



Cartesiusdriehoek te Utrecht

Te verwachten trillingniveaus als gevolg van railverkeer

Concept

Cartesiusdriehoek te Utrecht

Te verwachten trillingniveaus als gevolg van railverkeer

Concept

opdrachtgever	Keystone Vastgoed Projecten BV
rapportnummer	HC 5534-5-RA-001
datum	6 juni 2018
referentie	██████████ 5534-5-RA-001
verantwoordelijke	██████████
opsteller	██████████ ██████████ ██████████

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	10
3.1	Metingen	10
3.2	Geprojecteerde woningen	13
4	Toetsing	15
4.1	Toetsingskader	15
4.2	Toetsing	15
5	Mogelijke maatregelen	17
5.1	Reductiedoelstelling	17
5.2	Mogelijk te treffen maatregelen	17
5.3	Voorliggende situatie	18
6	Conclusie	19

1 Inleiding

In opdracht van NS Stations B.V. te Zoetermeer is een onderzoek verricht inzake te verwachten trillingniveaus vanwege railverkeer in geprojecteerde woningen binnen het plangebied Cartesiusdriehoek te Utrecht. Het onderzoek is verricht in het kader van een bestemmingsplanwijziging.

Het bouwplan is gesitueerd tot op korte afstand van de spoorlijn Utrecht -Amsterdam. Het plan bestaat uit meerdere bouwblokken waarin onder andere appartementen met 5 à 8 woonlagen zijn voorzien. Op dit moment is de exacte invulling van het bouwplan nog niet bekend.

Figuur 1.1 toont de ligging van de geprojecteerde woningbouw, met afstanden tot ca. 15 m uit het hart van het meest nabijgelegen spoor. In voorliggend onderzoek is uitgegaan van de situatie dat ter plaatse van de blauwe bouwblokken appartementen kunnen komen.

