



Nieuwbouw 2e Daalsedijk (deelgebied 2 t/m 4) te Utrecht

Te verwachten trillingniveaus als gevolg van railverkeer



Nieuwbouw 2e Daalsedijk (deelgebied 2 t/m 4) te Utrecht

Te verwachten trillingniveaus als gevolg van railverkeer

opdrachtgever NS Stations
rapportnummer HC 5534-1-RA
datum 9 februari 2018
referentie TKe/EdV/HT/HC 5534-1-RA
verantwoordelijke ir [REDACTED]
opsteller [REDACTED]
 +31 24 357 [REDACTED]
 [REDACTED]@peutz.nl

peutz bv, postbus 66, 6585 zh mook, +31 24 357 07 07, mook@peutz.nl, www.peutz.nl

kvk 12028033, opdrachten volgens DNR 2011, lid NLingenieurs, btw NL.004933837B01, ISO-9001:2015

mook – zoetermeer – groningen – 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	9
3.1	Metingen	9
3.2	Geprojecteerde woningen	13
4	Toetsing	14
4.1	Toetsingskader	14
4.2	Toetsing	14
5	Mogelijke maatregelen	16
5.1	Reductiedoelstelling	16
5.2	Mogelijk te treffen maatregelen	16
5.3	Voorliggende situatie	17
6	Conclusie	18

1 Inleiding

In opdracht van NS Stations B.V. te Zoetermeer is een onderzoek verricht inzake te verwachten trillingniveaus vanwege railverkeer in geprojecteerde woningen aan de 2e Daalsedijk te Utrecht.

Het bouwplan is gesitueerd tot op korte afstand van de spoorlijn Utrecht -Amsterdam. Het bouwplan bestaat uit meerdere woonblokken waarin met name appartementen zijn voorzien. Op dit moment is de exacte invulling van het bouwplan niet bekend.

Figuur 1.1 toont de ligging van de geprojecteerde woningbouw, met afstanden tot ca. 25 m uit het hart van het meest nabijgelegen spoor. In voorliggend onderzoek is uitgegaan van de worstcase situatie dat appartementengebouwen zijn voorzien ter plaatse van de paarse blokken.

f1.1 Overzicht bouwproject aan de 2e Daalsedijk te Utrecht



Het onderzoek dient te worden gezien als een vooronderzoek waarbij, mede gebruik makend van trillingmetingen ter plaatse, een eerste beoordeling wordt gegeven.



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.

