



Hartje Eindhoven 2.0

*Te verwachten trillingniveaus als gevolg van
(rail)verkeer*

Concept



Hartje Eindhoven 2.0

*Te verwachten trillingniveaus als gevolg van
(rail)verkeer*

Concept

opdrachtgever SDK Vastgoed bv
rapportnummer HB 6624-1-RA-001
datum 26 mei 2020
referentie LL/EdV/HT/HB 6624-1-RA-001
verantwoordelijke ing. L.F.M. Lemmers
opsteller ing. E. de Vries
+31 24 3570763
e.devries@peutz.nl

peutz bv, postbus 66, 6585 zh mook, +31 85 822 86 00, mook@peutz.nl, www.peutz.nl
kvk 12028033, opdrachten volgens DNR 2011, lid NLingenieurs, btw NL.004933837B01, ISO-9001:2015

mook – zoetermeer – groningen – eindhoven – düsseldorf – dortmund – berlijn – leuven – parijs – lyon

Inhoudsopgave

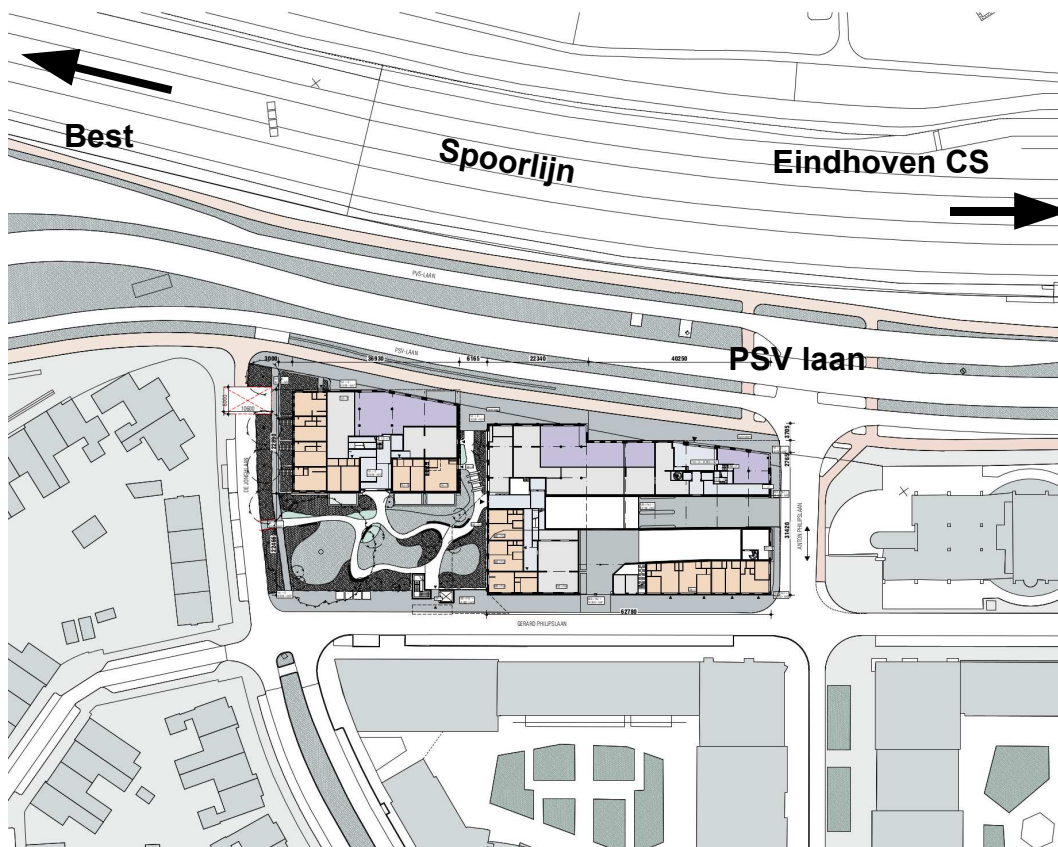
1	Inleiding	4
2	Metingen	6
2.1	Algemeen	6
2.2	Meetinstrumenten	7
2.3	Meetresultaten	7
3	Beoordeling	10
3.1	Metingen	10
3.2	Geprojecteerde woningen	14
4	Toetsing	16
4.1	Toetsingskader	16
4.2	Toetsing	16
5	Mogelijke maatregelen	18
5.1	Reductiedoelstelling	18
5.2	Maatregelen (algemeen)	18
5.3	Voorliggende situatie	19
6	Conclusie	21

1 Inleiding

In opdracht van SDK Vastgoed BV is een onderzoek verricht inzake te verwachten trillingniveaus vanwege met name railverkeer in geprojecteerde woningen van het nieuwbouwplan "Hartje Eindhoven 2.0" te Eindhoven.