f1.1 Situering Cartesiusdriehoek



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

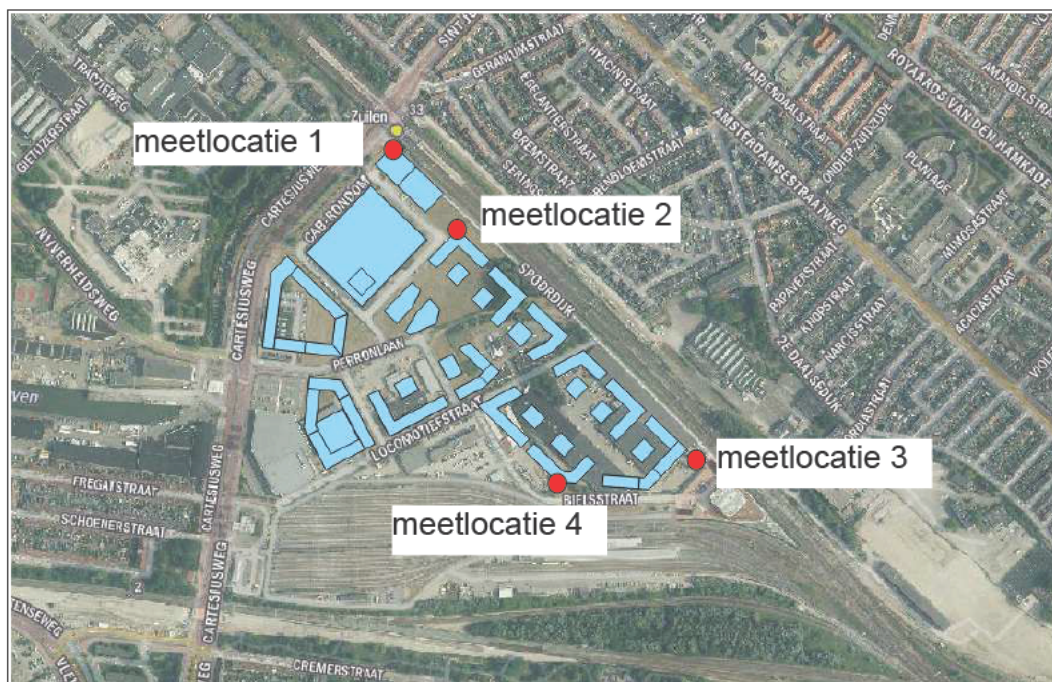
2.1 Algemeen

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 2 mei tot en met 9 mei 2018 zijn binnen het plangebied onbemande trillingmetingen in de bodem verricht. Hierbij zijn ter hoogte van de dichtstbij het spoor gelegen gevels van de voorziene woongebouwen (zie figuur 2.1) trillingmetingen uitgevoerd. In meetlocatie 3 is de gehele meetperiode van één week gemeten. Op de andere meetlocaties is minder lang gemeten, waarbij in de meeste gevallen minimaal een aantal dagen is gemeten.

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.

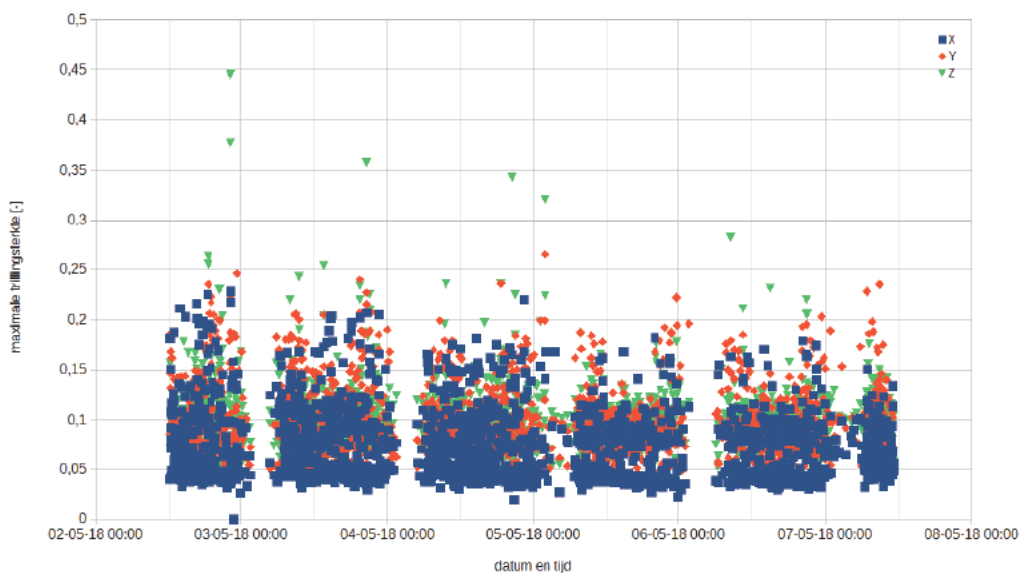
2.3 Meetresultaten

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.

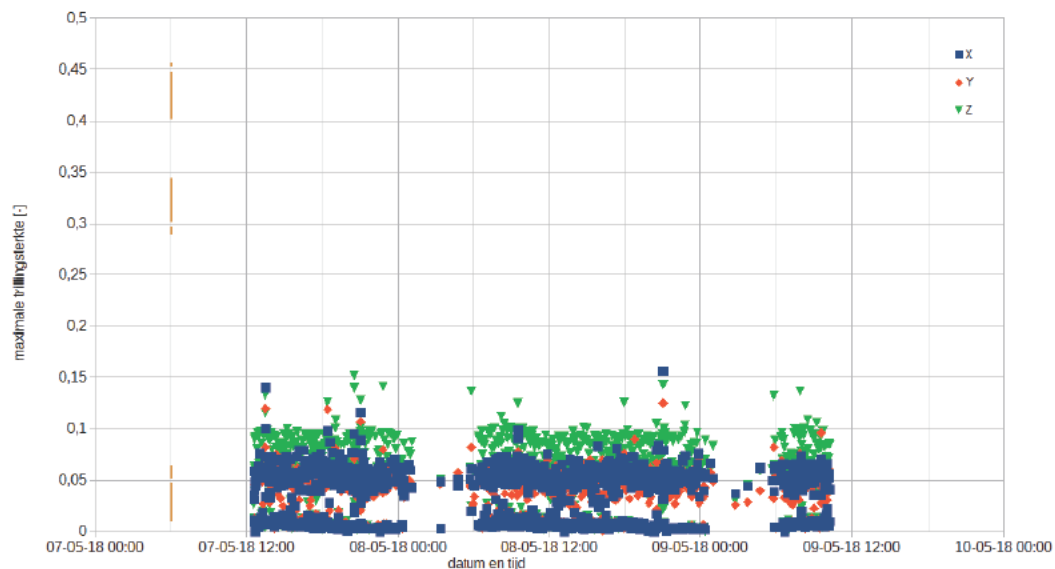
Figuur 2.2 toont een overzicht van de in meetlocatie 1 gemeten maximale trillingsterktes $V_{\max}$ in horizontale (X en Y) en verticale richting (Z).