2 Metingen

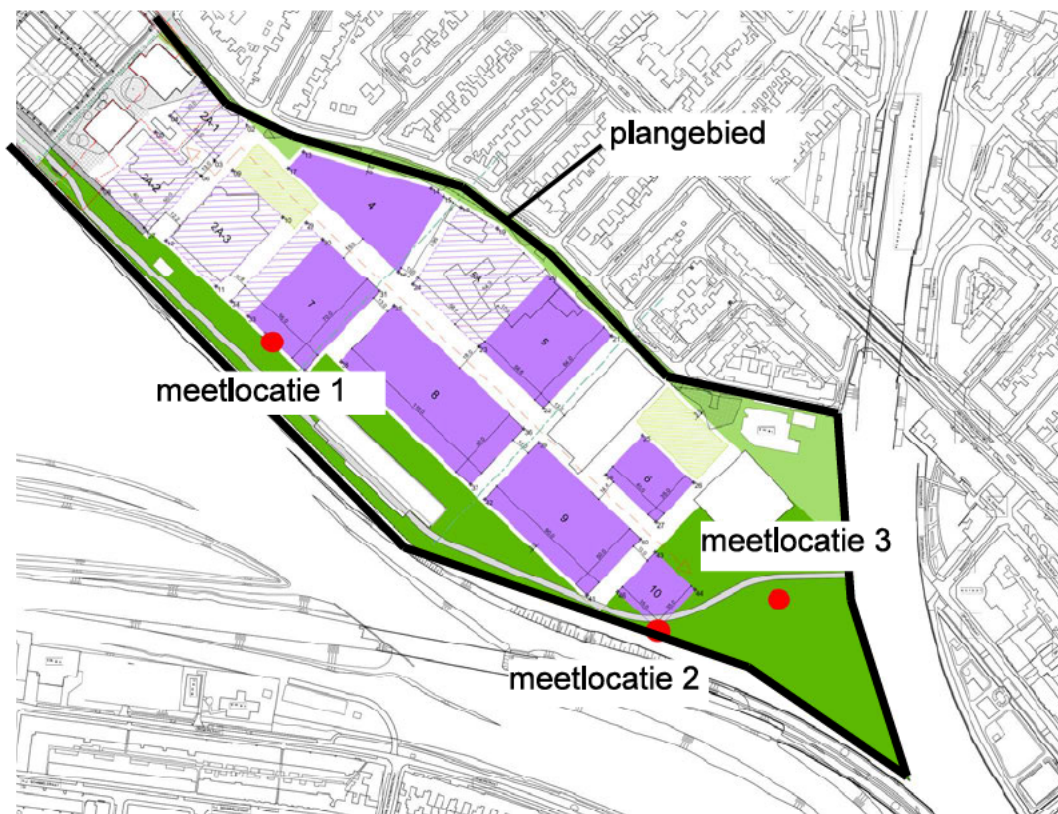
2.1 Algemeen

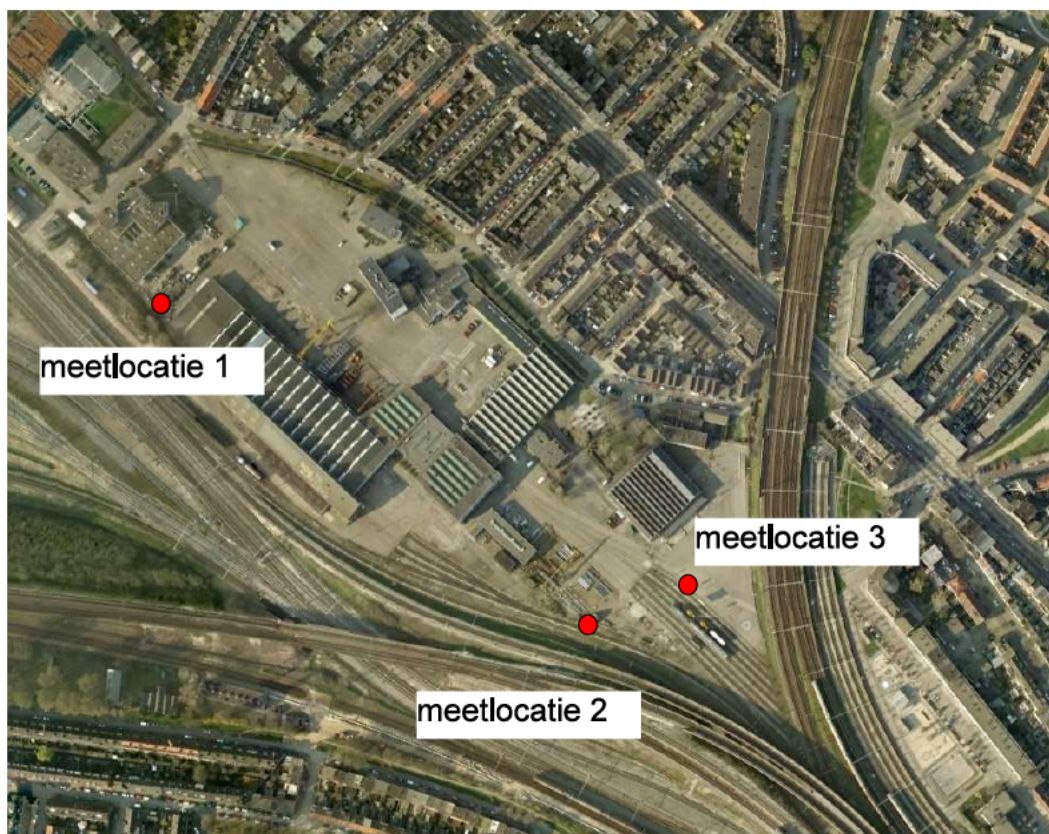
De metingen hebben tot doel inzicht te verkrijgen met betrekking tot de trillingniveaus vanwege railverkeer. Ter hoogte van het bouwplan is sprake van meerdere spoorlijnen.

