

Science Park Eindhoven 5634
5692 EN SON
Science Park Eindhoven 5634
5692 EN Son

T +31 (0)88-5152505
E eindhoven.ch@dpa.nl
www.cauberghuygen.nl

K.v.K 58792562
IBAN NL71 RABO 0112 075584

**Gogelstraat 3 te Vught;
trillingsonderzoek railverkeer**

Datum 21 mei 2019
Referentie 05091-48046-05

CONCEPT

Referentie 05091-48046-05
Rapporttitel Gogelstraat 3 te Vught;
trillingsonderzoek railverkeer

Datum 21 mei 2019

Opdrachtgevers Bureau Verkuylen
Veemarktkade 8
5222 AE 'S-HERTOGENBOSCH

Contactpersoon De heer ing. J. Nijssen

Behandeld door De heer J. Kerkhofs
De heer C.J. Ostendorf
Cauberg Huygen B.V.
Science Park Eindhoven 5634
5692 EN Son
Telefoon 088-5152505

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Uitgangspunten	4
2.1	Opzet onderzoek	4
2.2	Toetsingskader	4
2.3	Beschrijving situatie	5
3	Trillingsmetingen	7
3.1	Algemeen	7
3.2	Meetposities	7
3.3	Meetparameters	9
3.4	Treinen	9
4	Meetresultaten	10
4.1	Bemande metingen	10
4.2	Onbemande metingen	10
4.2.1	Meetpunt MT36	10
4.3	Meetpunt MT37	12
4.4	Gebruikte gegevens voor prognose	14
5	Prognose	15
5.1	Werkwijze	15
5.2	Onzekerheden prognose	15
5.3	Invoergegevens	15
5.3.1	$V(f)_{\text{topmaaiveld}}$	15
5.3.2	$H(f)_{\text{fundering}}$	16
5.3.3	$H(f)_{\text{vloer}}$	16
5.4	Resultaat prognose	17
5.5	Beoordeling	18
5.6	Beschouwing	19
6	Conclusie en mogelijk vervolg	20

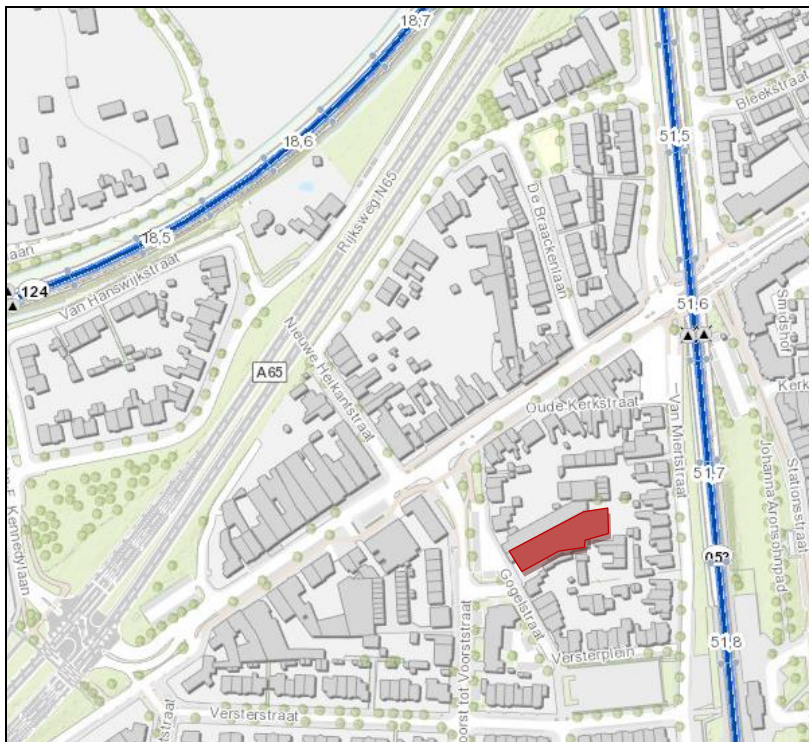
Bijlagen

Bijlage I

Bijlage I-1 Grafische weergave meetresultaten

1 Inleiding

In opdracht van Bureau Verkuylen BV is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd ten behoeve van een bouwplan met 26 wooneenheden aan de Gogelstraat 3 te Vught in verband met de optredende trillingen vanwege railverkeer. Figuur 1.1 geeft een overzicht van de locatie van het bouwplan.



