

Bezoekadres:
Amerikalaan 14
6199 AE Maastricht - Airport
Postadres:
Hoofdweg 70
3067 GH Rotterdam

T +31 (0)88-5152505
E info@cauberg Huygen.nl
W <http://www.cauberg Huygen.nl>

K.V.K. 58792562
IBAN NL71RABO0112075584

Trillingsonderzoek fase 1 Noordpost Alkmaar prognose en beoordeling trillingen in toekomstige woningen

Datum 6 maart 2020
Referentie 06298-52491-02

CONCEPT

Referentie 06298-52491-02
Rapporttitel Trillingsonderzoek fase 1 Noordpost Alkmaar
prognose en beoordeling trillingen in toekomstige woningen
Datum 6 maart 2020

Opdrachtgever BRO
Bosscheweg 107
5282 WV BOXTEL
Contactpersoon De heer W De Ruiter

Behandeld door De heer C.J. Ostendorf
De heer ir. G.H.J. Busscher
Cauberg Huygen B.V.
Bezoekadres:
Amerikalaan 14
6199 AE Maastricht - Airport
Postadres:
Hoofdweg 70
3067 GH Rotterdam
Telefoon 088-5152505

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Uitgangspunten	5
2.1	Opzet onderzoek	5
2.2	Toetsingskader	5
2.3	Beschrijving situatie	6
2.4	Bestemmingsplan	7
3	Trillingsmetingen	9
3.1	Algemeen	9
3.2	Meetposities	9
3.3	Meetparameters	10
3.4	Treinen	10
4	Meetresultaten	11
5	Prognose	13
5.1	Werkwijze	13
5.2	Invoergegevens	13
5.2.1	$V(f)_{\text{topmaaiveld}}$	13
5.2.2	$V(f)_{\text{afstand}}$	14
5.2.3	$H(f)_{\text{fundering}}$	15
5.2.4	$H(f)_{\text{vloer}}$	16
5.3	Resultaat prognose en beoordeling	17
5.4	Mogelijke vervolgacties en maatregelen	18
6	Conclusies en advies	20

Bijlagen

Bijlage I	Verloop gemeten trillingsterkte
Bijlage II	Overzicht prognose trillingssterkte per gemeten beoordelingsperiode

1 Inleiding

In opdracht van BRO is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd ten behoeve van fase 1 van het projectgebied Noordpost te Alkmaar. Aanleiding tot het onderzoek zijn de optredende trillingen vanwege railverkeer. Figuur 1.1 geeft een overzicht van de locatie van het projectgebied.



Figuur 1.1: Situering fase 1 bouwplan met in rood het nabij gelegen spoortracé aan noordwest zijde van het gebouw

Het projectgebied ligt op relatief korte afstand ten zuiden van de spoorlijn Alkmaar - Heerhugowaard en vlak bij station Alkmaar-Noord (weergegeven met een witte ster). Doel van het onderzoek is om:

- te bepalen of de trillingen als gevolg van het treinverkeer kunnen leiden tot hinder voor personen in de toekomstige gebouwen;
- te bepalen of bij het ontwerp van de gebouwen rekening dient te worden gehouden met trillingsreducerende maatregelen;

Ten behoeve van de onderzoeksdoelen zijn trillingsmetingen uitgevoerd op maaiveld en is een prognose van de trillingssterkte opgesteld.

Bij de uitvoering van de trillingsmetingen en de beoordeling van de berekende trillingssterkte is gebruik gemaakt van SBR meet- en beoordelingsrichtlijn deel B "Trillingen; hinder voor personen in gebouwen (SBR-B). SBR-B geeft streefwaarden voor de trillingssterkte in de woning ter voorkoming van hinder voor personen. Deze richtlijn is algemeen geaccepteerd ter beoordeling van de trillingen.

Voorliggende rapportage beschrijft de uitgangspunten van het onderzoek, de meetresultaten, de prognose en de beoordeling van de trillingen.

2 Uitgangspunten

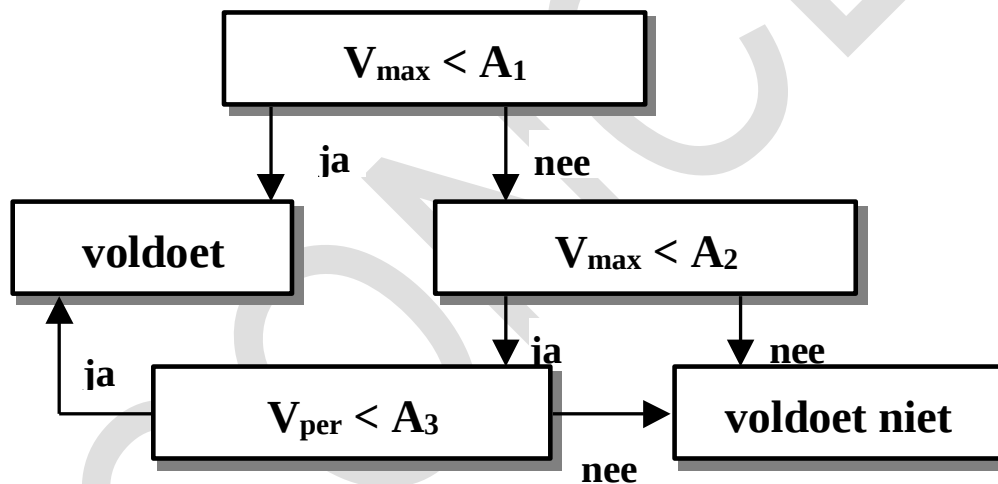
2.1 Opzet onderzoek

Voor de opzet van het onderzoek is gekozen voor een combinatie van bemande en onbemande metingen. De bemande metingen zijn uitgevoerd op 10 februari 2020. De onbemande metingen zijn aansluitend uitgevoerd van 10 tot en met 17 februari. Hierdoor ontstaat inzicht in de optredende trillingsniveaus over een langere periode.

Er is gemeten op maaiveld nabij de hoekpunten van het bouwplan het dichtste bij het spoor en het verste van het spoor. Op basis van de meetresultaten op maaiveld is de trillingssterkte in de toekomstige gebouwen berekend. De berekende trillingsterkte $V_{\max}$ is getoetst aan de streefwaarden uit SBR-B.

2.2 Toetsingskader

Voor de beoordeling van de trillingssterkte in de gebouwen is gebruik gemaakt van SBR richtlijn B uit 2006. De beoordeling vindt plaats op basis van twee parameters namelijk $V_{\max}$ en V_{per} . De parameter $V_{\max}$ staat voor de maximale gewogen trillingssnelheid binnen een beoordelingsperiode (dag, avond en nacht). Parameter V_{per} staat voor de gemiddelde trillingssnelheid over een beoordelingsperiode. $V_{\max}$ (en eventueel V_{per}) worden op basis van metingen vastgesteld en vervolgens getoetst. De toetsing vindt plaats op basis van navolgend schema.