Van 8 december tot en met 15 december 2017 zijn binnen het plangebied onbemande trillingmetingen in de bodem verricht. Hierbij zijn ter hoogte van de dichtstbij het spoor gelegen gevels van twee appartementengebouwen (aangeduid met 1 en 2 in figuur 2.1) de trillingmetingen uitgevoerd. Meetlocatie 3 is met name benut om achteraf te kunnen bepalen op welk spoor een trein heeft gereden. Dit is met name relevant in het kader van een mogelijk vervolgonderzoek waarbij de afstand van spoor tot woning nodig is.

Figuur 2.1 toont de ligging van de meetlocaties.

f2.1 Ligging meetlocaties





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.

Met betrekking tot de 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.

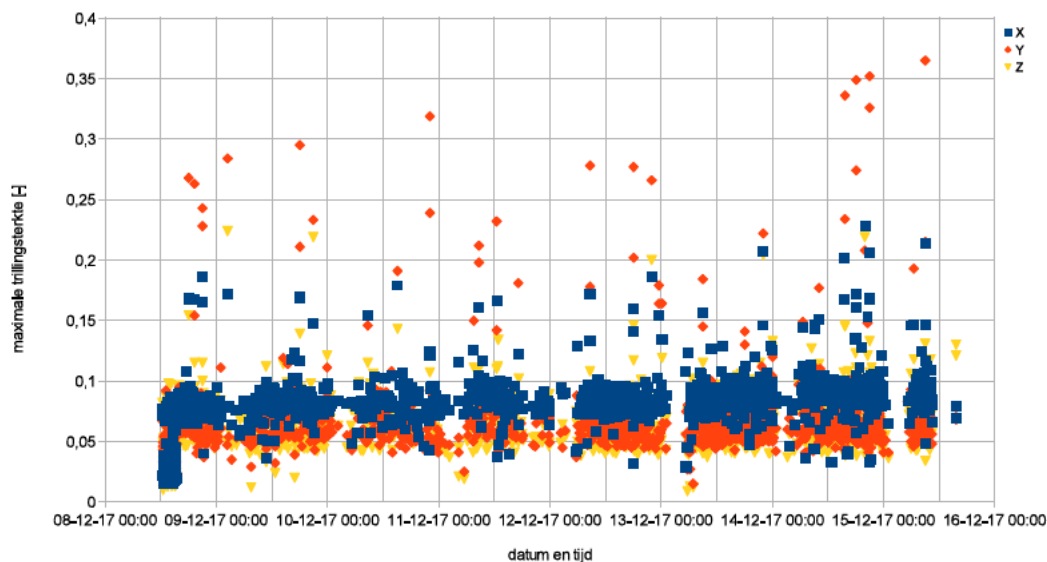
2.3 Meetresultaten

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 op de bodem geven inzicht in de optredende trillingen over langere tijd.

Illustratief toont figuur 2.2 een overzicht van de in meetlocatie 1 gemeten maximale trillingsterktes $V_{\max}$ in horizontale (X en Y) en verticale richting (Z).

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 wijzen aan passerende treinen of verstoringen. Om 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.

3 Beoordeling

3.1 Metingen

Op basis van de meetresultaten volgt dat de hoogste trillingsterktes in de bodem bepaald worden door goederentreinen. Gezien het aantal gepasseerde (goederen)treinen kunnen de meetresultaten als voldoende representatief worden aangemerkt.