Figuur 1.1: situering bouwplan Gogelstraat 3

Het bouwplan is gelegen op relatief korte afstand ten westen van het spoortraject 's-Hertogenbosch-Eindhoven en op grotere afstand ten zuiden van het spoortraject 's-Hertogenbosch-Tilburg. Doel van het onderzoek is om te bepalen of de trillingen als gevolg van het treinverkeer kunnen leiden tot hinder voor personen in de nieuw te bouwen woningen. Daartoe zijn trillingsmetingen op maaiveld uitgevoerd en is de trillingssterkte in de woningen geprognosticeerd. Het onderzoek heeft met name betrekking op het traject 's-Hertogenbosch – Eindhoven aan de oostkant van het bouwplan omdat dit traject veel dichterbij het bouwplan ligt en veel relevanter is voor de trillingen dan het treinverkeer aan de noordzijde van het bouwplan.

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

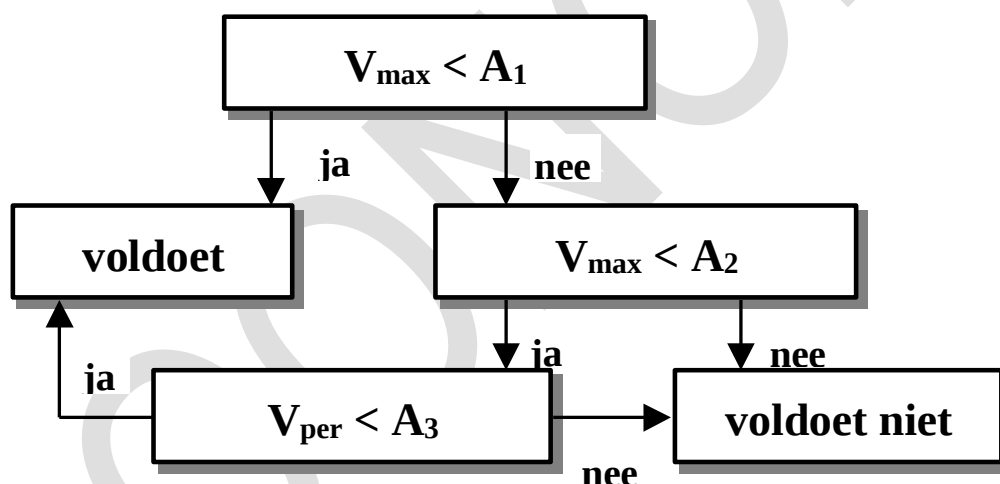
2.1 Opzet onderzoek

Voor de opzet van het onderzoek is gekozen voor een combinatie van bemande en onbemande metingen. De bemande metingen zijn uitgevoerd op 29 januari 2019. De onbemande metingen zijn aansluitend uitgevoerd van 29 januari t/m 5 februari voor een periode van één week, conform de aanbevelingen uit de SBR richtlijn. Hierdoor ontstaat inzicht in de optredende trillingsniveaus over een langere periode.

Er is gemeten op de hoekpunten van het bouwplan het dichtste bij het spoor en aan de voorzijde bij de Gogelstraat. Op basis van de meetresultaten op maaiveld is de maatgevende treinpassage bepaald voor verschillende afstanden tot het spoor. Van deze passage is het trillingsspectrum bepaald. Vervolgens zijn spectrale overdrachtsfactoren toegepast voor de overdracht van trillingen naar de fundering van de woning en vanaf de fundering naar het midden van de vloer. Op deze wijze is de trillingssterkte $V_{\max}$ van de vloer berekend en getoetst aan de streefwaarden uit SBR B.

2.2 Toetsingskader

Voor de beoordeling van de trillingssterkte in de woning 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.