f2.2 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem



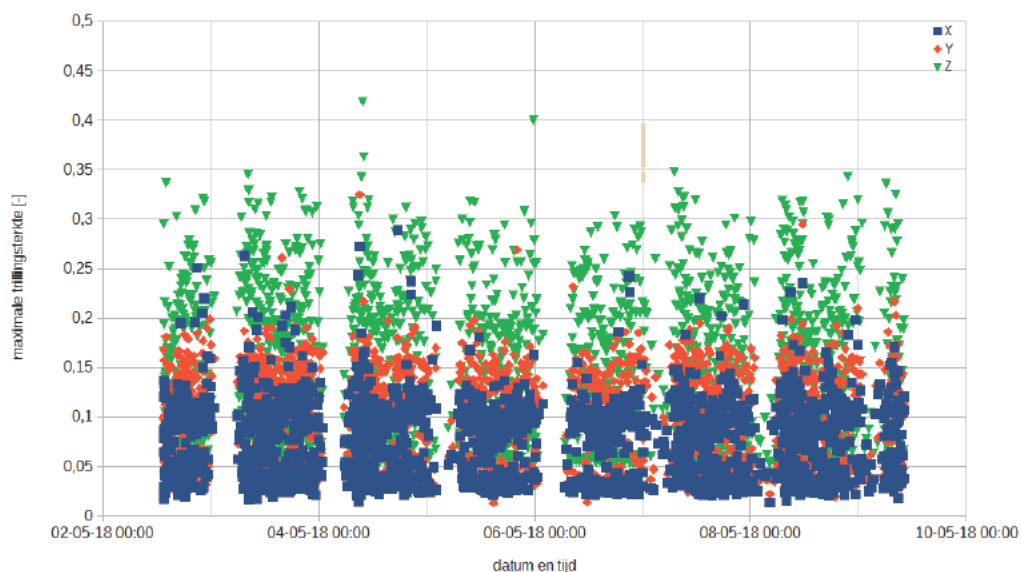
Figuur 2.3 toont een overzicht van de in meetlocatie 2 gemeten maximale trillingsterktes $V_{\max}$ in horizontale (X en Y) en verticale richting (Z).

