatie	19
6	**Conclusie**	**20**

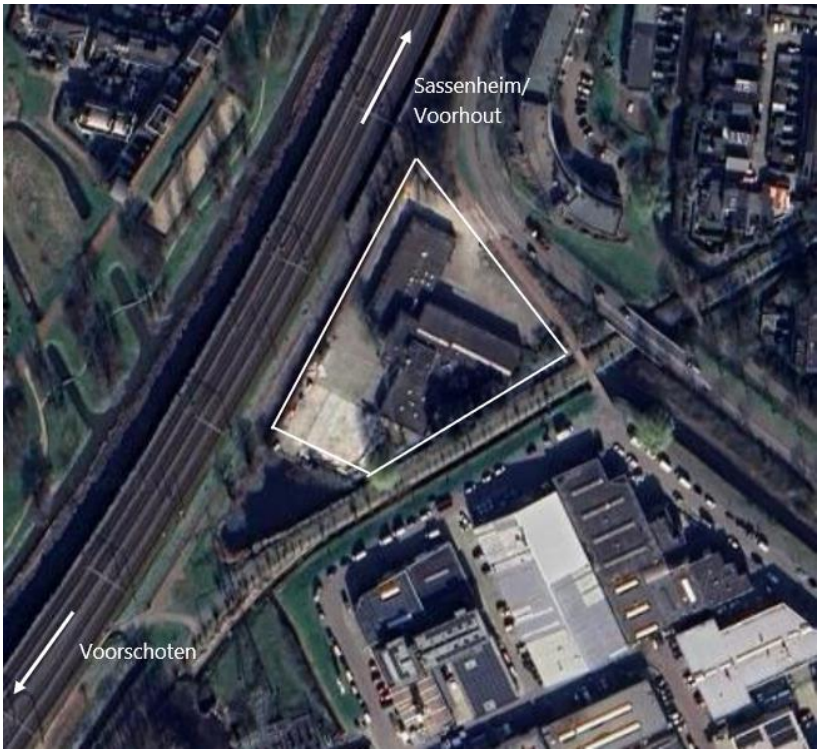
1 Inleiding

In opdracht van de gemeente Leiden is een onderzoek verricht inzake te verwachten trillingniveaus vanwege railverkeer bij de herontwikkeling van de Gooimeerlaan 25 te Leiden.

Aan de Gooimeerlaan 25 te Leiden zullen 90 flexwoningen geplaatst worden. De huidige brandweerkazerne die op deze plaats is gelegen wordt niet meer gebruikt en zal hiervoor worden geamoveerd.

Het plan bevindt zich ca. 25 m afstand van de spoorverbinding Sassenheim/Voorhout en Voorschoten. Deze afstand ligt binnen het standaard aandachtsgebied van 100 m waar conform de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen van het Ministerie van I & W van mei 2019 nader onderzoek naar trillinghinder wenselijk is.

Figuur f 1.1 toont de situering van het betreffende terrein ten opzichte van de nabijgelegen spoorlijnen.



f 1.1 Herontwikkeling Gooimeerlaan 25

Figuur f 1.2 toont een overzicht met de toekomstige gebouwen.



f 1.2 Herontwikkeling Gooimeerlaan 25

Dit onderzoek geeft een eerste beoordeling van de verwachte trillingen in de toekomstige woningen (vooronderzoek). Ten behoeve van het onderzoek zijn trillingmetingen ter plaatse uitgevoerd.

Voor de beoordeling van de in de woningen te verwachten trillingen is uitgegaan van de streefwaarden voor de maximaal optredende trillingssnelheden zoals opgenomen in de Richtlijn deel B "Hinder voor personen in gebouwen door trillingen, Meet- en beoordelingsrichtlijn" van de Stichting Bouwresearch (SBR) van augustus 2006.