De functie van het bouwwerk is wonen en zorg. 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 nieuw te bouwen woningen. 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
Gezondheidszorg	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Woning	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

Uit tabel 2.1 volgt dat de nachtperiode 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 bouwplan is gelegen op circa 75 meter afstand van het dichtstbijzijnde spoor. Het spoor ligt op maaiveld. Figuur 2.1 toont een impressie van het zicht op het spoor vanuit het terrein. De treinen zijn nauwelijks zichtbaar.



Figuur 2.1: intercity is nauwelijks te zien (tussen de woningen) vanaf de achterkant van de Gogelstraat 3.

Figuur 2.2 toont een schets van het bouwplan en terreinindeling.



Figuur 2.2: schets van bouwplan

Aan de straatzijde wordt een gebouwdeel van twee lagen gerealiseerd. In dit gebouwdeel zijn kamers en eventueel gemeenschappelijke ruimten voorzien. Het middendeel en de achterbouw bestaat uit één bouwlaag. In het middendeel worden kamers gerealiseerd. In het achterdeel worden gemeenschappelijke ruimten gerealiseerd. De kamers zijn woonzorgeenheden. Figuur 2.3 toont een plattegrond van de begane grond.



Figuur 2.3: plattegrond begane grond met woningen

3 Trillingsmetingen

3.1 Algemeen

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd van 29 januari t/m 5 februari 2019. Bij de bemande meting is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

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

Bij de bemande meting is gebruik gemaakt van de master-slave functie van de Red Box. Dit wil zeggen dat alle trillingsmeters een tijdsignaal opslaan wanneer de master een trigger geeft. Hierdoor kan een betere relatie worden gelegd tussen de trillingsniveaus op de verschillende meetpunten ten gevolge van dezelfde treinpassage.

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

De bemande meting is uitgevoerd met drie meetpunten, de onbemande meting met twee. Paragraaf 3.2 geeft een omschrijving van de meetposities.

3.2 Meetposities

De metingen zijn uitgevoerd op twee meetpunten aan de oostelijke kant van het bouwplan op circa 65 meter afstand van het spoor en één meetpunt aan de westkant van het bouwplan, op zo groot mogelijke afstand tot het spoor Den Bosch - Eindhoven. Het meetpunt op zo groot mogelijke afstand van het spoor (ZT42) is alleen tijdens de bemande metingen gebruikt omdat het meetpunt vlak langs de openbare weg ligt. 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)

Figuur 3.1 toont de meetposities.



Figuur 3.1: overzicht meetposities
Gogelstraat 3 te Vught;
trillingsonderzoek railverkeer

De trillingssensoren aan de oostzijde van het bouwplan zijn ingegraven in de bodem zodat op de vaste grond is gemeten. De trillingsopnemers zijn bevestigd op een grondplaat die door middel van een gewicht stevig in de zandbodem is gelegd. Figuur 3.2 geeft een voorbeeld van deze opstelling.



Figuur 3.2: voorbeeld meetopstelling trillingsopnemer op bodemplaat

De trillingssensor aan de westzijde van het bouwplan is geplaatst op een stoeptegels. Figuur 3.3 geeft een voorbeeld van deze opstelling.



Figuur 3.3: voorbeeld meetopstelling trillingsopnemer op tegel

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

3.3 Meetparameters

Elke 30 seconde is het trillingsniveau vastgelegd.

Met betrekking tot de kans op hinder 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

Tijdens de bemande trillingsmetingen is vastgesteld dat:

- treinen van het type DDAR en Flirt stoppen en vertrekken van station Vught. Zij rijden over spoor 1 en 4;
- treinen van het type VIRM en ICR op hoge snelheid door het station rijden. Zij rijden over spoor 2 en 3;
- goederentreinen meestal door het station rijden over spoor 1 en 4.

De rijnsnelheid bedraagt voor de doorgaande reizigerstreinen tussen de 120 en 140 km/uur. De snelheid van de goederentreinen is niet afzonderlijk bepaald. Ordegrootte zal rond de 90 km/uur zijn.

Gedurende de onbemande metingen is alleen het trillingsniveau geregistreerd. Type trein en rijnsnelheid zijn niet geregistreerd. Voor de prognose is uitgegaan van de maximale trein dat wil zeggen de treinpassage die per meetpunt het hoogste trillingsniveau heeft veroorzaakt.