Tabel 3.1 toont de gemeten maximale trillingsterkte in de bodem als gevolg van een achttal passages die in de hoogste trillingsterkten resulteerden. De trillingsterkte is gegeven voor de horizontale X-, Y- en verticale Z-richting.

t3.1 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem

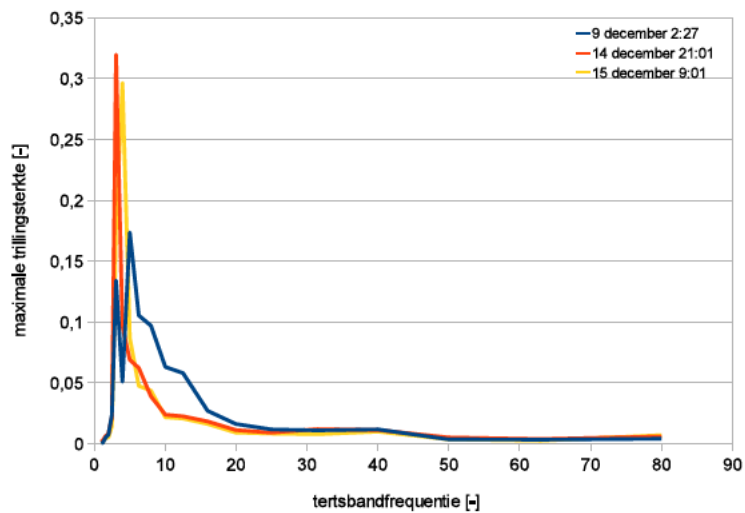
Datum en tijdstip treinpassage	Maximale trillingsterkte in de bodem					
	meetlocatie 1			meetlocatie 2		
	X	Y	Z	X	Y	Z
08-12-17 18:02	0,17	0,27	0,15	0,15	0,19	0,32
09-12-17 02:27	0,17	0,28	0,22	0,14	0,20	0,27
12-12-17 18:29	-	-	-	0,17	0,14	0,33
12-12-17 21:59	0,19	0,27	0,20	0,19	0,24	0,37
14-12-17 15:39	0,20	0,34	0,15	0,11	0,12	0,11
14-12-17 18:04	0,16	0,35	0,14	0,12	0,13	0,13
14-12-17 21:01	0,21	0,35	0,13	0,11	0,13	0,13
15-12-17 09:01	0,21	0,37	0,13	0,18	0,16	0,13

In horizontale richting treden de hoogste trillingsterktes op met maximale trillingsterktes tot 0,4 als gevolg van een goederentrein. In verticale richting is sprake van een maximale trillingsterkte tot 0,4, eveneens als gevolg van een goederentrein. In horizontale X richting zijn de trillingsterkten in beide meetlocaties lager dan in de overige richtingen, derhalve is bij de verdere beschouwingen de horizontale X richting buiten beschouwing gelaten.

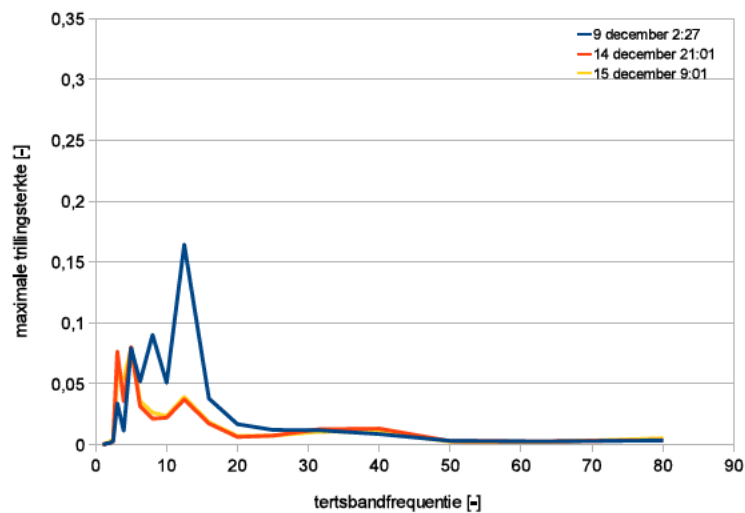
Bij vergelijking van de maximaal optredende trillingsterktes ter plaatse van beide meetlocaties is sprake van enig verschil. In locatie 1 treden hogere trillingniveaus op in horizontale X richting. In locatie 2 treden juist hogere trillingniveaus op in verticale Z richting.