Het bouwplan is gesitueerd tot op korte afstand van de spoorlijn tussen Eindhoven CS en Best. Binnen het bouwplan zijn drie bouwblokken, allen op een afzonderlijk perceel, geprojecteerd. Binnen deze blokken zullen voornamelijk woonappartementen worden gerealiseerd. Naast de woningen zijn op de begane grond commerciële ruimten (winkel functie) geprojecteerd.

f1.1 Overzicht bouwplan



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

Voor de beoordeling van de in de woning te verwachten trillingen is, zoals gebruikelijk, 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. Deze systematiek sluit eveneens aan bij de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen van mei 2019 van het Ministerie van I & W.

2 Metingen

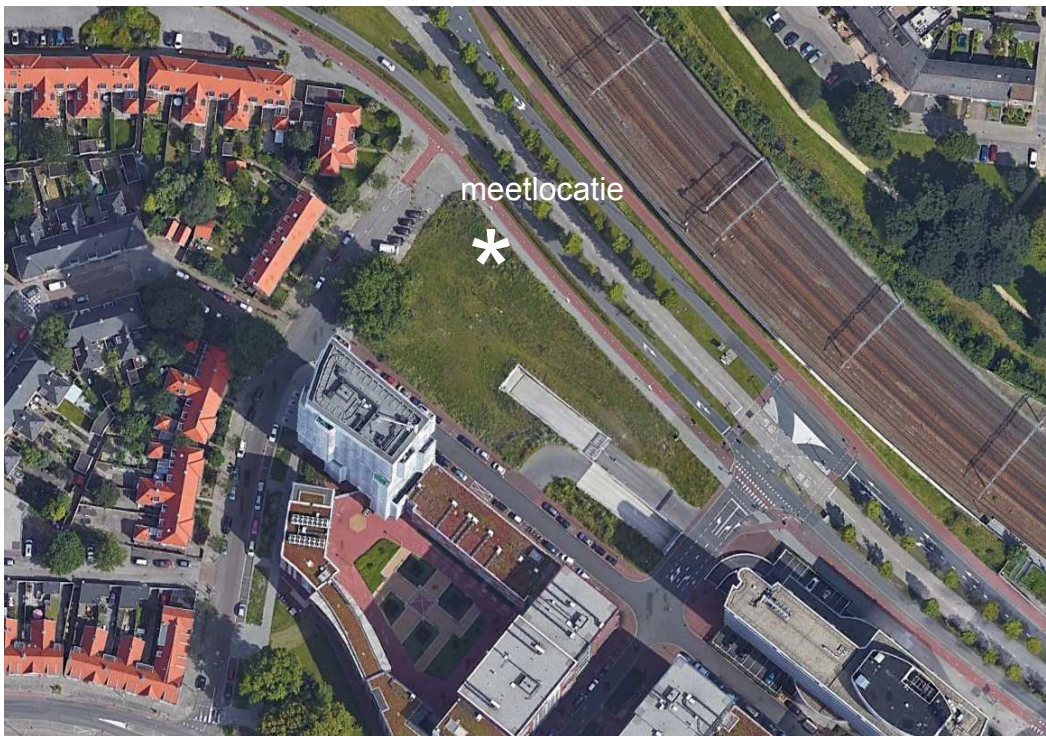
2.1 Algemeen

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

Van 25 maart tot en met 31 maart 2020 zijn binnen het plangebied onbemande trillingmetingen in de bodem verricht. Hierbij zijn ter hoogte van de dichtstbij het spoor gelegen geprojecteerde gevel trillingmetingen uitgevoerd.

Figuur 2.1 toont de ligging van de meetlocatie.

f2.1 Ligging meetlocatie



Hierbij 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.

Daarnaast zijn gedurende korte tijd trillingmetingen verricht op de bouwkundige constructie van de reeds aanwezige parkeergarage om de optredende trillingniveaus te bepalen vanwege in- en uitrijdende voertuigen. Deze bouwkundige constructie blijft onderdeel van de toekomstige bouwkundige constructie van de nieuwbouw.