4 Meetresultaten

4.1 Bemande metingen

Tabel 4.1 geeft per meetpunt een overzicht van de treinpassages met de hoogste trillingssterkte. In de kolommen van de meetpunten staat de maximale trillingssterkte voor de betreffende passage. Tussen haakjes staat de maatgevende trillingsrichting. De tabel is gesorteerd op tijdstip.

Tabel 4.1: treinpassages met de hoogste trillingssterkte $V_{\max}$ tijdens bemande metingen

Tijdstip	$v_{\max}$ [-]		
	MT36	MT37	ZT42
12:09:20	0,21 (X en Y)	verstoord	0,04 (Z)
12:58:12	0,21 (X)	0,13 (X)	0,04 (Z)
13:08:48	0,21 (X)	0,16 (X en Y)	0,04 (X,Y en Z)
13:18:43	0,19 (Y)	0,17 (X)	0,03 (X,Y en Z)
13:21:55	0,18 (Y)	0,21 (X)	0,09 (Z)
13:40:48	0,14 (X)	0,15 (X)	0,11 (Z)
13:51:06	0,12 (X)	0,09 (X en Y)	0,07 (Z)

Het was niet mogelijk om vanuit de meetlocatie alle treinen te zien. Het is dus onbekend welke type treinen welke trillingen veroorzaakt hebben. Wel is zeker dat alle $v_{\max}$ waarden veroorzaakt zijn door treinpassages. De tijdsignalen en frequentiespectra van de bemande metingen zijn gebruikt als basis voor de herkenning van de treinpassages tijdens de onbemande metingen. Op deze wijze is onderscheid gemaakt tussen trillingen van treinen en trillingen van andere bronnen zoals lopen en de passages van verkeer.