Uit het schema volgt dat $V_{\max}$ eerst getoetst wordt aan A_1 en A_2 alvorens V_{per} wordt bepaald en getoetst aan A_3 .

De toetsingswaarden voor A_1 , A_2 en A_3 zijn afhankelijk van de functie van een bouwwerk, het type trilling, de situatie en het tijdstip waarop de trillingen voorkomen.

In het toekomstige bouwwerk is sprake van de functies wonen, kantoor en bijeenkomst. De trillingen zijn afkomstig van railverkeer en worden daarom geclassificeerd als herhaald voorkomend. De trillingen komen zowel in de dag- (07.00-19.00 uur), avond- (19.00-23.00 uur) als in de nachtperiode (23.00-07.00 uur) voor.

De voorliggende situatie betreft een nieuwe situatie want er is sprake van nieuwe gebouwen. In tabel 2.1 zijn de streefwaarden voor $V_{\max}$ en V_{per} voor een nieuwe situatie conform SBR richtlijn B opgenomen.

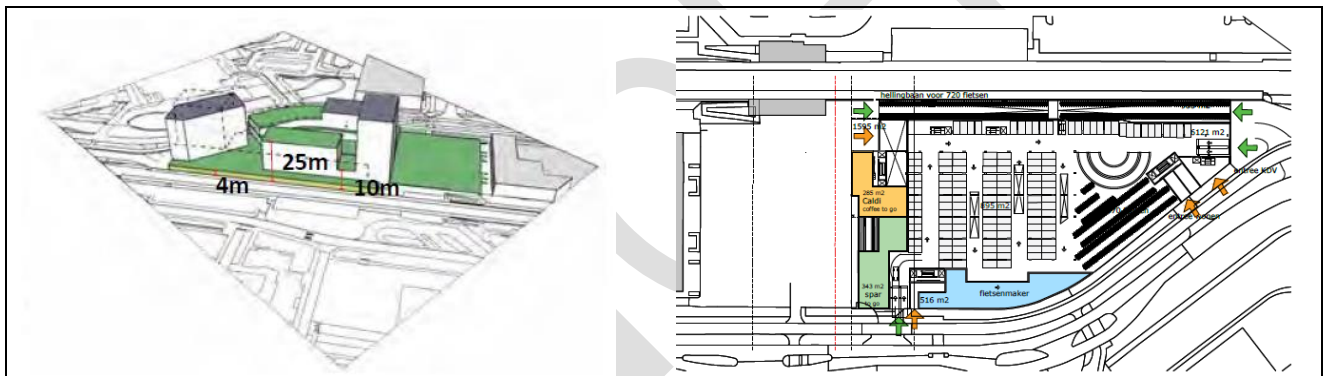
Tabel 2.1: Streefwaarden nieuwe situatie hinder $V_{\max}$ en V_{per}

Gebouwfunctie	Dag-/avondperiode			Nachtperiode		
	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
Kantoor / bijeenkomst	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07

Uit tabel 2.1 volgt dat de nachtperiode voor de gebouwfunctie woning maatgevend is voor de beoordeling van de trillingen. De streefwaarde A₂ (de bovenste streefwaarde) is in de nacht het laagst en bedraagt 0,2.

2.3 Beschrijving situatie

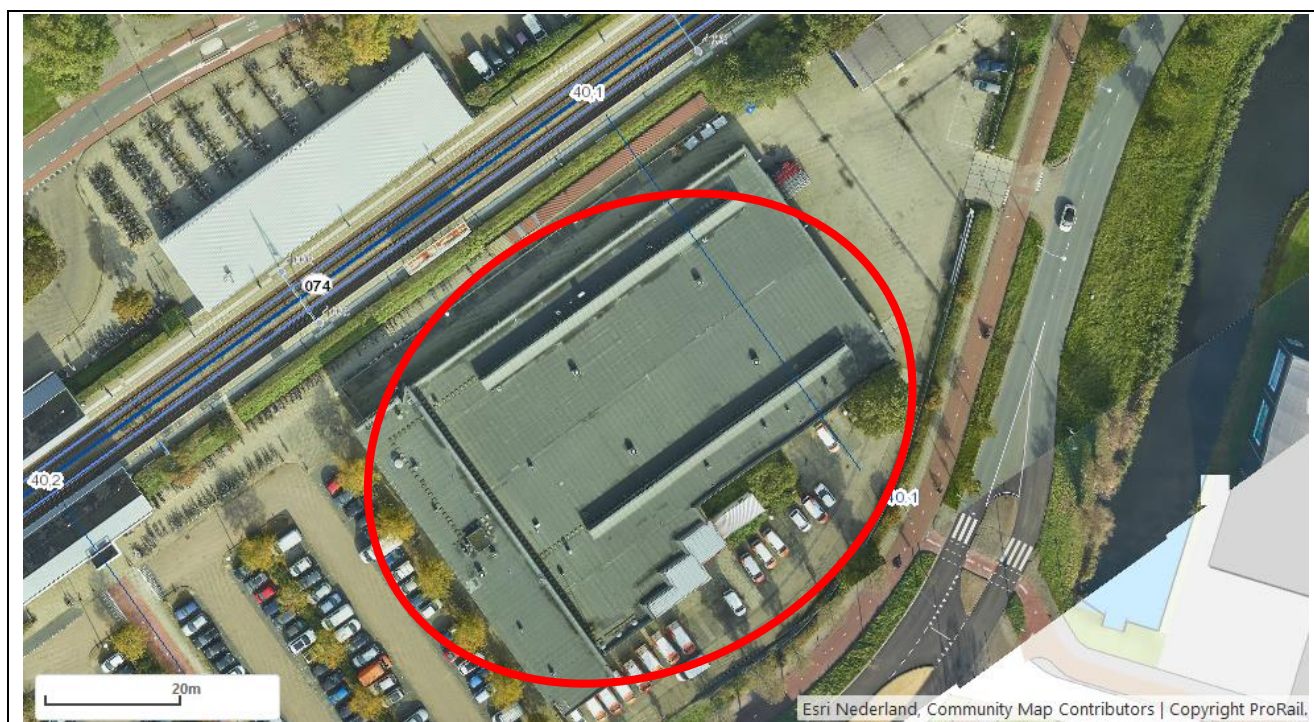
Het gebouw met de te beoordelen verblijfsruimtes ligt op een afstand van circa 13 meter tot het (hart van het) dichtstbijzijnde spoor. Op een kleinste afstand van circa 5 meter tot het (hart van het) dichtstbij gelegen spoor bevindt zich een fietsenstalling op niveaus -1 en begane grond. Onderstaande figuren uit de presentatie van het concept-ontwerp ("gespreksnotitie 4 de NOORDPOST ALKMAAR NOORD 28.03.2019") geven een overzicht:



Figuur 2.1: Positie van het gebouw t.o.v. het dichtstbij gelegen spoor (rechts plattegrond b.g.)