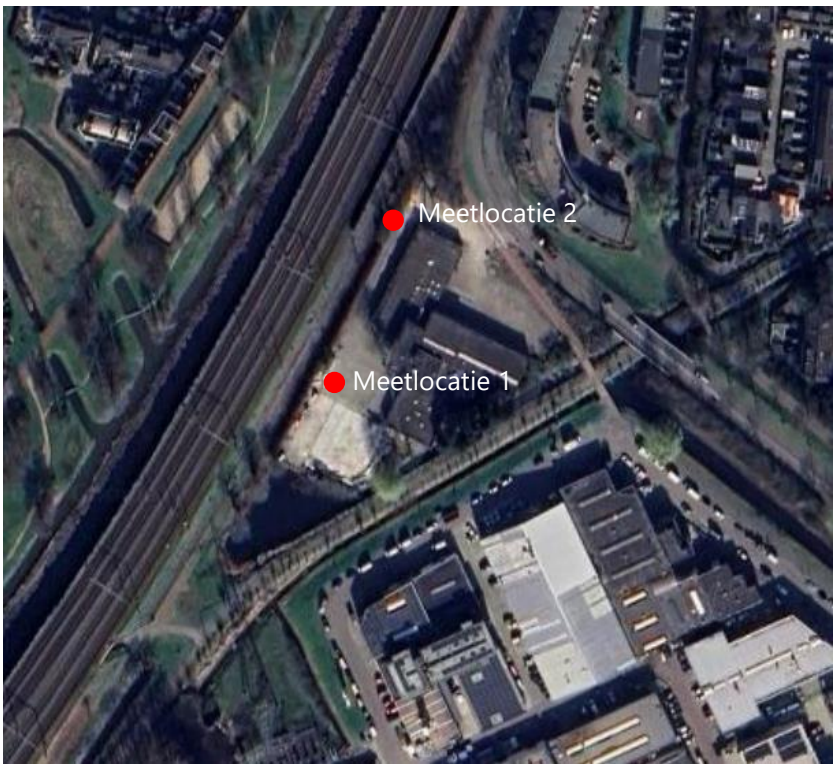
2 Metingen

2.1 Algemeen

De metingen hebben tot doel inzicht te verkrijgen met betrekking tot de trillingniveaus vanwege railverkeer. Ter hoogte van het bouwplan is sprake van meerdere sporen.

Binnen de systematiek van de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen van het Ministerie van I & W van mei 2019 wordt gezien de verwachte variatie in passerende treinen, met name goederentreinen, vaak uitgegaan van meting gedurende één week om een representatief beeld te krijgen. Van 17 juni tot en met 25 juni 2024 zijn binnen het plangebied onbemande trillingmetingen in de bodem verricht op een tweetal locaties. Op deze meetlocaties is daarmee minimaal één week gemeten zodat de meettijd voldoet aan de Handreiking en de meetresultaten representatief geacht mogen worden.

Meetlocatie 1 komt overeen met de dichtstbij het spoor gelegen geprojecteerde gevel van de geprojecteerde nieuwbouw. Meetlocatie 2 is vanwege praktische omstandigheden 5 m dichterbij het spoor gelegen omdat de meetset niet ter plaatse van de dichtstbij het spoor gelegen gevel van de nieuwbouw kon worden geplaatst. Hiervoor zal later worden gecorrigeerd. Figuur f 2.1 toont de ligging van de meetlocaties 1 en 2.



f 2.1 Ligging meetlocaties

Gemeten is in de twee horizontale richtingen, aangeduid met X (parallel aan het spoor) en Y (loodrecht op het spoor), en de verticale richting, aangeduid met Z, gemeten.

Met betrekking tot de uitvoering van metingen is aansluiting gezocht bij de SBR Richtlijn deel B (Hinder voor personen in gebouwen).

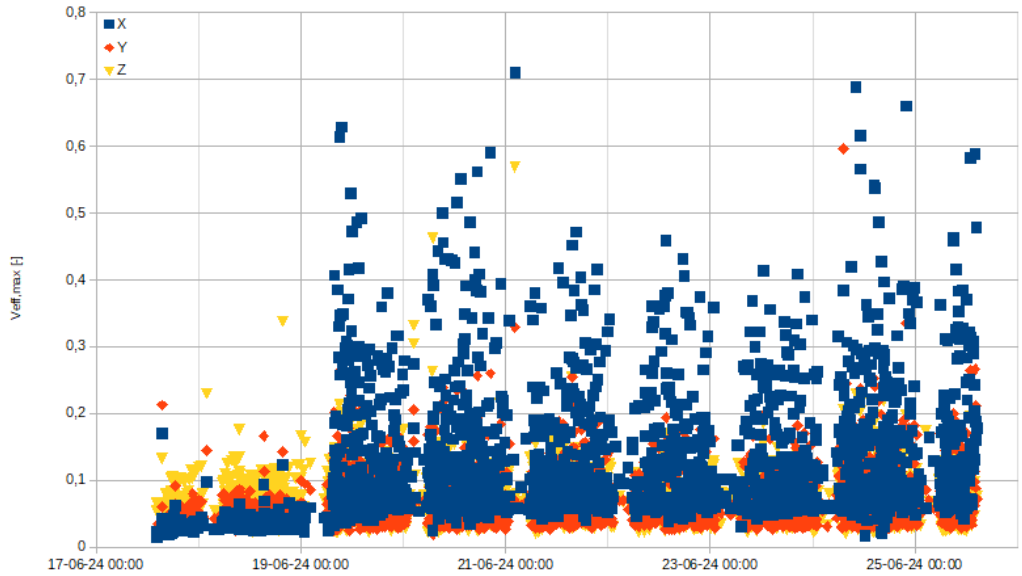
2.2 Meetinstrumenten

De metingen zijn uitgevoerd met behulp van trillingmeetsystemen, fabrikaat SYSCOM, type MR2002-CE. Analyses zijn uitgevoerd met evaluatiesoftware, fabrikaat Ziegler Consultants, type VIEW2002.