4.2 Onbemande metingen

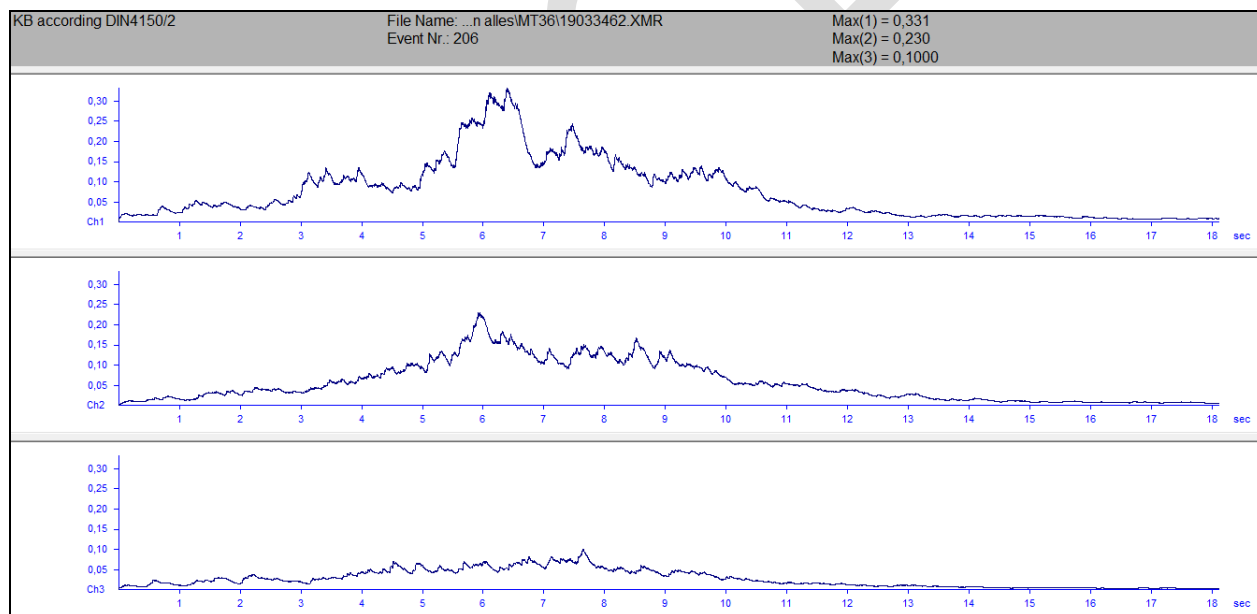
4.2.1 Meetpunt MT36

Van de opgeslagen tijdsignalen is de top tien bepaald met de hoogste $v_{\max}$ waarde. Vervolgens is op basis van het tijdsignaal en het frequentiespectrum bepaald of sprake is van een treinpassage of van een andere bron. Als het een andere bron was, is dit signaal verwijderd en is het volgende tijdsignaal gebruikt. Zo is een top tien van treinpassages samengesteld. Tabel 4.2 geeft een overzicht van het meetresultaat voor het noordelijke meetpunt. In de eerste kolom zijn datum en tijd van de passage beschreven. In de kolommen X, Y en Z de trillingssterkte $v_{\max}$ voor de betreffende trillingsrichting. In de laatste kolom is de maximale trillingssterkte $V_{\max}$ voor die passage opgenomen. Dit is de hoogste waarde van de drie trillingsrichtingen.

Tabel 4.2: top tien treinpassages meetpunt MT36

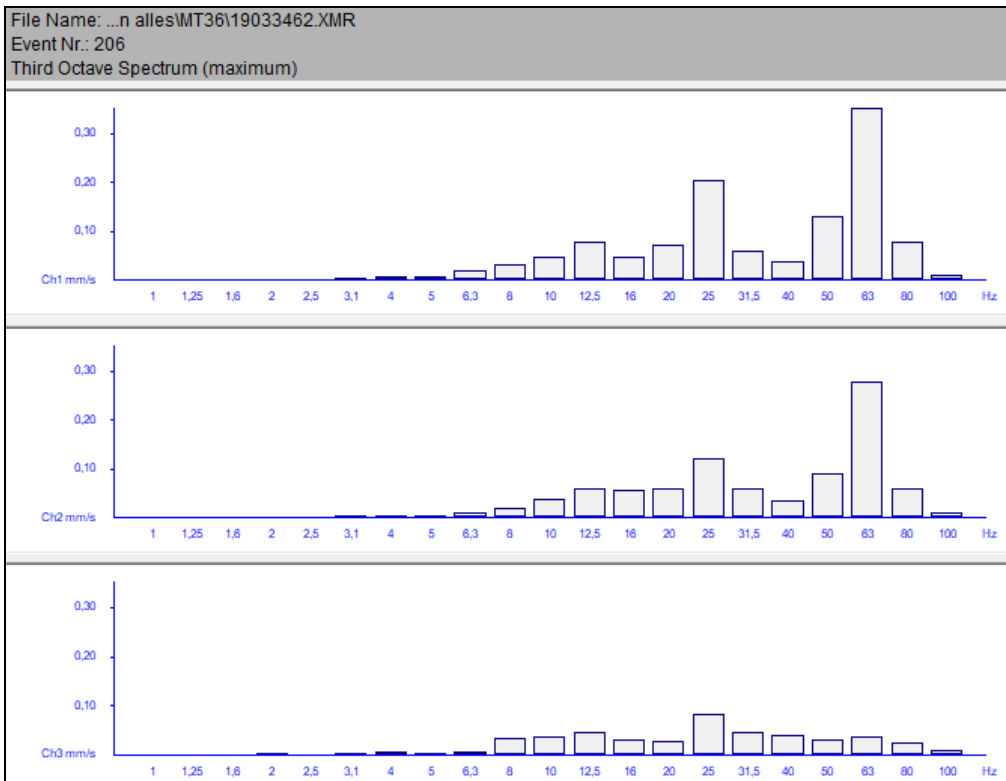
Passage	Datum	Tijdstip	$v_{\max}$ X [-]	$v_{\max}$ Y [-]	$v_{\max}$ Z [-]	$V_{\max}$ [-]
1	2-2-2019	18:23:12	0,331	0,23	0,1	0,331
2	29-1-2019	17:28:39	0,228	0,181	0,078	0,228
3	29-1-2019	18:41:00	0,205	0,228	0,081	0,228
4	29-1-2019	11:52:20	0,136	0,223	0,059	0,223
5	29-1-2019	19:29:28	0,173	0,223	0,076	0,223
6	1-2-2019	23:51:42	0,223	0,171	0,087	0,223
7	30-1-2019	11:58:41	0,18	0,217	0,079	0,217
8	30-1-2019	16:28:31	0,217	0,176	0,088	0,217
9	1-2-2019	09:39:23	0,216	0,16	0,094	0,216
10	30-1-2019	10:09:24	0,159	0,214	0,072	0,214

Het verloop van de gewogen voortschrijdende effectieve trillingssterkte voor passage 1 is weergegeven in figuur 4.1.