Met betrekking tot de uitvoering van metingen is aansluiting gezocht bij de SBR Richtlijn deel B (Hinder voor personen in gebouwen). Verder is aansluiting gezocht bij de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen van het Ministerie van I & W. In deze Handreiking is onder andere aangegeven dat meting gedurende een week normaliter voldoende is om een representatief beeld te verkrijgen van de passerende treinen (met name eventuele goederentreinen). Vanaf 21 maart wordt als gevolg van overheidsmaatregelen door de NS gereden met een zogenaamde basisdienstregeling. Hierbij is met name sprake van de inzet van minder reizigerstreinen. Zoals navolgend nog aan te geven blijken goederentreinen maatgevend voor de op dit moment hoogste optredende treintrillingen. De metingen zijn daarmee voor een vooronderzoek als het onderhavige als voldoende representatief aan te merken.

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.

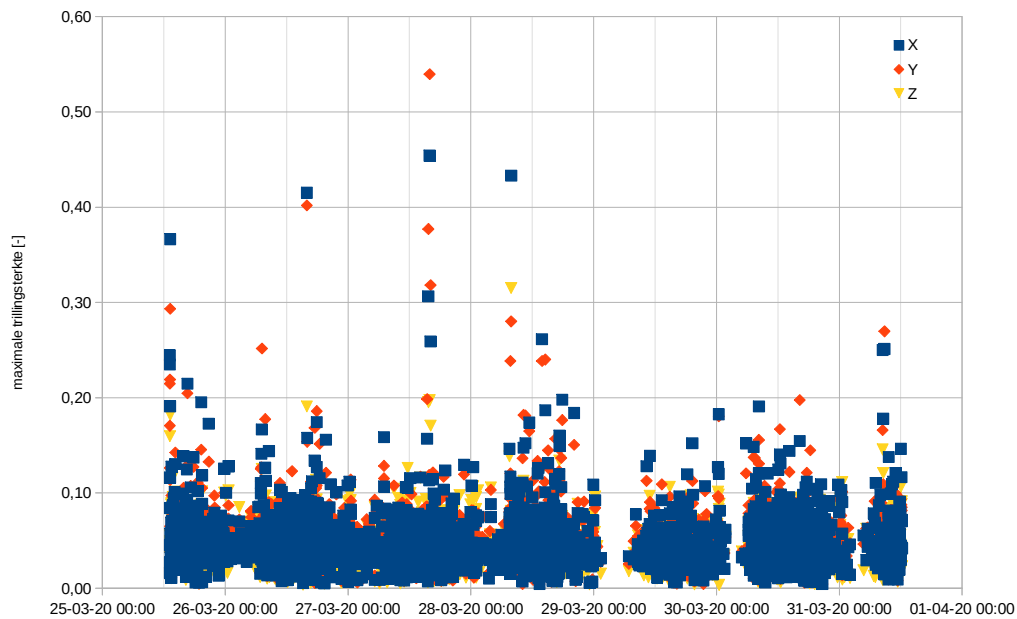
2.3 Meetresultaten

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 2.2 toont een overzicht van de gemeten maximale trillingsterktes V_{\max} in horizontale (X en Y) en verticale richting (Z) . De getoonde resultaten zijn nog inclusief mogelijke verstoringen.

f2.2 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem

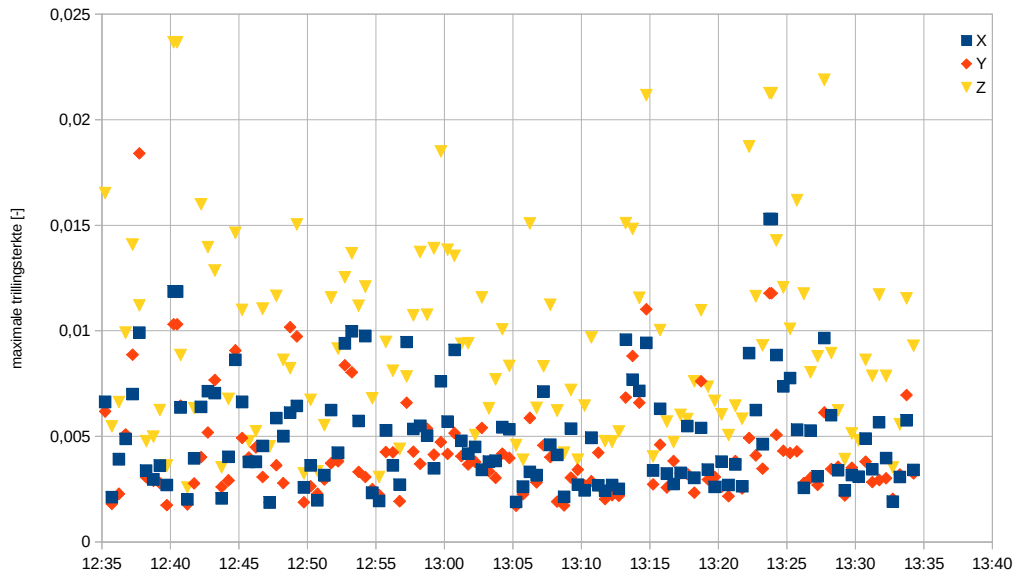


Op basis van het gemeten tijdsignaal en de bijbehorende frequenties is vastgesteld of de meetwaarden zijn toe te kennen aan passerende treinen of verstoringen.