Voor de prognose wordt ervan uitgegaan dat de constructie van de fietsenstalling één geheel vormt met de constructie van het achterliggende gebouw.

Op de betreffende locatie is ten tijde van het onderzoek het oude gebouw van PostNL aanwezig. Figuur 2.2 geeft een indruk van de ligging van het gebouw ten opzichte van het spoor. De kleinste afstand tussen (hart) spoor en huidige gebouw is circa 18 meter.



Figuur 2.2: Luchtfoto locatie bouwplan (bron Railmaps, ProRail)

2.4 Bestimmungsplan

De projectlocatie maakt deel uit van het bestemmingsplan Oudorp dat onherroepelijk is geworden op 4 april 2013. De bestemmingen binnen het gebied zijn 'gemengd-3': maatschappelijk, kantoren en bedrijven. Figuur 2.3 toont een afbeelding van het vigerende bestemmingsplan.



Figuur 2.3: Uitsnede plankaart bestemmingsplan Oudorp voor de projectlocatie Noordpost (bron Ruimtelijkeplannen.nl)

Om het project te kunnen realiseren is een wijziging van de bestemming nodig. Het aspect trillingen speelt daarbij in de ruimtelijke onderbouwing een belangrijke rol. In het vigerende bestemmingsplan zijn geen regels opgenomen met betrekking tot trillingen.

CONCEPT

3 Trillingsmetingen

3.1 Algemeen

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd van 10 tot en met 16 februari 2020. Bij de metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- 3x Syscom Red Box trillingsmonitor MR3000TR.
- 3x 3D trillingsopnemer (trillingssnelheid).

Alle trillingsmeters worden onderhouden op basis van het kwaliteitssysteem van Cauberg Huygen B.V. en zijn op basis van vier internet timeservers gesynchroniseerd in tijd.

3.2 Meetposities

De meetpunten zijn zoveel mogelijk gekozen ter plaatse van de hoek van de toekomstige funderingen van de verschillende woongebouwen. Figuur 3.1 toont de meetposities.



Figuur 3.1: Overzicht meetposities

De afstand tussen meetpositie en (hart) dichtstbij gelegen spoor bedraagt:

MP1: 14 meter

MP2: 17 meter

MP3: 70 meter

Op ieder meetpunt is de trillingssnelheid op maaiveld gemeten in drie richtingen:

- Horizontaal dwars op het spoor (de X-richting).
- Horizontaal evenwijdig aan het spoor (de Y-richting).
- Verticaal (de Z-richting).

De trillingssensoren zijn op de vaste grond opgesteld. Ze zijn bevestigd op een grondplaat die stevig in de zandbodem is gedrukt. Naast de sensor staat de trillingsmonitor en een accu. Figuur 3.2 geeft als voorbeeld de opstelling voor meetpunt 2.



Figuur 3.2: Meetopstelling van het meetpunt 2

Voor de start van de metingen zijn de trillingsopnemers waterpas gezet.

3.3 Meetparameters

Elke 30 seconde is de trillingssterkte $v_{\text{eff,max},30,i}$ bepaald. Dit is de hoogste effectieve trillingssterkte gemeten in de meterstand “fast”, waarbij de frequentieweging volgens de SBR richtlijn B is toegepast.

Tevens is voor alle treinpassages waarvan het trillingsniveau een vooraf ingestelde trillingssnelheid overschreed, een registratie van de trillingssnelheid in de tijd uitgevoerd (tijdsignaal). Dit tijdsignaal is gebruikt voor de prognose.

3.4 Treinen

Over het traject rijden stoptreinen en intercity's. Er rijden volgens het Geluidregister géén reguliere goederentreinen. Het totaal aantal treinen varieert van 4 tot 6 per richting per uur. Zowel de stoptreinen als de intercity's stoppen op het nabij gelegen station Alkmaar Noord. De rijnsnelheid ter hoogte van de meetpunten bedraagt daarom slechts circa 20 tot 30 km/uur.

4 Meetresultaten

Tijdens het installeren van de trillingsmeters is enige tijd een bemande meting uitgevoerd. Hierbij is gecontroleerd of de trillingsmeters goed functioneerden. De bemande metingen zijn ook gebruikt om de duur van de treinpassage per type trein vast te leggen alsmede het tijdstip van de passage zodat bij de analyse van de onbemande metingen inzicht ontstaat in de vorm van het tijdsignaal horende bij een trein. Reizigerstreinen rijden op een vast schema dat zich (met enige variatie in tijdstip) elk uur herhaalt. Het tijdstip van de passage is daarmee een aanwijzing voor het type trein.