Figuur 4.1: verloop voortschrijdende effectieve trillingssterkte meetpunt MT36 met een $V_{\max}$ van 0,331

Voor de passages is een frequentieanalyse uitgevoerd om een trillingspectrum te bepalen dat in de prognose gebruikt kan worden voor de berekening van de trillingssterkte in de woning. Figuur 4.2 geeft het spectrum weer voor de trein uit figuur 4.1



Figuur 4.2: maximaal trillingsspectrum treinpassage goederentrein $V_{\max}$ 0,331

Opvallend is de hoge piek in het spectrum in de 63 Hz tertsband. Dit kan veroorzaakt worden door resonanties in de opstelling van de sensor maar bij zandgronden kunnen deze hogere frequenties ook in de bodem voorkomen. Bij de prognose is rekening gehouden met het effect van resonantie in de opstelling. Als de hogere frequenties een gevolg zijn van de overdracht door de bodem dan bestaat er een verhoogde kans op afgestraald laagfrequent geluid in de toekomstige woning.

4.3 Meetpunt MT37

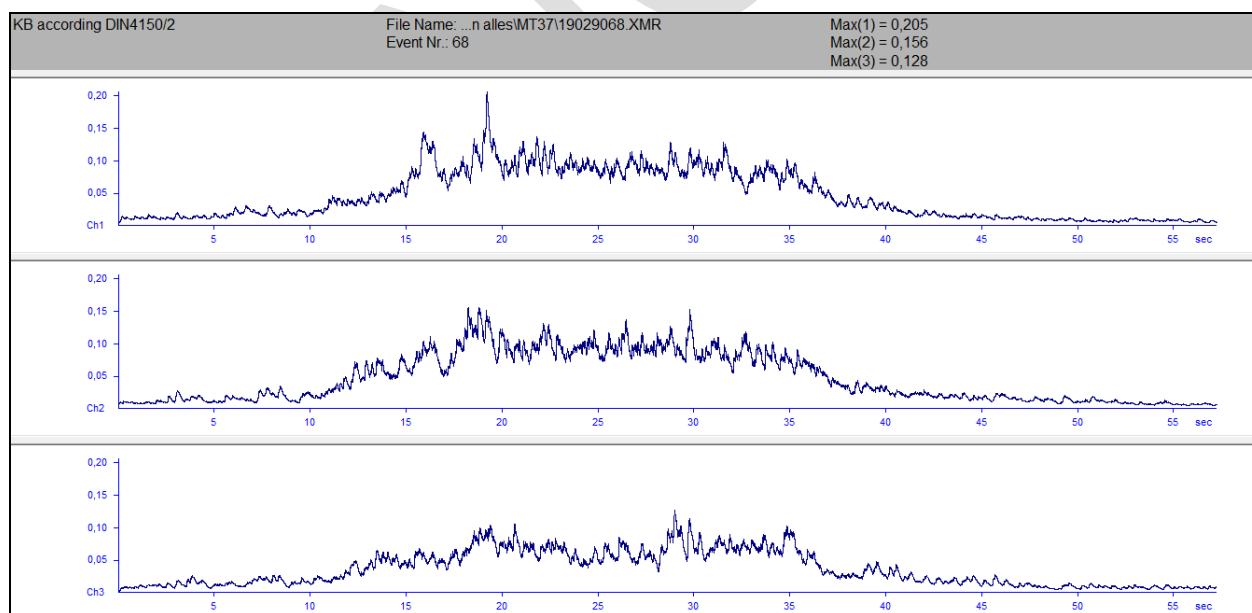
Ook voor meetpunt MT37 is een top tien van treinpassages opgesteld. Tabel 4.3 toont het resultaat.