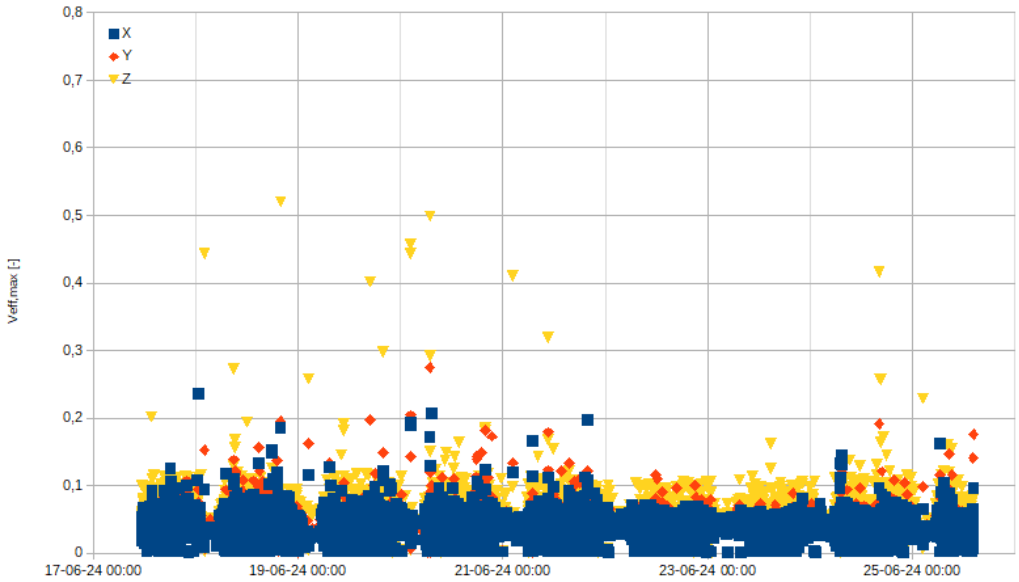
2.3 Meetresultaten

Voor de beoordeling in relatie tot mogelijke trillinghinder is de maximale trillingsterkte V_{max} (dimensieloos) bepaald overeenkomstig SBR richtlijn B (De conform SBR B gewogen waarde over het frequentiegebied van 1 tot 80 Hz). Conform deze richtlijn geldt dat de grootste trillingsterkte in een tijdsinterval van 30 seconde wordt bepaald.

De onbemande metingen die verricht zijn in de bodem geven inzicht in de optredende trillingen over langere tijd. Figuur f 2.2 en f 2.3 tonen een overzicht van de gemeten maximale trillingsterktes $V_{eff,max}$ in horizontale (X en Y) en verticale richting (Z) ter plaatse van respectievelijk meetlocatie 1 en 2.



f 2.2 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem, meetlocatie 1



f 2.3 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem, meetlocatie 2

De getoonde resultaten zijn nog inclusief verstoringen. In locatie 1 is vanaf 19 juni een toename in trillingniveau te zien. Een reden hiervoor is niet bekend. Bij de plaatsing van de meetsets is nog opgevallen dat vlakbij locatie 2 veel verkeer rondrijdt (met name parkerende personenwagens) dat heeft geresulteerd in verstoringen.

Op basis van het gemeten tijdsignaal is vastgesteld of de meetwaarden zijn toe te kennen aan passerende treinen of verstoringen.

3 Beoordeling

3.1 Metingen

Tabel 3.1 toont voor meetlocatie 1 de gemeten maximale trillingsterkte in de bodem als gevolg van de vijf maatgevende treinpassages. De trillingsterkte is gegeven voor de horizontale X-, Y- en verticale Z-richting.

T 3.1 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem, meetlocatie 1

Tijdstip treinpassage	Maximale trillingsterkte in de bodem		
	X	Y	Z
18-06-24 19:49	0,12	0,14	0,34
19-06-24 09:30	0,63	0,27	0,20
21-06-24 02:14	0,71	0,33	0,57
24-06-24 10:05	0,69	0,30	0,23
24-06-24 04:56	0,66	0,33	0,20

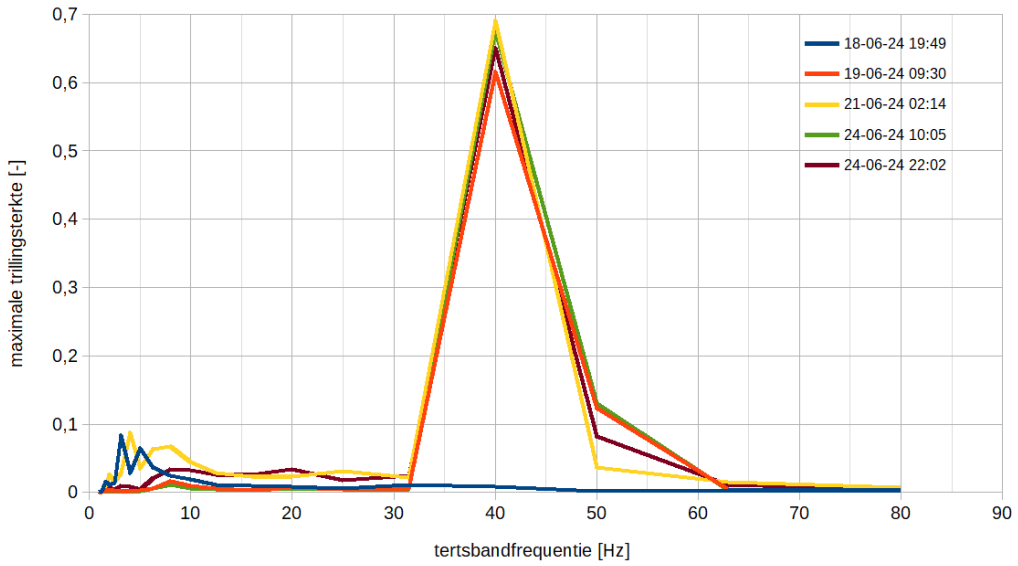
Tabel 3.2 toont op vergelijkbare wijze voor locatie 2 de maximale trillingsterkte in de bodem als gevolg van de vijf maatgevende treinpassages. De trillingsterkte is gegeven voor de horizontale X-, Y- en verticale Z-richting.