Om vervolgens onderscheid te maken tussen passagierstreinen en goederentreinen is gekeken naar de tijdsduur van het signaal, de frequentie-inhoud van signaal en het moment van passeren.

Om inzicht te krijgen in de optredende trillingen in de bouwkundige constructie van de parkeergarage zijn 18 maart gedurende 1 uur metingen verricht waarbij tijdens dat uur meerdere voertuigen in- en uit de parkeergarage zijn gereden. Figuur 2.3 toont de gemeten maximale trillingsterkte in de bouwkundige constructie.

f2.3 Gemeten maximale trillingsterkte in de bouwkundige constructie van de parkeergarage



3 Beoordeling

3.1 Metingen

Tabel 3.1 toont de gemeten maximale trillingsterkte in de bodem als gevolg van de 4 maatgevende passages. Op basis van de passageduur en frequentie-inhoud is vastgesteld dat dit allemaal wegverkeerpassages zijn geweest. Hoewel voorliggend onderzoek in eerste instantie gericht is op trillingen vanwege passerende treinen zijn de trillingen vanwege deze voertuigpassages vooralsnog meebeschouwd. De trillingen worden veroorzaakt door rijden over de tussen het spoor en het plan gelegen busbaan. De trillingsterkte is gegeven voor de horizontale X-, Y- en verticale Z-richting.

t3.1 *Optredende maximale trillingsterkte in de bodem, wegverkeerpassages*

Tijdstip wegverkeerpassages	Maximale trillingsterkte in de bodem		
	X	Y	Z
27-03-20 15:56	0,45	0,54	0,20
26-03-20 15:57	0,42	0,40	0,19
27-03-20 15:40	0,31	0,38	0,20
25-03-20 13:15	0,37	0,29	0,18

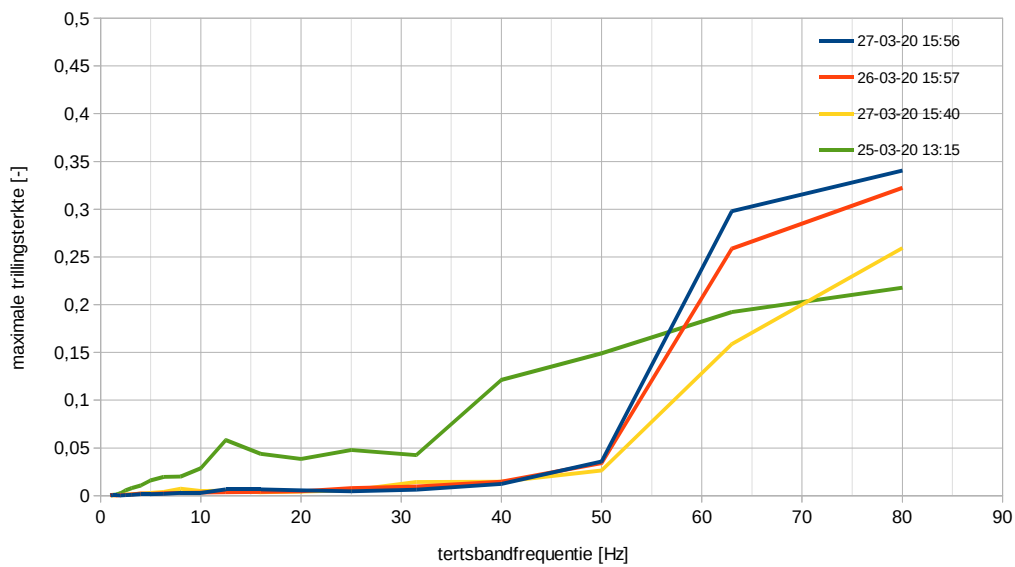
Vervolgens zijn de optredende trillingen vanwege passerende treinen bepaald. Hierbij is wederom gekeken naar passageduur en frequentie-inhoud. Tabel 3.2 toont de gemeten maximale trillingsterkte in de bodem als gevolg van de 4 maatgevende treinpassages. De trillingsterkte is gegeven voor de horizontale X-, Y- en verticale Z-richting.