Ten behoeve van de verdere beoordeling dient inzicht te worden verkregen in de spectrale inhoud van de optredende trillingsterktes. Figuren 3.1 en 3.2 tonen de spectrale verdeling van de maatgevende treinpassages in meetlocatie 1 in respectievelijk de horizontale Y richting en verticale Z richting.

f3.1 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages (horizontale Y richting) in locatie 1



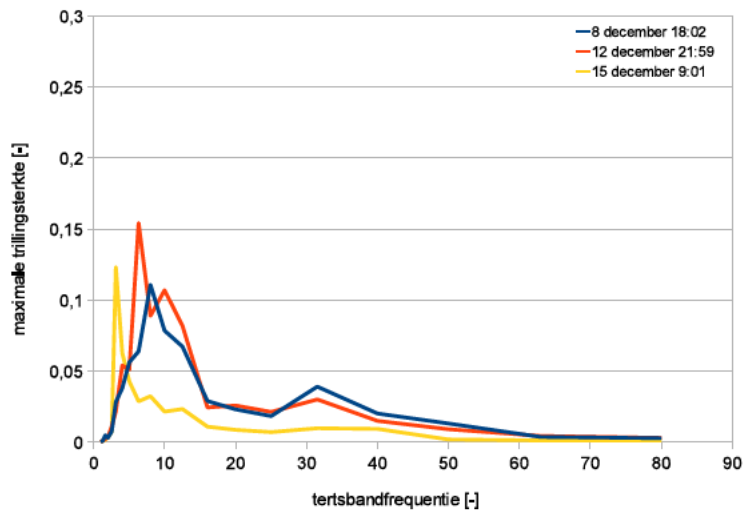
f3.2 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages (verticale Z richting) in locatie 1



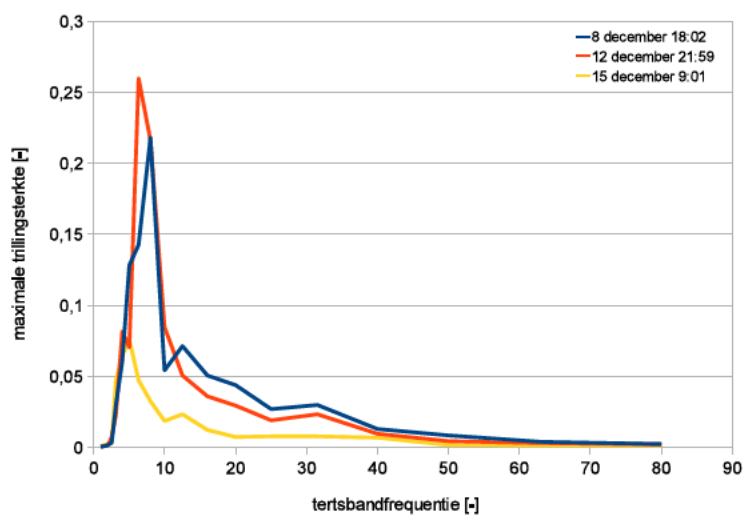
De figuren tonen dat als gevolg van een treinpassage sprake is van verhoogde trillingniveaus in een frequentiegebied tussen globaal 3 en 16 Hz.