t 3.2 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem, meetlocatie 2

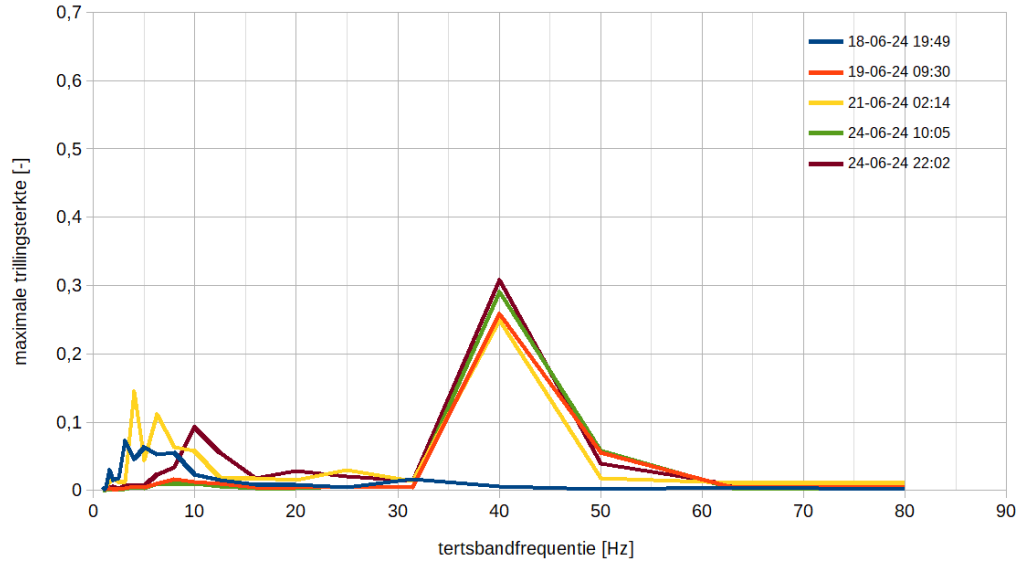
Tijdstip treinpassage	Maximale trillingsterkte in de bodem		
	X	Y	Z
18-06-24 01:58	0,09	0,15	0,44
18-06-24 19:49	0,19	0,19	0,52
20-06-24 02:24	0,19	0,14	0,46
20-06-24 06:50	0,17	0,27	0,50
24-06-24 02:14	0,12	0,13	0,41

Ten behoeve van een beoordeling dient naast de hoogte van de trillingniveaus inzicht te worden verkregen in de spectrale inhoud van de optredende trillingsterktes.

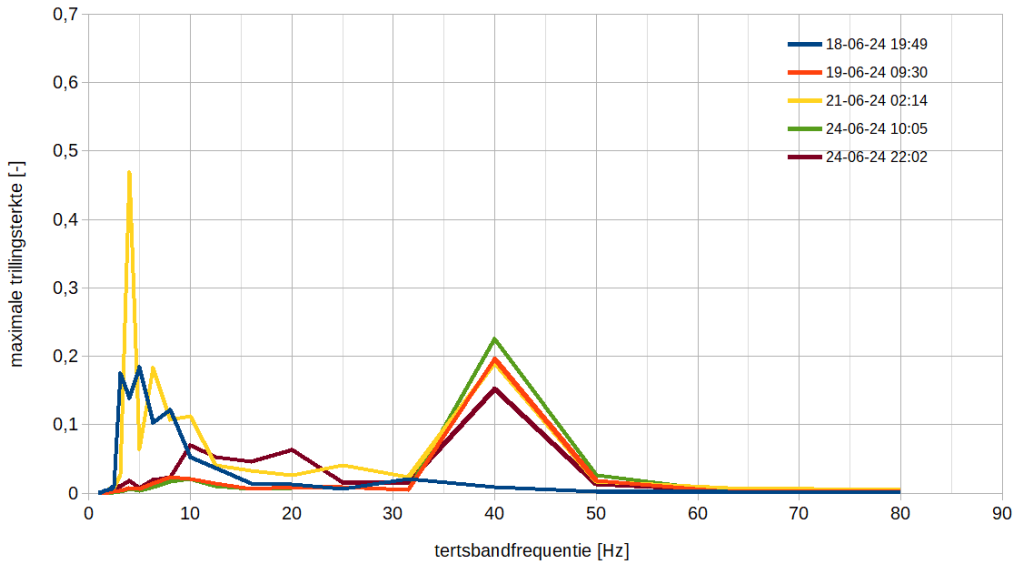
Figuren f 3.1, f 3.2 en f 3.3 tonen de spectrale verdeling van de 5 maatgevende treinpassages ter plaatse van meetlocatie 1. Figuur f 3.1 toont de spectrale verdeling in de horizontale X richting, figuur f 3.2 toont de spectrale verdeling in horizontale Y richting en figuur f 3.3 toont de spectrale verdeling in verticale Z richting.