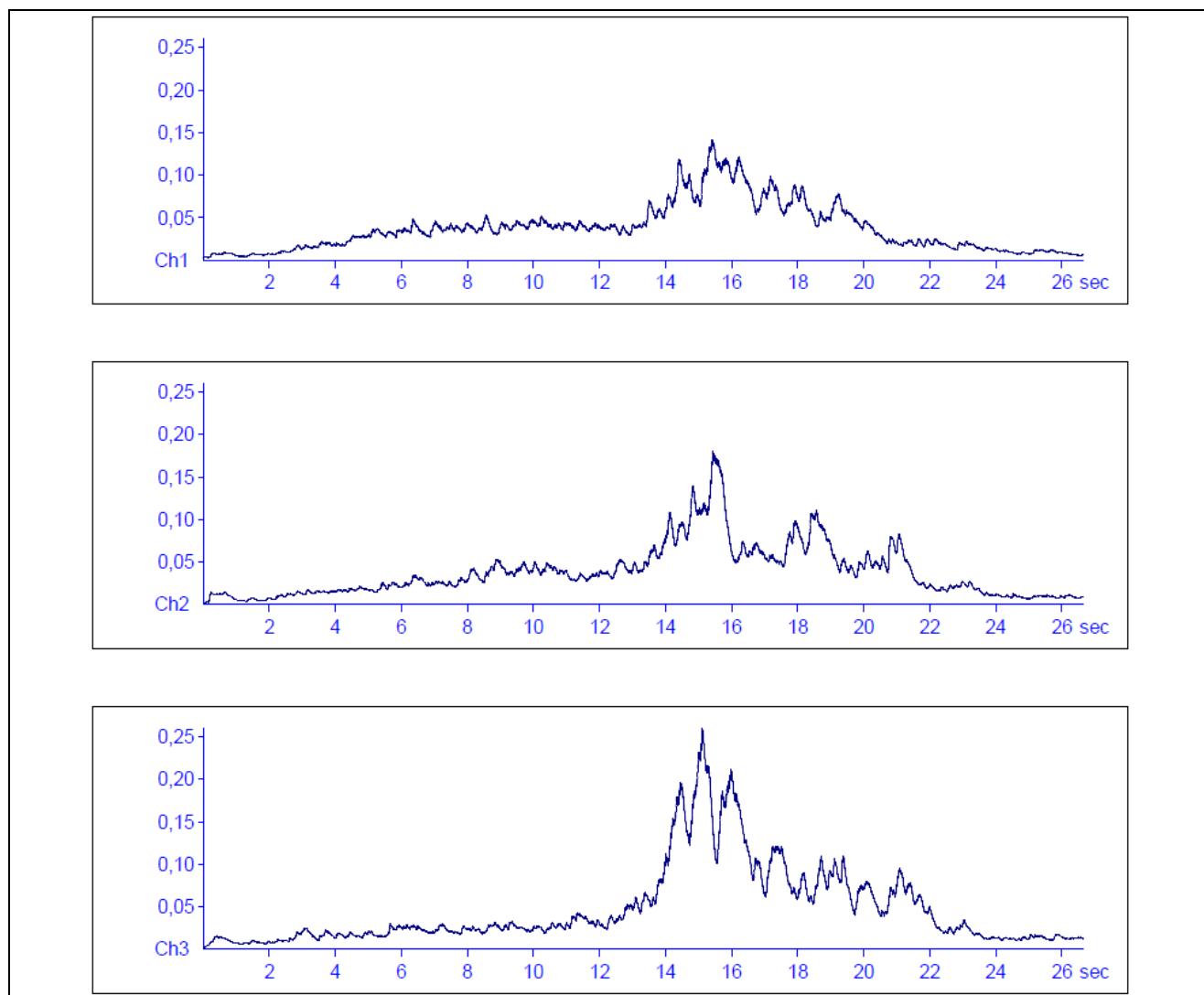
Vervolgens zijn gedurende 6 dagen de trillingen onbemand gemeten. De figuren in bijlage I geven een overzicht van het verloop van de trillingen gedurende deze 6 dagen. De figuren geven het verloop van alle gemeten trillingen weer, de data is niet gefilterd op stoortrillingen. Onderstaande tabel 4.1 geeft een overzicht van de vijf passages die tot de hoogste trillingsniveaus hebben geleid, waarbij stoortrillingen zijn verwijderd. Opgemerkt wordt daarbij dat de trillingen op meetpunt 3 (op 70 meter afstand van het spoor) gedomineerd werden door stoortrillingen. Op basis van het resultaat van meetpunten 1 en 2 wordt verwacht dat treinpassages op meetpunt 3 een maximale trillingssterkte van circa 0,07 veroorzaken. Dit niveau wordt veelvuldig overschreden door stoortrillingen met niveaus van 0,2. De resultaten van meetpunt 3 zijn dan ook niet meegenomen bij in de prognose en in de beoordeling.

Tabel 4.1: Meetresultaten top 5 $v_{\max}$ per meetpunt

Meetpunt	$v_{\max}$			Datum en tijd
	X	Y	Z	
MP 1 (Noord)	0,207	0,108	0,243	14-02 09:47:34
	0,159	0,099	0,231	12-02 23:02:04
	0,152	0,128	0,229	13-02 10:47:04
	0,185	0,097	0,227	11-02 07:21:29
	0,135	0,094	0,224	11-02 10:47:59
MP2 (West)	0,142	0,179	0,260	13-02 18:48:11
	0,120	0,104	0,243	10-02 16:17:37
	0,082	0,097	0,232	12-02 11:46:10
	0,097	0,132	0,227	11-02 16:16:40
	0,109	0,120	0,226	13-02 20:26:11

Bovenstaande tabel toont dat de hoogste trillingssterkte 0,26 bedraagt op MP 2. Op meetpunt 1 is de hoogste trillingssterkte met 0,24 net iets lager. In alle gevallen zijn de trillingen in verticale richting maatgevend.

Onderstaande figuur toont het verloop van de trillingssterkte voor de passage met de sterkste trillingen op 13-02 om 18:48.



Figuur 4.1: Verloop voortschrijdende effectieve trillingssterkte tijdens de maatgevende treinpassage meetpunt 2 (13-2 om 18:48); van boven naar beneden zijn achtereenvolgens de X, de Y en de Z richting weergegeven.

5 Prognose

5.1 Werkwijze

Voor de berekening van de trillingsniveaus is gebruik gemaakt van het volgende empirische rekenmodel:

$$V_{\max} = V(f)_{\text{topmaaiveld}} * H(f)_{\text{afstand}} * H(f)_{\text{fundering}} * H(f)_{\text{vloer}} * H(v)_{\text{SBRB}}$$

Hierin is:

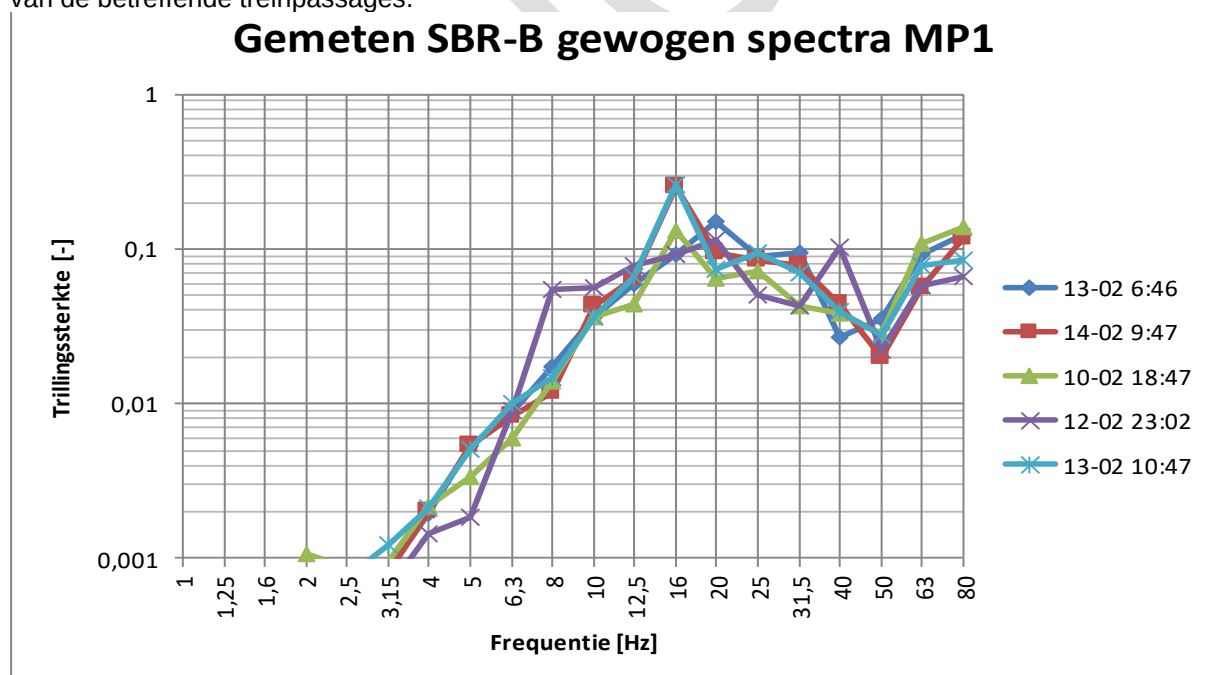
$V_{\max}$	de volgens SBR B gewogen maximale trillingssterkte
$V(f)_{\text{topmaaiveld}}$	de gemeten trillingssnelheid op maaiveld
$H(f)_{\text{afstand}}$	correctiefactor voor verschillende afstand van gebouw en meetpunt tot het spoor
$H(f)_{\text{fundering}}$	overdrachtsfactor voor de fundering
$H(f)_{\text{vloer}}$	overdrachtsfactor voor de vloer
$H(v)_{\text{SBRB}}$	weging van de trillingssnelheid volgens SBR B