t3.2 *Optredende maximale trillingsterkte in de bodem, treinpassages*

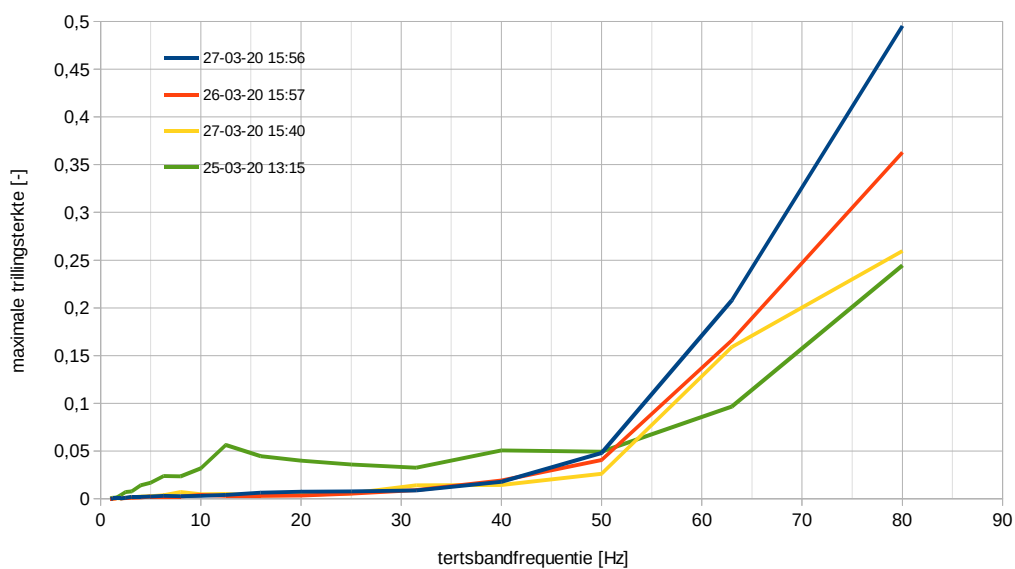
Tijdstip treinpassage	Maximale trillingsterkte in de bodem		
	X	Y	Z
26-03-20 17:45	0,08	0,10	0,11
27-03-20 11:39	0,10	0,10	0,13
27-03-20 14:08	0,12	0,12	0,12
28-03-20 17:19	0,16	0,15	0,16

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 3.1, 3.2 en 3.3 tonen de spectrale verdeling van de 4 maatgevende wegverkeerpassages. Figuur 3.1 toont de spectrale verdeling in de horizontale X richting, figuur 3.2 toont de spectrale verdeling in horizontale Y richting en figuur 3.3 toont de spectrale verdeling in verticale Z richting.

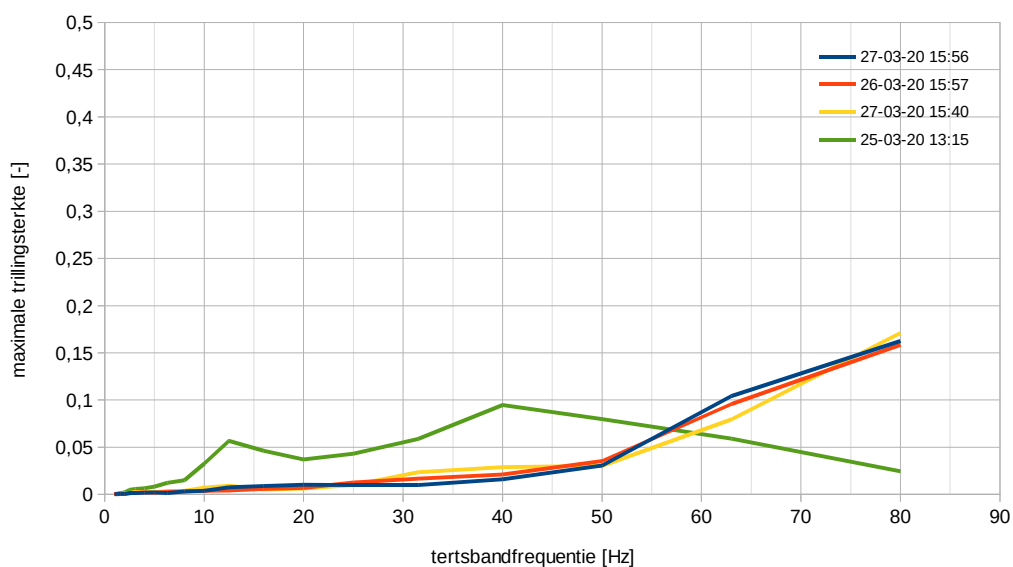
f3.1 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de wegverkeerpassages (horizontale X richting)



f3.2 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de wegverkeerpassages (horizontale Y richting)



f3.3 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de wegverkeer passages (verticale Z richting)