f 3.1 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages bij meetlocatie 1 (horizontale X richting)



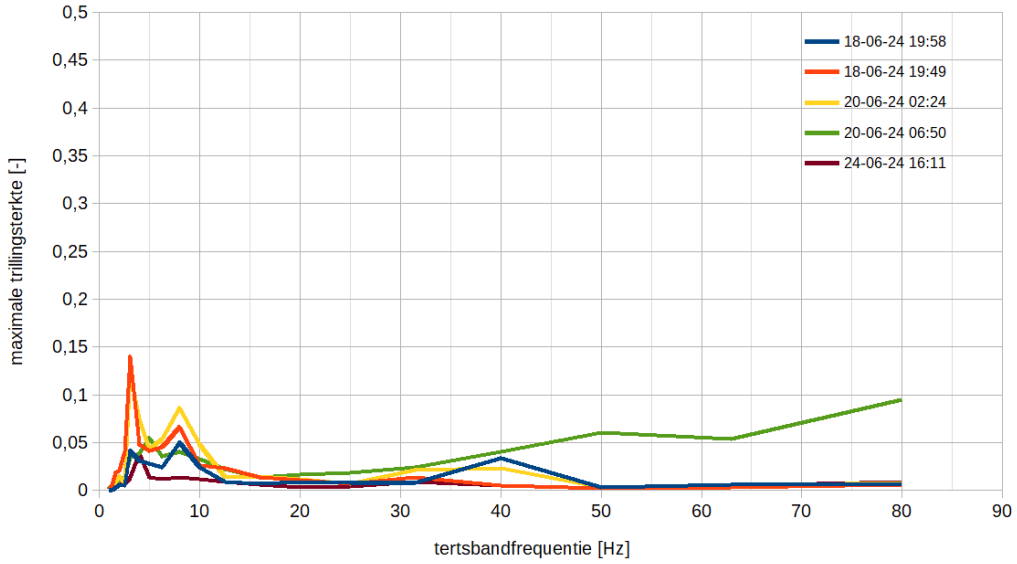
f 3.2 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages bij meetlocatie 1 (horizontale Y richting)



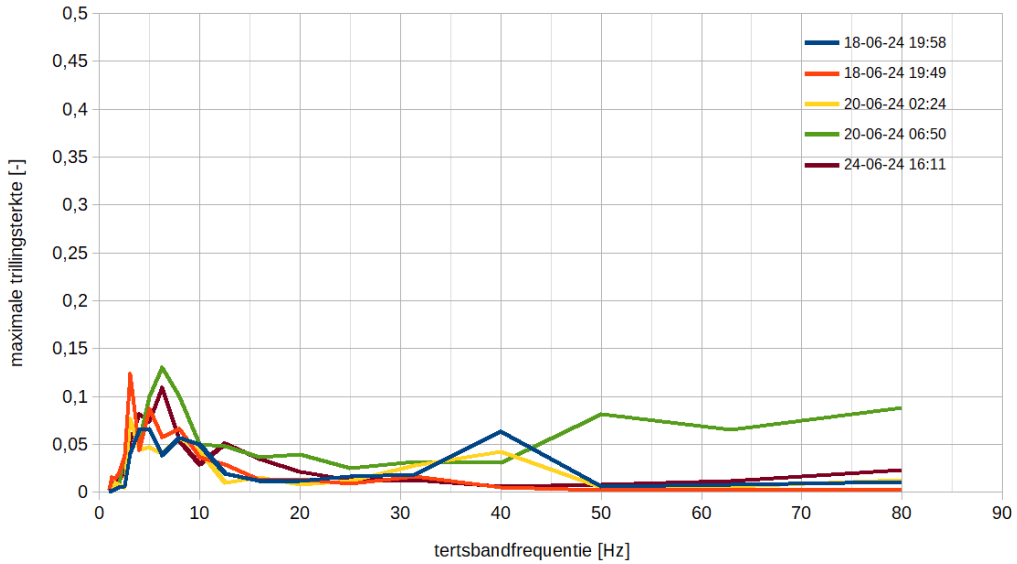
f 3.3 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages bij meetlocatie 1 (verticale Z richting)

De figuren f 3.4, f 3.5 en f 3.6 tonen dat als gevolg van treinpassages sprake is van verhoogde trillingniveaus bij met name 40 Hz in de horizontale x- en y-richting. In de verticale z-richting is sprake van verhoogde trillingniveaus bij met name 4 en 40 Hz.