Alle berekeningen zijn spectraal uitgevoerd in het frequentiebereik tussen 1 en 80 Hz in tertsbanden. Voor $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$ is uitgegaan van peakhold spectrum. De weging volgens $H(v)_{\text{SBRB}}$ is toegepast op $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$. De prognose is opgesteld per meetpunt.

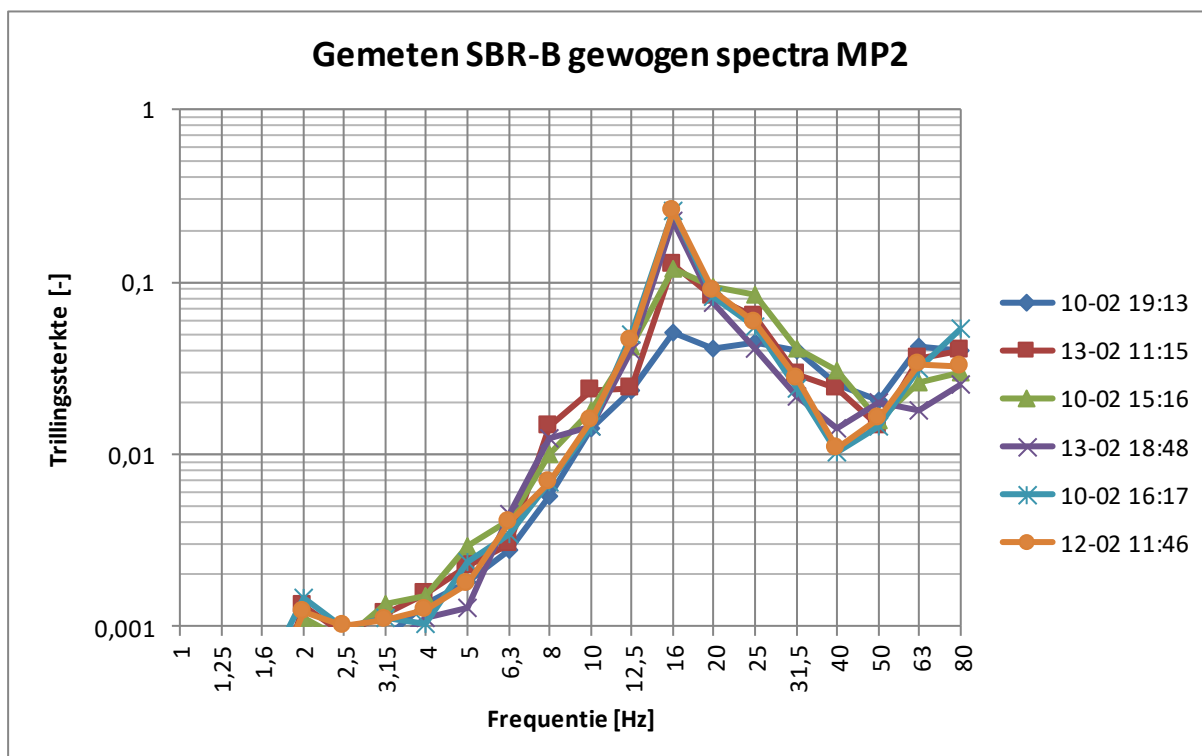
5.2 Invoergegevens

5.2.1 $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$

Per meetpunt is de top vijf voor de X en Z gebruikt voor de prognose. Figuur 5.1 en 5.2 geven de spectra weer van de betreffende treinpassages.



Figuur 5.1: Overzicht gewogen trillingsspectra per treinpassage voor meetpunt 1



Figuur 5.2: Overzicht gewogen trillingspectra per treinpassage voor meetpunt 2

5.2.2 $V(f)_{\text{afstand}}$

Het hoofdgebouw waarin zich de te beoordelen kantoren en woningen bevinden, ligt op een kleinste afstand van circa 13 meter tot het hart van het dichtstbij gelegen spoor. Tussen dit hoofdgebouw en het spoor bevindt zich over de volledige lengte van het gebouw een fietsenstalling met een kleinste afstand van circa 5 meter tot het spoor. Op basis van het concept ontwerp vormt de fietsenstalling op niveaus -1 en begane grond, één constructief geheel met het hoofdgebouw.

Normaal gesproken wordt in een indicatieve prognose de kleinste afstand van de gebouwconstructie tot het spoor gehanteerd, in dit geval dus 5 meter. Omdat dit gedeelte van het gebouw geen kantoor- of woonfunctie heeft, én omdat dit gedeelte constructief veel minder zwaar is dan het hoofdgebouw (slechts 2 verdiepingen in plaats van 9 tot 16 verdiepingen (inclusief kelder) van het hoofdgebouw) is de verwachting dat een prognose gebaseerd op een afstand van 5 meter tot substantieel hogere trillingsniveaus zal leiden dan werkelijk in het hoofdgebouw zullen optreden.

Om dit te voorkomen is de prognose gebaseerd op een kleinste afstand van 13 meter tussen hoofdgebouw en spoor. Wel geldt daarbij het volgende:

- De nauwkeurigheid van de indicatieve prognose is beperkt. Ze is gebaseerd op algemene gegevens van (gemiddelde) bodem-, fundament- en gebouw-eigenschappen. Een prognose op basis van alleen een hoofdgebouw (op 13 meter van het spoor) wijkt dermate af van de werkelijkheid dat de nauwkeurigheid afneemt.