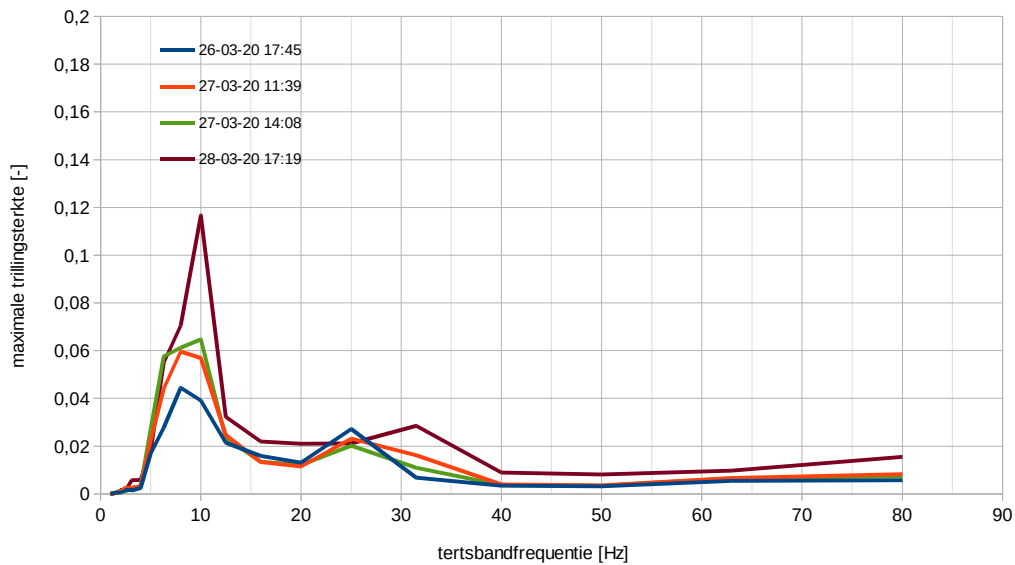


De figuren tonen dat als gevolg van een wegverkeer sprake is van verhoogde trillingniveaus in een frequentiegebied boven ca. 60 Hz in x- en y-richting. In de z-richting is sprake van aanzienlijk lagere trillingniveaus.

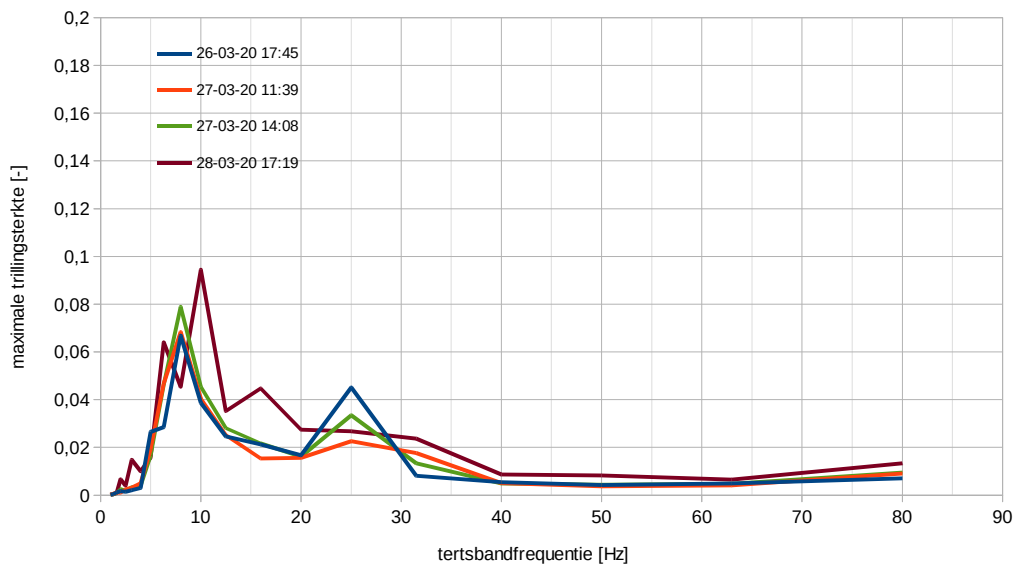
Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat de gemeten waarden opvallend hoogfrequent zijn. De treinpassages, zie hierna, vertonen een beeld dat wel als gangbaar kan worden aangemerkt zodat een artefact in de metingen niet voor de hand ligt en eerder sprake lijkt van een fenomeen dat samenhangt met de specifieke situatie ter plaatse bij de busbaan.