Op vergelijkbare wijzen tonen figuren 3.3 en 3.4 de spectrale verdeling in meetlocatie 2.

f3.3 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages (horizontale Y richting) in locatie 2



f3.4 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van de treinpassages (verticale Z richting) in locatie 2



De figuren tonen dat sprake is van verhoogde trillingniveaus in een frequentiegebied tussen ca. 3 en 16 Hz.

3.2 Geprojecteerde woningen

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

Bij de overgang van bodem naar fundament zal afhankelijk van de frequentie sprake zijn van een demping tot 10 dB (afname met factor 3).

De opslinging van vloerdelen hangt af van eventuele samenvallende vloerresonanties met het excitatiespectrum van de treinpassages en kan tot 10 dB (factor 3) bedragen. De opslinging van de gebouwconstructie hangt af van eventuele samenvallende gebouwresonanties met het excitatiespectrum van de treinpassages en kan eveneens 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. 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.

De meetwaarden zoals genoemd in paragraaf 3.1 in combinatie met de aangegeven dempingen en versterkingen resulteren in een maximaal te verwachten trillingsterkte in woningen. Daaruit volgt dat een vloerfrequentie van 8 Hz vermeden dient te worden omdat juist bij deze frequentie ook sprake is van een hoge aanstoting. De combinatie van deze vloerfrequentie met deze specifieke aanstoting resulteert in zeer hoge trillingsterkten (>1).

Tabel 3.2 toont de te verwachten trillingsterkte waarbij is uitgegaan van de situatie dat in ieder geval een vloerfrequentie van 8 Hz wordt vermeden.

t3.2 Te verwachten trillingsterkte in woningen

	Te verwachten trillingsterkte [-]	
	horizontale Y richting	verticale Z richting
locatie 1	0,4	0,7
locatie 2	0,9	0,8

De in tabel 3.2 gegeven waarden kunnen worden gezien als worst case te verwachten sterkten 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 vertonen. In de praktijk zal nagenoeg altijd sprake zijn van lagere trillingniveaus.

Op basis van tabel 3.2 volgt dat de te verwachten trillingsterkten ter hoogte van het tweetal locaties redelijk overeenkomen en worst case tot ca. 0,8 verticaal en tot ca. 0,9 horizontaal zou kunnen bedragen.

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 zal, gezien de verwachte maximale trillingsterkte tot 0,9 in de voorziene appartementen van het plan, ruim kunnen worden overschreden.

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 geldt een maatgevende A₂ van 0,2.



Ook deze waarde kan worden overschreden waarmede sprake is van een in relatie tot de SBR B niet inpasbare situatie.

5 Mogelijke maatregelen

5.1 Reductiedoelstelling

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

In het onderhavige geval zal evenwel in eerste instantie het probleem verder ingekaderd dienen te worden waarbij onder andere bezien dient te worden hoe ver het probleem zich fysiek uitstrekt (afstand tot de sporen).

Met een te verwachten trillingsterkte $V_{\max}$ in woningen van maximaal ca. 0,9 bij een na te streven waarde van 0,2 kan worden geconcludeerd dat in de woningen een reductiedoelstelling met circa een factor 4 à 5 aan de orde kan zijn. Gezien onze ervaring met vergelijkbare projecten kan in eerste instantie worden opgemerkt dat een dergelijke doelstelling als technisch oplosbaar kan worden gekwalificeerd.

5.2 Mogelijk te treffen maatregelen

Om de trillingen vanwege passerende treinen met een factor 4 à 5 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, echter in de praktijk bij bestaand spoor vaak niet meer realistisch. Hierbij kan worden gedacht aan een verend materiaal onder het ballastbed, onder de dwarsliggger, of een verende oplegging van het gehele systeem (floating slab track).

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 hoe stijver en zwaarder het fundament wordt uitgevoerd hoe 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

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 woningen en appartementen van de verschillende plandelen.

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.

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.

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 technisch oplosbaar te worden gekwalificeerd.

Dit rapport bevat 18 pagina's

 Mook,