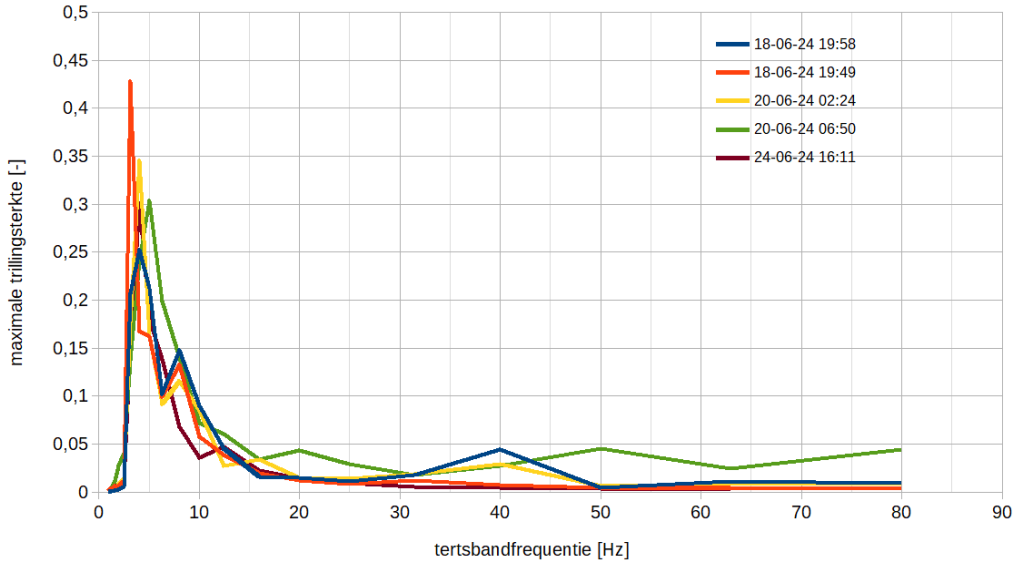
Figuren f 3.4, f 3.5 en f 3.6 tonen op vergelijkbare wijze de spectrale verdeling van de 5 maatgevende treinpassages in meetlocatie 2.



f 3.4 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages bij meetlocatie 2 (horizontale X richting)



f 3.5 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages bij meetlocatie 2 (horizontale Y richting)



f 3.6 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages bij meetlocatie 2 (verticale Z richting)

De figuren f 3.4, f 3.5 en f 3.6 tonen dat als gevolg van treinpassages bij meetlocatie 2 sprake is van verhoogde trillingniveaus in de horizontale richtingen tussen 3 en 10 Hz en boven 50 Hz. In de verticale richting is sprake van verhoogde trillingniveaus tussen 3 en 5 Hz.

Teneinde de (gemiddelde) trillingsterkte over de beoordelingsperiode (V_{per}) in de woning te kunnen berekenen is de (gemiddelde) trillingsterkte over de beoordelingsperiode (V_{per}) in de bodem bepaald.
Tabel t 3.3 toont voor de verschillende meetlocaties het gemiddelde per etmaalperiode (dag, avond en nacht).

t 3.3 Gemiddelde trillingsterkte in de bodem

		Gemiddelde trillingsterkte in de bodem		
		X	Y	Z
Locatie 1	Dag	0,066	0,035	0,033
	Avond	0,053	0,029	0,029
	Nacht	0,054	0,020	0,024
Locatie 2	Dag	0,024	0,024	0,034
	Avond	0,023	0,022	0,030
	Nacht	0,013	0,013	0,021

3.2 Geprojecteerde woningen

In eerste instantie wordt gewezen op de constatering dat met gemeten trillingsterkten tot 0,7 op de plek waar de woningen komen op dit moment sprake is van duidelijk voelbare trillingen in de bodem als gevolg van passerende treinen.

Zoals eerder gesteld zijn de verrichte metingen ter plaatse van meetlocatie 2 5 m dichterbij het spoor verricht dan waar de geprojecteerde woningen komen. Op basis van het verschil in afstand tussen de meetlocatie 2 (20 m afstand tot het spoor) en de locatie van de nieuwe woningen (25 m afstand tot het spoor) wordt een trillingsterkte verwacht tot 0,5 in de bodem bij de nieuwe woningen. Hierbij is rekening gehouden met een bodemdemping van 2% en een geometrische uitbreidingsfactor n van 0,5 (conform Barkan).

Om inzicht te krijgen in de trillingniveaus in de toekomstige gebouwen dienen de nu in de bodem gemeten waarden in principe gecorrigeerd te worden voor ten eerste de overgang van bodem naar fundatie en ten tweede voor mogelijke opslingering in het gebouw. Deze opslingering kan in verticale richting veroorzaakt worden door (vrij overspannen) vloervelden en in horizontale richting kan de gebouwconstructie verder nog voor opslingering zorgen.

De eerstelijnsbebouwing vanaf het spoor bestaat uit flexwoningen. Dit betreffen prefab woningen met een lichte bouwwijze. Bij de overgang van bodem naar fundament zal afhankelijk van de frequentie sprake zijn van een demping tot 5 dB (afname met factor 1,7).

De opslingering van vloerdelen hangt af van eventuele samenvallende vloerresonanties met het excitatiespectrum van de treinpassages en kan 10 tot 15 dB (factor 3 tot 5) bedragen. De opslingering van de gebouwconstructie hangt af van eventuele samenvallende gebouwresonanties met het excitatiespectrum van de treinpassages en kan een factor 3 bedragen. De versterking als gevolg van de gebouwresonanties is op basis van onze ervaring met vergelijkbare projecten in het algemeen beperkt tot het frequentiegebied van ca. 1 Hz tot ca. 16 Hz terwijl de versterking als gevolg van vloerresonanties in het algemeen beperkt is tot het frequentiegebied van ca. 8 tot 31,5 Hz.