Figuren 3.4, 3.5 en 3.6 tonen op vergelijkbare wijze de spectrale verdeling van de 4 maatgevende treinpassages.

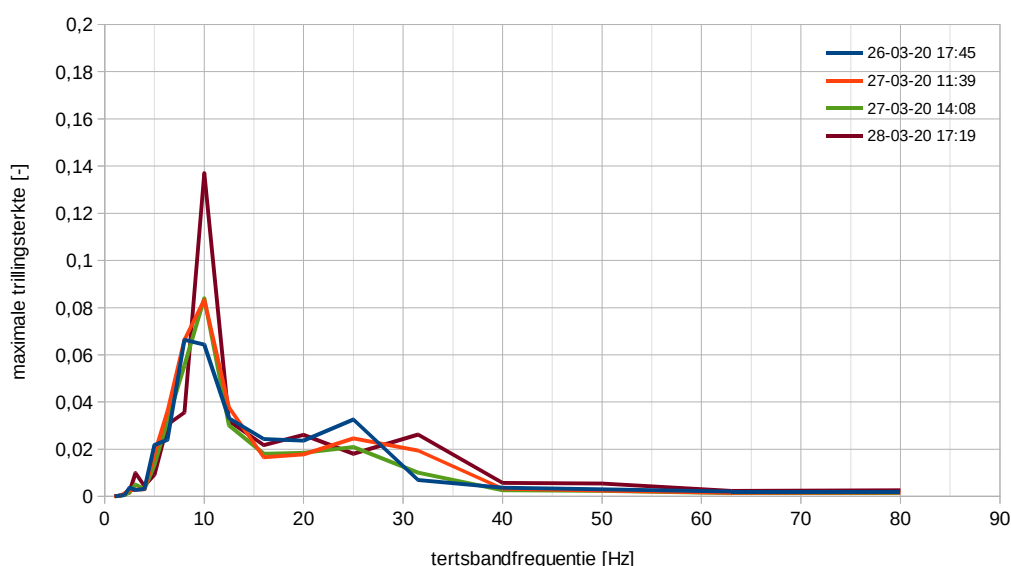
f3.4 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages (horizontale X richting)



f3.5 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages (horizontale Y richting)



f3.6 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages (verticale Z richting)



De figuren tonen dat als gevolg van een treinpassage sprake is van verhoogde trillingniveaus in een frequentiegebied rond 10 Hz.

3.2 Geprojecteerde woningen

Om inzicht te krijgen in de trillingniveaus in het toekomstige woongebouw 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 opslinging in het gebouw. Deze opslinging kan in verticale richting veroorzaakt worden door (vrij overspannen) vloervelden en in horizontale richting kan de gebouwconstructie verder nog voor opslinging zorgen.

Binnen het plan komen onder andere appartementen. Bij de overgang van bodem naar fundament zal afhankelijk van de frequentie sprake zijn van een demping tot 10 dB (afname met factor 3) bij woningen.

De opslinging 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 opslinging van de gebouwconstructie hangt af van eventuele samenvallende gebouwresonanties met het excitatiespectrum van de treinpassages en kan eveneens een factor 3 tot 5 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. 4 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.

Bovenstaande zorgt ervoor dat het wegverkeer, waar sprake is van relatief hoge aanstootfrequenties ten eerste meer demping zullen ondervinden bij de overgang van bodem naar fundament, en verder minder opslinging ondervinden in vloeren e.d., dan de passerende treinen. Als gevolg daarvan zullen, in tegenstelling tot in de bodem waar de hoogste trillingsterkte wordt gemeten als gevolg van wegverkeer, in de appartementen de hoogste trillingsterkten optreden als gevolg van passerende treinen.

Tabel 3.3 toont de te verwachten trillingsterkte als gevolg van zowel wegverkeer als treinpassages.

t3.3 Te verwachten trillingsterkte in woningen

	Te verwachten trillingsterkte [-]	
	horizontale XY richting	verticale Z richting
woningen, vanwege voertuigen	0,2	0,2
woningen, vanwege treinen	0,7	0,8

De in tabel 3.3 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 opslinging (eigenfrequentie) vertonen. In de praktijk zal nagenoeg altijd sprake zijn van lagere trillingniveaus.