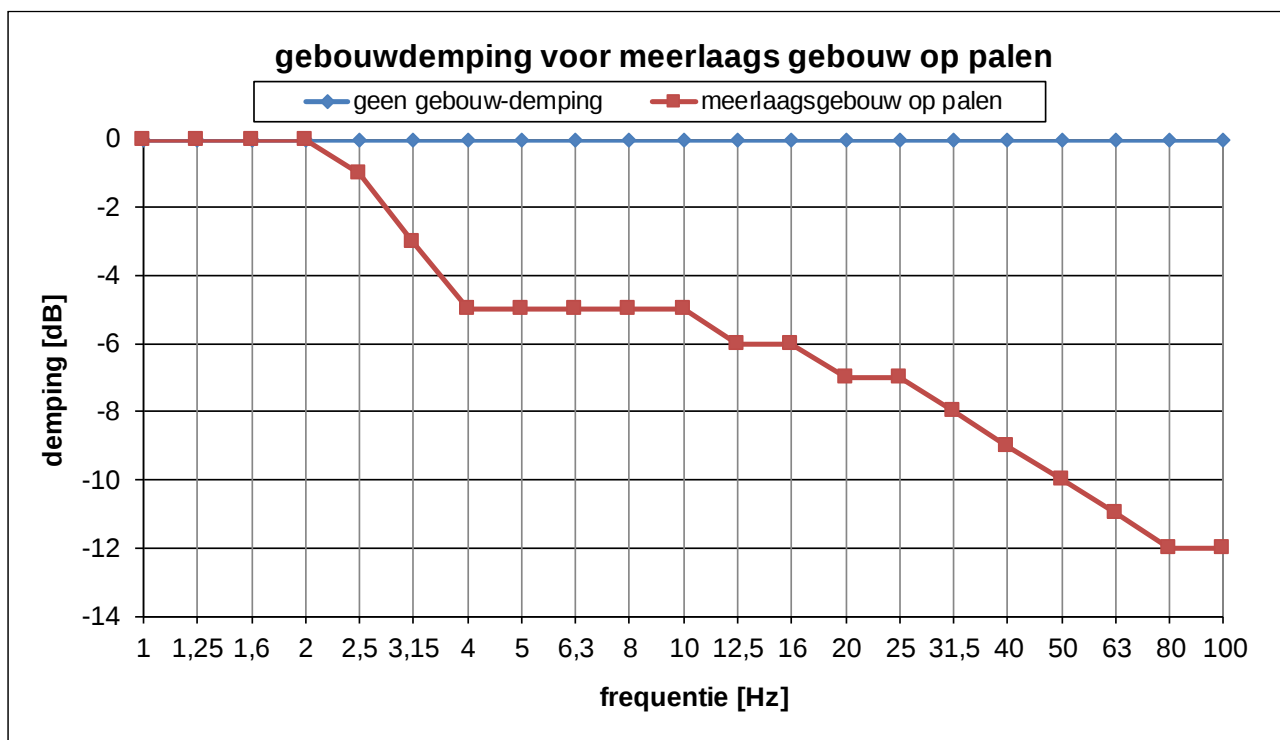
- Normaal gesproken kan gesteld worden dat de indicatieve prognose licht conservatief is. Dat betekent dat de kans groot is dat de werkelijk optredende trillingsniveaus kleiner zijn dan geprognosticeerd. Er blijft wel altijd enig risico dat de werkelijke niveaus hoger zijn.
- Omdat de gebouwconstructie in dit project afwijkt van de gemiddelde gebouwconstructie, is de kans dat de werkelijk optredende trillingsniveaus groter zijn dan geprognosticeerd, groter dan normaal gesproken te verwachten. Naar verwachting is niet meer sprake van een licht conservatieve prognose maar van een realistische prognose (de kans dat de trillingen hoger zijn dan geprognosticeerd, is ongeveer even groot als de kans dat ze kleiner zijn).
- Het werkelijke effect van de gebouwconstructie is afhankelijk van de specifieke uitvoering zoals:
 - is de fietsenstalling losgekoppeld van het hoofdgebouw (of kan hij losgekoppeld worden)?
 - is sprake van sprake van een constructie die over relatief grote lengte (evenwijdig aan het spoor) relatief stevig is (dynamisch stabiel op de dominante frequentie)?
 - Past de dominante golflengte bij de gebouwafmetingen en stramienmaten?

De laatste aspecten kunnen niet worden meegenomen in de empirische rekenmodellen zoals in dit onderzoek gehanteerd. Ze bieden mogelijk wel ruimte om de gebouwconstructie te optimaliseren op het aspect trillingen. Zie hiervoor ook hoofdstuk 5.4 waarin mogelijke maatregelen en vervolgonderzoeken worden aangegeven.

5.2.3 $H(f)_{\text{fundering}}$

Ten tijde van het onderzoek zijn nog geen specifieke gegevens bekend over de funderingswijze. Daarom is gebruik gemaakt van kentallen voor de overdrachtsfactor op basis van een beschrijving van de gebouwen in het concept-ontwerp. Op basis hiervan is uitgegaan van een “meerlaags gebouw op palen”.

Op basis van literatuurgegevens is uitgegaan van de in figuur 5.3 getoonde overdrachtsfactoren in dB voor de trillingen vanuit maaiveld naar de fundering. Een waarde van 0 wil zeggen dat er geen verzwakking optreedt. Voor de laagste frequenties vanaf 1,6 Hz en 2 Hz tertsband heeft de fundering geen reducerende invloed. Een negatieve waarde wil zeggen dat er verzwakking optreedt. De grootste verzwakking voor een “meerlaags gebouw” verzwakking bedraagt 12 dB oftewel een factor 4.