Tabel t 3.4 toont de te verwachten trillingsterkte.

t 3.4 Te verwachten trillingsterkte in woningen

Locatie	**Maximale trillingsterkte in de woning**	
	Horizontale XY richting	Verticale Z richting
Zuid (meetlocatie 1)	0,5	0,9
Noord (op basis van meetlocatie 2)	0,5	0,9

De in tabel t 3.4 gegeven waarden kunnen worden gezien als worst case en kunnen optreden als bepaalde (nu nog niet bekende) constructieve eigenschappen op een ongunstige wijze samenvallen. Denk daarbij aan een aanstoting bij een frequentie waar het fundament slechts een lage demping levert terwijl bepaalde vloeren bij dezelfde frequentie juist een sterke opslingering (eigenfrequentie) vertonen. In de praktijk zal nagenoeg altijd sprake zijn van lagere trillingniveaus.

4 Toetsing

4.1 Toetsingskader

Zoals eerder aangegeven is bij de beoordeling aansluiting gezocht bij de richtlijn B 'Hinder voor personen in gebouwen' van de Stichting Bouwresearch (SBR B).

Tabel 4.1 toont de van toepassing zijnde streef- en grenswaarden conform de SBR B (nieuwe situaties, herhaald voorkomende trillingen).

T 4.1 Overzicht streefwaarden conform SBR B, nieuwe situaties

	dag en avond			nacht		
	A_1 [-]	A_2 [-]	A_3 [-]	A_1 [-]	A_2 [-]	A_3 [-]
woning (nieuw)	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

Volgens de SBR dient de maximale trillingssterkte V_{max} in eerste instantie getoetst te worden aan A_1. Indien hieraan voldaan wordt is sprake van een acceptabele situatie. Indien niet wordt voldaan aan A_1 dient de maximale trillingssterkte getoetst te worden aan A_2.

Bij overschrijding van A_2 is sprake van een conform de SBR hinderlijke situatie. In het geval dat wordt voldaan, dient de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor de betreffende ruimte (V_{per}) getoetst te worden aan A_3. Bij overschrijding van A_3 is wederom sprake van een conform de SBR hinderlijke situatie.

Opgemerkt wordt dat de streefwaarden van de SBR in principe geen wettelijke grenswaarden zijn.

Volledigheidshalve nog de kanttekening dat het voldoen aan de streefwaarden van de SBR niet inhoudt dat geen sprake zal zijn van voelbare trillingen. De waarde van 0,1 wordt normaliter gezien als de voelbaarheidsgrens. Een streefwaarde van V_{max} van 0,2 in woningen sluit derhalve niet uit dat bepaalde passages voelbaar kunnen zijn.

4.2 Toetsing

Worst case is in de geprojecteerde woningen sprake van een maximale trillingsterkte tot 0,9.

De streefwaarden A_1 van 0,1 voor nieuwe situaties wordt met een maximale trillingsterkte tot 0,4 overschreden.

Bij overschrijding van de onderste streefwaarde wordt in eerste instantie toetsing aan de bovenste streefwaarde A_2 relevant. Omdat ook in de nacht sprake is van passerende treinen geldt een maatgevende A_2 van 0,2. Deze streefwaarde wordt eveneens overschreden.

In principe is toetsing van de gemiddelde trillingsterkte niet meer aan de orde. Volledigheidshalve is de gemiddelde trillingsterkte bepaald. De gemiddelde trillingsterkte V_{per} bedraagt worst case 0,066 in de bodem. Uitgaande van een vergelijkbare verhouding als bij de maximale trillingsterkte tussen bodem en woning wordt een (gemiddelde) trillingsterkte over de beoordelingsperiode (V_{per}) in de woning verwacht van maximaal 0,065. Deze waarde voldoet niet aan de streefwaarde A_3 van 0,05 voor nieuwe situaties.

Op basis van het bovenstaande volgt dat de streefwaarden van de SBR B voor nieuwe situaties worden overschreden.

5 Mogelijke maatregelen

5.1 Reductiedoelstelling

In principe zijn voor nieuwbouwwoningen nabij spoorwegen technieken beschikbaar die bescherming bieden tegen trillingen.

Met een worst case verwachte trillingsterkte V_{max} in de geprojecteerde woningen van maximaal ca. 0,9 bij een na te streven waarde van 0,2 en een (gemiddelde) trillingsterkte van maximaal 0,065 bij een na te streven waarde van 0,05 kan worden geconcludeerd dat in de woningen een reductiedoelstelling met een factor 4 à 5 aan de orde is. Gezien onze ervaring met vergelijkbare projecten kan in eerste instantie worden opgemerkt dat een dergelijke doelstelling als kritisch maar technisch niet onoplosbaar kan worden gekwalificeerd.

5.2 Mogelijk te treffen maatregelen

Om de trillingen vanwege passerende treinen te reduceren dienen maatregelen te worden getroffen. In principe kan onderscheid worden gemaakt in bronmaatregelen, overdrachtsmaatregelen of maatregelen bij de ontvanger.

Bronmaatregelen zijn meestal het meest effectief. Enerzijds kunnen dit maatregelen zijn die toegepast worden aan het spoor, zoals toepassing van een verend materiaal onder het ballastbed, onder de dwarsliggger, of een verende oplegging van het gehele systeem (floating slab track). Deze maatregelen zijn echter in de praktijk bij bestaand spoor vaak niet meer realistisch.