f2.3 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem



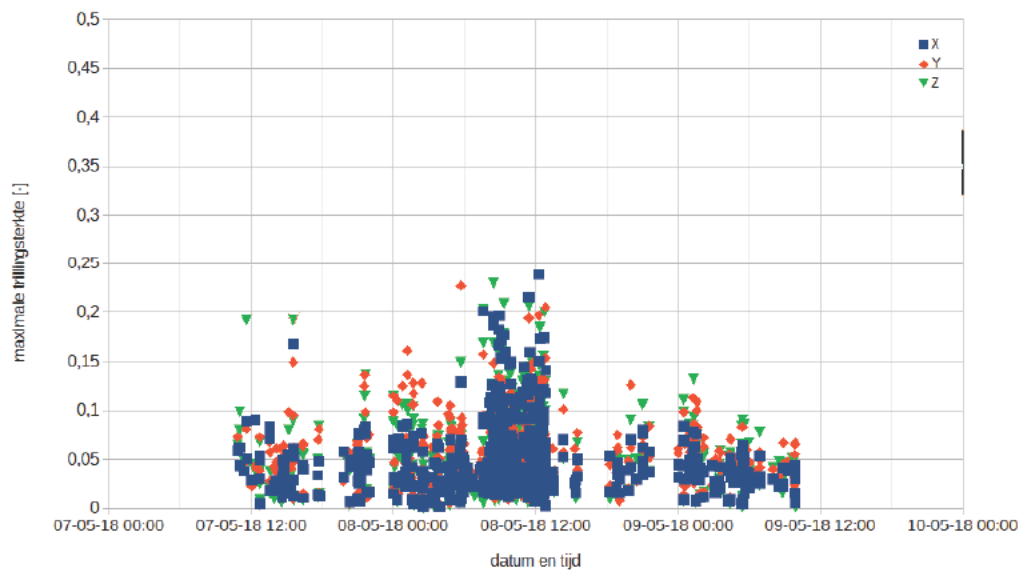
Figuur 2.4 toont een overzicht van de in meetlocatie 3 gemeten maximale trillingsterktes $V_{\max}$ in horizontale (X en Y) en verticale richting (Z).

f2.4 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem



Figuur 2.5 toont een overzicht van de in meetlocatie 4 gemeten maximale trillingsterktes $V_{\max}$ in horizontale (X en Y) en verticale richting (Z).

f2.5 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.

Tabel 3.1 toont de hoogst optredende trillingsterktes in de bodem als gevolg van de treinpassages. De trillingsterkte is gegeven voor de horizontale X-, Y- en verticale Z-richting.

t3.1 Optredende maximale trillingsterkte in de bodem, meetlocatie 1 t/m 3

Datum en tijdstip treinpassage	Maximale trillingsterkte in de bodem								
	meetlocatie 1			meetlocatie 2			meetlocatie 3		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
02-05-18 22:17	0,23	0,22	0,45				0,17	0,21	0,32
03-05-18 20:33	0,21	0,23	0,36				0,19	0,17	0,24
04-05-18 09:46	0,16	0,15	0,24				0,16	0,18	0,42
04-05-18 10:00	0,13	0,16	0,15				0,15	0,16	0,35
04-05-18 20:32	0,17	0,15	0,34				0,19	0,16	0,15
05-05-18 01:56	0,14	0,20	0,32				0,15	0,19	0,25
05-05-18 23:38	0,14	0,22	0,18				0,17	0,22	0,36
07-05-18 06:47	0,12	0,23	0,13				0,12	0,18	0,35
07-05-18 13:31				0,14	0,12	0,13	0,16	0,15	0,21
07-05-18 20:31				0,10	0,06	0,15	0,07	0,10	0,22
07-05-18 22:47				0,06	0,08	0,14	0,09	0,13	0,20
08-05-18 20:58				0,16	0,13	0,14	0,20	0,14	0,13
08-05-18 21:40				0,06	0,05	0,07	0,12	0,18	0,34

In verticale richting is sprake van een maximale trillingsterkte tot 0,4 à 0,5, als gevolg van een goederentrein. In horizontale richting treden de hoogste trillingsterktes op met maximale trillingsterktes tot 0,2, eveneens als gevolg van een goederentrein.

Op basis van de resultaten in tabel 3.1 volgt dat de aangetroffen trillingen in meetlocatie 1 in het algemeen hoger zijn dan in meetlocatie 3 maar af en toe ook lager. Waarschijnlijk komt dit wisselende patroon door treinen die de beide locaties met verschillende snelheden passeren (optrekken en afremmen). In meetlocatie 2 zijn de hoogst optredende trillingen lager zijn dan in meetlocatie 3. Derhalve zijn meetlocatie 1 en 3 maatgevend geacht voor de beoordeling van de geplande woningen aan de noordzijde.

Voor de zogenaamde Keystone percelen wordt normaliter in een eerder stadium een bestemmingsplanwijziging aangevraagd. Voor dit deel lijken de trillingen ter plaatse van meetlocatie 2 het meest relevant. Rekening houdend met de onderlinge verschillen is de

verwachting dat bij meting over langere tijd aldaar de trillingsterkte in de bodem tot 0,3 kan bedragen. Deze waarden zijn zoals eerder aangegeven lager dan in locaties 1 en 3.