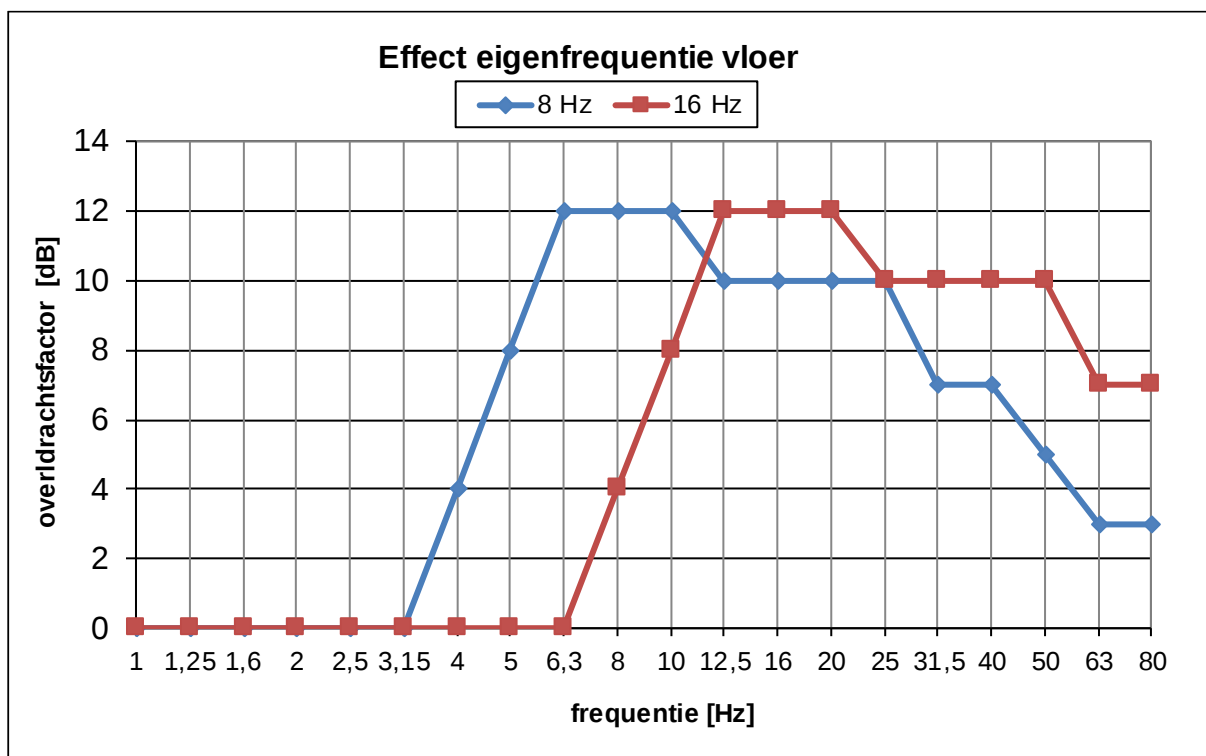


Figuur 5.3: Verloop overdrachtsfactor voor trillingen maaiveld naar fundering

5.2.4 $H(f)_{\text{vloer}}$

Ook van de vloeren zijn nog geen eigen frequenties bekend. Daarom is in de prognose gekozen voor twee eigenfrequenties die veel voorkomen namelijk 8 en 16 Hz. Een frequentie van 8 Hz treedt op als de vloer een lage eigenfrequentie heeft, 16 Hz als de vloer een hoge eigenfrequentie heeft.

Figuur 5.4 toont de overdrachtsfactor voor de vloer. Een waarde groter dan 1 geeft aan dat de vloer voor die frequenties extra trillingen veroorzaakt als gevolg van resonantie.



Figuur 5.4: Overdrachtsfactor vloer voor verschillende eigenfrequenties

5.3 Resultaat prognose en beoordeling

Per meetpunt is voor de vijf gekozen treinpassages en eigenfrequenties van de vloer een prognose opgesteld. Hierbij is gekozen voor twee eigenfrequenties (f_0) van de vloer: de eigenfrequentie waarbij de trillingssterkte $V_{\max}$ het hoogste is (worst case) en de eigenfrequentie waarbij $V_{\max}$ het laagst is (best case) bij dezelfde treinpassage. Het resultaat van de prognose is weergegeven in tabel 5.1. Per eigenfrequentie is de trillingssterkte $V_{\max}$ weergegeven. Dit is de hoogste berekende trillingssterkte voor de vijf gebruikte treinpassages en de drie trillingsrichtingen voor het betreffende meetpunt. In de kolom " f_0 " is de gebruikte eigenfrequentie weergegeven die voor dat meetpunt past bij de best case of worst case.

Tabel 5.1: Resultaat prognose

Meetpunt		f_0 vloer [Hz]	$V_{\max}$ prognose [-]
MP1	Best case	8	0,36
	Worst case	16	0,44
MP2	Best case	8	0,47
	Worst case	16	0,59

Uitgaande van de geprognosticeerde $V_{\max}$ ten opzichte van de gemeten $V_{\max}$, is een prognose gemaakt van de te verwachten trillingen zoals in het gebouw zouden hebben opgetreden gedurende de gemeten periode. In bijlage II is een overzicht weergegeven van de waarden per meetpunt voor best en worst case. De hoogste waarden zijn dikgedrukt weergegeven en de waarden die de betreffende streefwaarden van de periode overschrijden zijn rood gemarkeerd.

Uit deze tabellen in bijlage II blijkt dat de $V_{\max}$ bepalend is voor de toetsing en niet de V_{per} . Onderstaande tabel geeft samenvattend de factor waarmee de $V_{\max}$ de A_2 streefwaarde voor de functie wonen overschrijdt (zie tabel 2.1 voor de streefwaarden). Een factor lager dan 1 betekent geen overschrijding. Een factor hoger dan 1 betekent dat de streefwaarden worden overschreden. De hoogste overschrijdingsfactoren zijn dik gedrukt. Daarnaast is het aantal perioden weergegeven waarin een overschrijding plaats vindt.

Tabel 5.2: Beoordeling geprognoseerde trillingen voor gebouwfunctie wonen door middel van overschrijdingsfactor

Meetpunt		Overschrijdingsfactor			Aantal perioden met overschrijding		
		Nacht	Dag	Avond	Nacht	Dag	Avond
MP1	Best case	1,69	0,89	0,71	5 van 6	0 van 7	0 van 6
	Worst case	2,08	1,10	0,87	6 van 6	3 van 7	0 van 6
MP2	Best case	1,69	1,19	1,03	6 van 6	4 van 7	1 van 6
	Worst case	2,11	1,48	1,29	6 van 6	7 van 7	1 van 7

De streefwaarden voor gebouwfunctie kantoor en bijeenkomst zijn hoger (factor 3 in de nachtperiode en factor 1,5 in de dag- en avondperiode) en worden niet overschreden.

In bovenstaande tabel is te zien dat voor alle situaties (MP1 en MP2, best en worst case) sprake is van een overschrijding van de streefwaarden conform SBR-B. De hoogste overschrijdingen treden op in de nachtperiode. Dat komt omdat voor die periode de streefwaarden een factor 2 strenger dan in de dag- en avond periode. Samenvattend geldt een overschrijding met een factor tussen 1,7 (best case) en 2,1 (worst case).

Uit bovenstaande beoordeling volgt dat in het ontwerp van de gebouwen rekening dient te worden gehouden met trillingsreducerende maatregelen om de kans op trillingshinder te beperken.

5.4 Mogelijke vervolgacties en maatregelen

Uit de prognose blijkt dat de streefwaarden conform SBR-B worden overschreden. Dat betekent dat verwacht mag worden dat trillingshinder wordt ervaren in de dichtst bij het spoor gelegen woningen. Conform de richtlijn dient in overleg met de betrokken partijen afgewogen te worden of de overschrijding al dan niet acceptabel is, afhankelijk van de omstandigheden. Aspecten die daarin een rol spelen zijn (conform de SBR-B), de mate van overschrijding, de mate waarin de trillingsbron voorkomt en de mogelijkheid tot het treffen van maatregelen. Voor deze situatie is sprake van een overschrijding van de streefwaarden met een factor 1,7 tot 2,1. Een dergelijke overschrijding betekent dat maatregelen onderzocht en overwogen dienen te worden.