Anderzijds zijn organisatorische maatregelen ook mogelijk, zoals snelheidsbeperking, evenwichtige belading van goederentreinen en beperken van zware treinen in de nachtperiode.

In de overdracht kan worden gedacht aan toepassing van stijve constructies in de bodem tussen spoor en gebouw (schermen zoals diepwand, jetgrouten wand e.d.), al dan niet bekleed met een extra slappe laag. Ook een onderbreking van de bodem zal trillingen reduceren, denk aan sleuven e.d..

Bij dergelijk oplossingen (zowel stijve wand als sleuf) speelt een belangrijke rol bij welke frequenties de trillingen zich voordoen. Hoogfrequent zijn dergelijke maatregelen vaak al effectief met relatief beperkte diepten. Bij meer laagfrequente trillingen kan het zijn dat dergelijke maatregelen pas zinvol worden met diepten tot 15 à 20 m, soms zelfs nog meer.

Als maatregelen aan het gebouw zelf kan worden gedacht aan het optimaliseren van het vloerontwerp. Bij verticale trillingen is vloergedrag vaak mede bepalend. Verstijven door

toepassing dikkere vloeren, kleinere overspanningen e.d. kunnen dan bijdragen aan verlaging van de trillingniveaus. De eigenfrequentie van vloeren dient daarbij uit de buurt te liggen van de aangeboden trillingen. Het is niet altijd zo dat verstijven beter is. Soms kan het verlagen van de eigenfrequentie, dus een slappere vloer, juist verbetering bieden. Om horizontale trillingen te reduceren kan in het constructieve ontwerp worden gedacht aan verstijven van de constructie (meer constructieve delen, constructief zware kernen enz.).

Ook kan worden gedacht aan het toepassen van een zwaarder fundament. Hierdoor wordt een grotere impedantiesprong gecreëerd tussen bodem en gebouw waarmee de trillingen vanuit de bodem minder makkelijk het gebouw in komen. In principe kan worden gesteld dat des te stijver en zwaarder het fundament wordt uitgevoerd des te meer de trillingniveaus worden gereduceerd.

Verder wordt ook het volledig afveren van gebouwen toegepast. De mogelijkheden worden ook hier in sterke mate bepaald door de 'probleemfrequenties'. Trillingen van 10 à 15 Hz en hoger kunnen in het algemeen op deze wijze nog effectief worden gereduceerd. Als de trillingen laagfrequenter zijn dan wordt het problematisch. Afveren kan soms geschieden op discrete oplegpunten (poeren, paalkoppen e.d.) danwel door het dubbel uitvoeren van fundaties (fundatie - verende laag - fundatie met daarop gebouw).

Dimensioneren en optimaliseren van maatregelen vindt meestal plaats middels een dynamisch rekenmodel (eindige elementen methode) waarbij zowel aanstoting, bodem en geprojecteerd gebouw gemodelleerd worden. Aanstoting en bodem worden dan gebaseerd op de trillingmetingen ter plaatse aangevuld met bodemeigenschappen ontleend aan sonderingen. Het gebouw wordt op basis van de dan beschikbare bouwkundige en constructieve opzet gemodelleerd. Zo kunnen in eerste aanleg de te verwachten trillingen in het gebouw meer in detail in kaart gebracht worden en kunnen vervolgens ook eventuele maatregelen worden doorgerekend.

Dergelijke berekeningen zijn evenwel pas mogelijk en zinvol indien de opbouw van de woningen verder bekend is en zullen derhalve normaliter pas in een later stadium verricht kunnen worden.

5.3 Voorliggende situatie

Zoals eerder aangegeven is de reductiedoelstelling zoals die aan de orde zou kunnen zijn kritisch maar technisch niet onoplosbaar.

Voor het huidige plan wordt geadviseerd om nader onderzoek uit te voeren middels een Eindig Elementen Methode (EEM) studie. Hiermee kan op de eerste plaats een nauwkeuriger voorspelling worden gegeven van de te verwachten trillingsterkte in de geprojecteerde woningen.

Op basis van die voorspelling volgt meer inzicht in de werkelijke overschrijding en welke frequenties maatgevend zijn, waarbij de overschrijding naar verwachting eerder lager uit zal vallen dan hoger omdat bij de huidige voorspelling een worstcase aanname is gemaakt ten aanzien van de opslingering van de trillingen door het gebouw.

6 Conclusie

Op basis van de verrichte metingen kan worden geconcludeerd dat de in het kader van trillinghinder in de woningen na te streven waarden voor nieuwe situaties zoals aangegeven in de Richtlijn deel B "Hinder voor personen in gebouwen door trillingen, Meet- en beoordelingsrichtlijn" van de Stichting Bouwresearch (SBR) van augustus 2006 kunnen worden overschreden.

Teneinde te voldoen aan de criteria van de SBR B dienen de trillingsterkten naar verwachting met een factor 4 à 5 gereduceerd te worden. Op basis van ervaring dient een dergelijke mate van reductie normaliter nog als kritisch maar technisch niet onoplosbaar te worden gekwalificeerd.

Dit rapport bevat 20 pagina's



H 9386-3-RA (D7398PES) EDWIN