In dit kader wordt wel gewezen op het feit dat bij de uiteindelijke dimensionering van eventuele maatregelen bij dat deel (vervolgonderzoek) ook in locatie 2 langere tijd gemeten dient te worden om een meer representatief beeld te krijgen.

Voor de beoordeling van de geplande woningen aan de zuidzijde is meetlocatie 4 benut. Tabel 3.2 toont de gemeten maximale trillingsterkte in meetlocatie 4 in de bodem als gevolg van de maatgevende treinpassages.

t3.2 *Optredende maximale trillingsterkte in de bodem, meetlocatie 4*

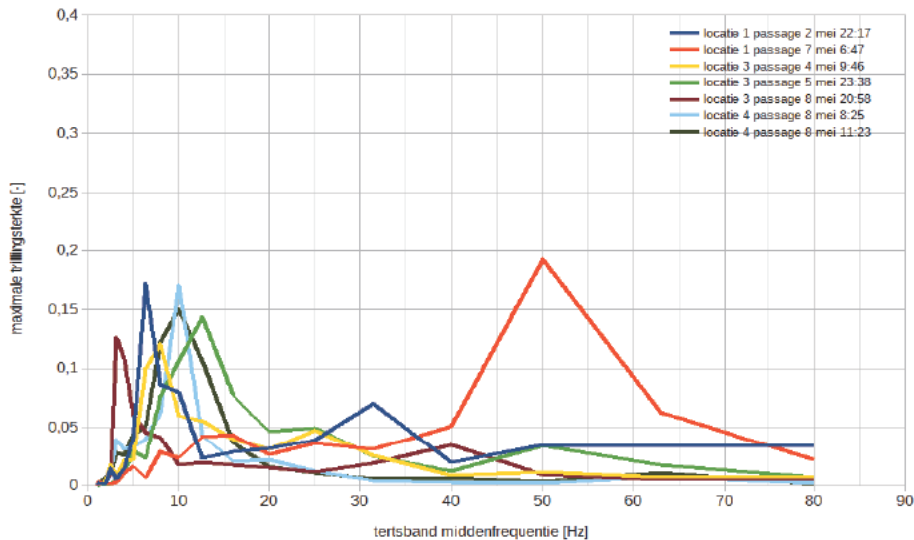
Datum en tijdstip treinpassage	Maximale trillingsterkte in de bodem		
	X	Y	Z
07-05-18 11:33	0,09	0,08	0,19
08-05-18 07:33	0,20	0,16	0,20
08-05-18 08:25	0,20	0,15	0,23
08-05-18 09:19	0,18	0,13	0,21
08-05-18 11:23	0,22	0,19	0,21
08-05-18 12:41	0,17	0,13	0,20

In zowel horizontale als verticale richting treden maximale trillingsterktes op tot 0,2 als gevolg van rangerende treinen.