Mogelijke vervolgacties en maatregelen ter reductie van de trillingsniveaus:

- Zoals uit de prognose blijkt is het zinvol ervoor te zorgen dat de laagste eigenfrequentie niet hoger wordt dan circa 8 Hz. Dat betekent dat korte overspanningen en dikke vloeren moeten worden vermeden. Een constructeur kan normaal gesproken op basis van normen de te verwachten laagste eigenfrequentie berekenen. In het algemeen zal in dat geval sprake zijn van een 'conservatieve' berekening. Dit betekent dat de werkelijke eigenfrequentie hoger zal zijn dan berekend. Hier dient aandacht voor te zijn omdat in dit geval een te hoge eigenfrequentie juist vermeden moet worden.

Aanbevolen wordt de eerste eigenfrequentie te bepalen op basis van een dynamische eindige elementen methode (EEM) berekening met de juiste uitgangspunten.

- De constructie van de fietsenkelder heeft een grote invloed op de trillingsniveaus in het hoofdgebouw erachter. Aanbevolen wordt het effect van de fietsenkelder nader te onderzoeken (is sprake van een reducerend effect of juist van een versterkend effect). In dat onderzoek dient de reactie van het gebouw op de in de bodem optredende trillingen (zoals gemeten) berekend te worden door middel van een 3D EEM rekenmodel van het gebouw en de bodem. De berekening kan leiden tot verschillende uitkomsten:
 - De reactie van het gebouw is gunstiger dan waarvan in de indicatieve prognose wordt uitgegaan en voldoet (nagenoeg) aan de SBR-B streefwaarden. In dat geval hoeft geen verder onderzoek te worden uitgevoerd en kan ervan uitgegaan worden dat geen sprake is van trillingshinder.
 - De trillingen in het gebouw voldoen niet aan de SBR-B streefwaarden. Conform SBR-B dienen maatregelen te worden onderzocht waarmee de trillingen gereduceerd kunnen worden. Indien sprake is van een grote overschrijding dienen ingrijpendere maatregelen overwogen te worden dan bij een beperkte overschrijding.
- Mogelijke richtingen van maatregelen waarmee trillingen zouden kunnen worden gereduceerd (naast eerder genoemde maatregel ten aanzien van de maximale eigenfrequentie van de vloer):
 - Constructief ontkoppelen van fietsenkelder en hoofdgebouw. In dat geval zal de fietsenkelder wat sterker trillen maar het hoofdgebouw minder. De mate van reductie moet nader onderzocht worden in een EEM analyse.
 - Verzwaren van de constructie van de fietsenkelder. Met name de stijfheid van de kelderwand aan de zijde van het spoor zou een groot effect kunnen hebben op de trillingsniveaus zoals die in de achterliggende constructie zullen ontstaan. Het vraagt om een dikkere wand dan normaal gesproken benodigd. De benodigde dikte van de wand kan nader bepaald worden middels EEM analyses. In een dergelijke analyse kunnen ook andere aspecten worden onderzocht zoals toevoegen van (dwars-) wanden, verzwaring van de vloer en dakconstructie, verzwaring van funderingspalen etc.).
 - Het toepassen van trillingsisolerend en/of -dempend materiaal aan de buitenzijde van de noordwestelijke wand van de fietsenkelder (aan de zijde van het spoor). Een indicatie van het effect is mogelijk middels literatuur in te schatten, een nauwkeuriger berekening van het effect middels EEM analyse.

Het voorgestelde onderzoek naar mogelijke maatregelen middels EEM analyses zal inzicht geven in de mate waarin de trillingen kunnen worden gereduceerd. Tezamen met een kosten berekening van effectieve maatregelen kan beoordeeld worden of de reductie opweegt tegen de kosten. Op basis van een dergelijk onderzoek kunnen in overeenstemming met SBR-B effectieve maatregelen gekozen worden en niet-effectieve maatregelen afgewezen. Een resterende overschrijding zou op basis van de uitkomsten conform SBR-B geaccepteerd kunnen worden.

6 Conclusies en advies

In opdracht van BRO is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd ten behoeve van geplande nieuwbouw van fase 1 van het projectgebied Noordpost te Alkmaar, in verband met de optredende trillingen vanwege railverkeer.

Het trillingsonderzoek leidt tot de volgende conclusies:

1. De locatie van het projectgebied is zodanig dat geen sprake is van kans op hinder door trillingen als gevolg van treinverkeer voor het *kantoorgedeelte* van de gebouwen.
2. De locatie van het projectgebied is zodanig dat wél sprake is van kans op hinder door trillingen als gevolg van treinverkeer voor het *woongedeelte* van de gebouwen:
De trillingssterkte $V_{\max}$ bedraagt afhankelijk van meetpunt en de eigenfrequentie van de vloer tussen de 0,36 en 0,59 en voldoet niet aan de SBR-B streefwaarde A_2 voor gebouwfunctie wonen voor de nachtperiode (0,2) en afhankelijk van locatie en vloereigenfrequentie ook niet aan de streefwaarde voor de dag- en avondperiode (0,4). De overschrijdingen vinden elke nachtperiode plaats.
3. Als de $V_{\max}$ voldoet aan de streefwaarde A_2 dan is de kans zeer klein dat V_{per} niet zal voldoen aan de streefwaarden A_3 . Dit betekent dat de maatregelen vooral gericht moeten zijn op reductie van $V_{\max}$.
4. Er bestaat een (grote) kans op trillingshinder als bij het ontwerp van de gebouwen geen rekening wordt gehouden met de trillingsbelasting.
5. Bij het bouwkundig en constructief ontwerp van de gebouwen dient dus rekening te worden gehouden met het integreren van trillingsreducerende maatregelen waarbij de eigenfrequentie van de vloeren een belangrijk aandachtspunt vormen.
6. Ook andere maatregelen zullen mogelijk moeten worden onderzocht. Het effect van dergelijke maatregelen (zie hoofdstuk 5.4) moet worden afgewogen worden tegen de kosten. Het resultaat zal leiden tot een gebouw waarin trillingshinder zoveel als mogelijk en haalbaar, wordt voorkomen.
7. De verwachting is dat met maatregelen trillingshinder voorkomen kan worden. Indien maatregelen minder effectief blijken en geen kosteneffectieve maatregelen beschikbaar zijn, kunnen de resterende trillingsniveaus conform SBR-B geaccepteerd worden en blijft de mate van hinder voor bewoners beperkt.

Cauberg Huygen B.V.

De heer C.J. Ostendorf
Senior adviseur