Verder zijn de optredende trillingen in de bouwkundige constructie van de parkeergarage indicatief beschouwd. De maximale trillingsterkte bedraagt daar 0,025 en de activiteiten in de parkeergarage kunnen daarmee worden gezien als verwaarloosbaar in relatie tot de wegverkeer- en treintrillingen.

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).

t4.1 Overzicht streefwaarden conform SBR B

	dag en avond			nacht		
	A ₁ [-]	A ₂ [-]	A ₃ [-]	A ₁ [-]	A ₂ [-]	A ₃ [-]
woning	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 A₁. Indien hieraan voldaan wordt is sprake van een acceptabele situatie. Indien niet wordt voldaan aan A₁ dient de maximale trillingssterkte getoetst te worden aan A₂.

Bij overschrijding van A₂ 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 A₃. Bij overschrijding van A₃ 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

Voor woningen geldt een zogenaamde onderste streefwaarde A₁ van 0,1. Deze waarde wordt, gezien de worst case maximale trillingsterkte tot 0,8 in de geprojecteerde woningen, ruim overschreden. Deze trillingen worden verwacht als gevolg van passerende treinen. Als gevolg van de passerende wegvoertuigen wordt een maximale trillingsterkte verwacht tot 0,2. Deze waarde overschrijdt ook de streefwaarde A₁ van 0,1.

Bij overschrijding van de onderste streefwaarde wordt in eerste instantie toetsing aan de bovenste streefwaarde A₂ relevant. Omdat ook in de nacht sprake is van passerende treinen



en voertuigen geldt een maatgevende A_2 van 0,2. Deze waarde wordt voor treinen ook ruim overschreden, waarmede sprake is van een in relatie tot de SBR B niet inpasbare situatie. Voor de wegvoertuigen wordt juist voldaan aan deze waarde.

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. 0,8 bij een na te streven waarde van 0,2 kan worden geconcludeerd dat in de woningen een reductiedoelstelling met circa een factor 4 aan de orde is. Gezien onze ervaring met vergelijkbare projecten kan in eerste instantie worden opgemerkt dat een dergelijke doelstelling in het onderhavige geval als technisch realiseerbaar kan worden gekwalificeerd.

5.2 Maatregelen (algemeen)

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 dwarsligger, of een verende oplegging van het gehele systeem (floating slab track).

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

Zowel bron- als organisatorische maatregelen zijn normaliter in de praktijk bij bestaand spoor niet meer realistisch.

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 laagfrequentier 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 als technisch onoplosbaar aan te merken. De verwachte hoge waarden kunnen optreden als gebouw- en vloerresonanties samenvallen met bijvoorbeeld de nu gemeten sterke aanstoting bij 10 Hz. Verder kunnen hoge waarden optreden als een fundament wordt toegepast met een zeer beperkte demping. Om een worstcase inschatting te maken is bij de prognose in eerste instantie ook uitgegaan van een fundament met een beperkte demping.

Door in het ontwerpproces fundament en constructieve opbouw te optimaliseren kan naar verwachting een inpasbare situatie worden gekregen. Aandachtspunten zijn dat gebouw- en vloerfrequenties niet samenvallen met de hoge aanstoting in het frequentiegebied (rond 10 Hz) van de maatgevende treinen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan vloeren met voldoende hoge eigenfrequenties.



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 verricht van de te verwachten trillingsterkte in de woningen. Op basis van die voorspelling volgt meer inzicht in de werkelijke overschrijding en waar 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.

Op de tweede plaats kan met een EEM model het effect van de maatregelen worden onderzocht. Hiermee kunnen zowel maatregelen aan het fundament als maatregelen in het gebouw worden beschouwd.

6 Conclusie

Op basis van de verrichte metingen kan worden geconcludeerd dat de in het kader van trillinghinder in woningen na te streven waarden 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 zullen worden overschreden.

Op basis van ervaring dient de situatie beoordeeld te worden als kritisch maar nog wel technisch oplosbaar. De exacte maatregelen zullen in een later stadium dienen te worden gedimensioneerd op basis van aanvullende dynamische berekeningen. Middels deze maatregelen kan een acceptabel woonklimaat worden gewaarborgd zodat qua trillingen geen belemmeringen bestaan om het bestemmingsplan vast te stellen.

Mook,

Dit rapport bevat 21 pagina's