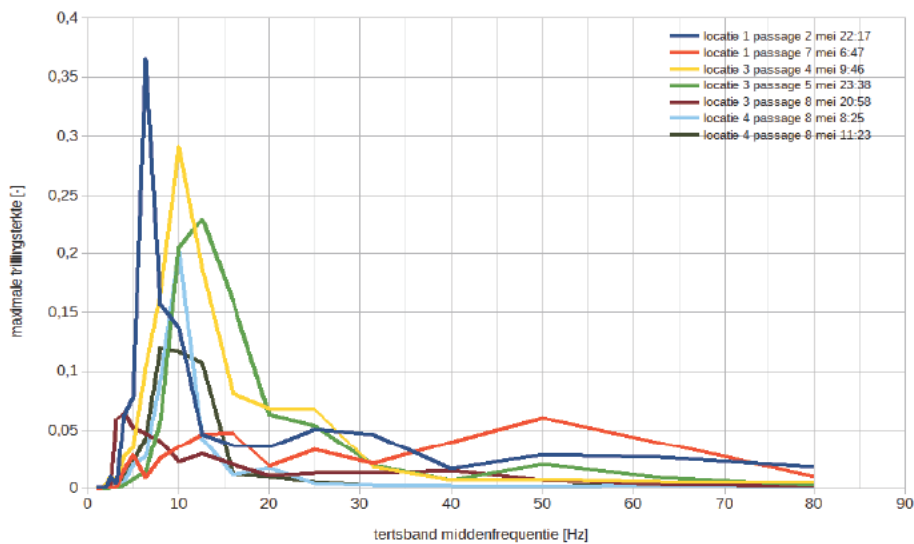
Ten behoeve van de verdere beoordeling dient inzicht te worden verkregen in de spectrale inhoud van de optredende trillingsterktes. Blijkens de metingen zijn de trillingen in de X- en Y-richting redelijk vergelijkbaar zodat ervoor gekozen is om de spectrale verdeling te geven voor een gecombineerde XY richting, waarbij per passage de hoogste waarde per tertsband is bepaald van de X- en Y-richting.

Figuren 3.1 en 3.2 tonen voor de relevante meetlocaties de spectrale verdeling van de maatgevende treinpassages in respectievelijk de horizontale XY richting en verticale Z richting.

f3.1 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van een treinpassage (horizontale XY richting)



f3.2 Spectrale verdeling van de trillingsterkte als gevolg van een treinpassage (verticale Z richting)



De figuren tonen dat in horizontale richting sprake is van verhoogde trillingniveaus in een frequentiegebied tussen ca. 3 en 12,5 Hz, en een opvallende passage met sterk verhoogde niveaus bij 50 Hz. In verticale richting is sprake van verhoogde trillingniveaus in het frequentiegebied tussen 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). Hierbij is verondersteld dat, zoals eerder aangegeven, sprake zal zijn van appartementen.

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 en 10 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.

Tabel 3.2 toont de te verwachten trillingsterkte waarbij is uitgegaan van de situatie dat in ieder geval een vloerfrequentie van 8 en 10 Hz wordt vermeden.

t3.3 Te verwachten trillingsterkte in woningen

	Te verwachten trillingsterkte [-]	
	horizontale XY richting	verticale Z richting
locatie 1	1	0,6 à 0,7
locatie 3	0,7	1
locatie 4	1	0,6

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 vertonen. In de praktijk zal nagenoeg altijd sprake zijn van lagere trillingniveaus.



Op basis van tabel 3.3 volgt dat de te verwachten trillingsterkten ter hoogte van de vier meetlocaties redelijk overeenkomen en worst case in appartementen tot ca. 1, zowel horizontaal als verticaal, zouden kunnen bedragen.

Voor de Keystone percelen is indicatief een maximale trillingsterkte bepaald en deze bedraagt tot 0,7 in woningen.

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 1 in de toekomstige 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 maximale trillingsterkte $V_{\max}$ in woningen van maximaal ca. 1 bij een na te streven waarde van 0,2 kan worden geconcludeerd dat in de woningen een reductiedoelstelling met circa een factor 5 aan de orde kan zijn.

Ten aanzien van de Keystone percelen wordt opgemerkt dat met een te verwachten maximale trillingsterkte $V_{\max}$ in woningen van maximaal ca. 0,7 de na te streven waarde van 0,2 eveneens wordt overschreden. Hierbij kan een reductiedoelstelling met een factor 3 à 4 aan de orde zijn.

Gezien onze ervaring met vergelijkbare projecten kan in eerste instantie worden opgemerkt dat een dergelijke doelstellingen als technisch oplosbaar kunnen worden gekwalificeerd.

5.2 Mogelijk te treffen maatregelen

Om de trillingen vanwege passerende treinen met een factor 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 opslinging 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 5 gereduceerd te worden.

Op basis van ervaring dient een dergelijke mate van reductie normaliter nog als technisch oplosbaar te worden gekwalificeerd. De exacte maatregelen kunnen pas in een later stadium worden gedimensioneerd. 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 18 pagina's