Tabel 4.3: top tien treinpassages meetpunt MT37

Passage	Datum	Tijdstip	$v_{\max}$ X [-]	$v_{\max}$ Y [-]	$v_{\max}$ Z [-]	$V_{\max}$ [-]
1	29-1-2019	13:21:55	0,205	0,156	0,128	0,205
2	30-1-2019	23:20:02	0,196	0,12	0,123	0,196
3	29-1-2019	18:18:09	0,153	0,183	0,087	0,183
4	2-2-2019	13:23:42	0,123	0,181	0,107	0,181
5	30-1-2019	13:21:00	0,126	0,18	0,112	0,18
6	2-2-2019	18:23:12	0,179	0,177	0,083	0,179
7	29-1-2019	13:18:43	0,174	0,155	0,086	0,174
8	5-2-2019	00:25:50	0,117	0,168	0,076	0,168
9	30-1-2019	21:22:05	0,154	0,166	0,161	0,166
10	31-1-2019	09:58:15	0,164	0,145	0,073	0,164

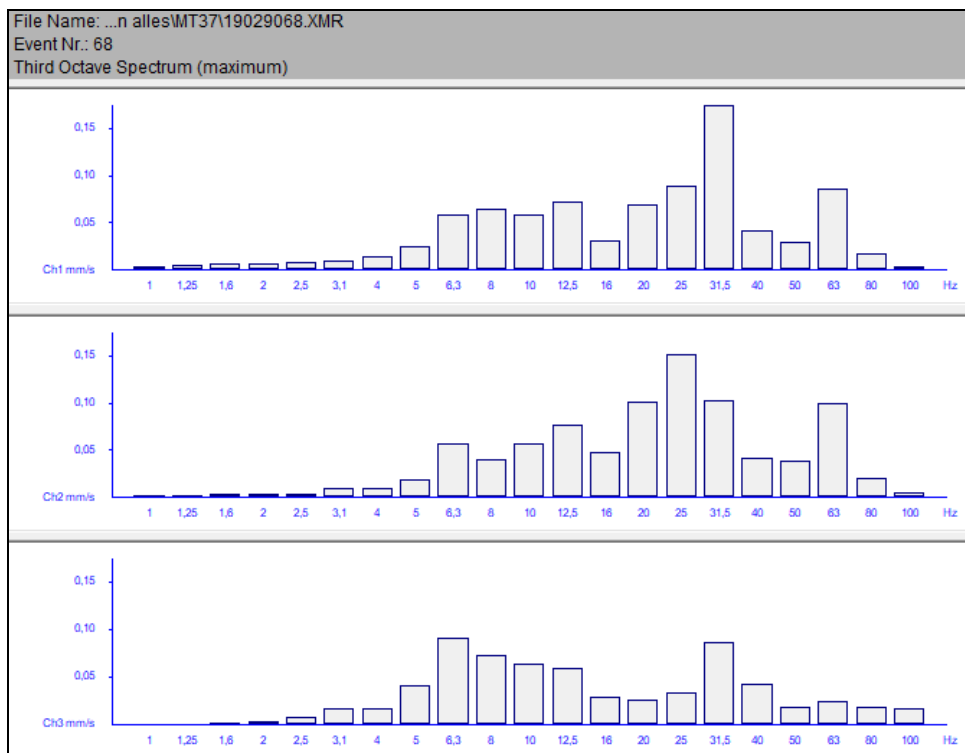
Uit tabel 4.3 volgt een $V_{\max}$ van 0,205. Voor meetpunt MT36 is de maximale trillingssterkte hoger dan bij meetpunt MT37. Het is gebruikelijk dat er veel spreiding op kan treden in de trillingssterkte op maaiveld zelfs als de meetpunten relatief dicht bij elkaar liggen. Voor het meetpunt MT37 is de spreiding in trillingssterkte in de top tien iets kleiner dan voor meetpunt MT36.

De voortschrijdende effectieve trillingssterkte van de maatgevende passage is weergegeven in figuur 4.3.



Figuur 4.3: voortschrijdende effectieve trillingssterkte maatgevende treinpassage meetpunt MT37 met $V_{\max}$ van 0,205

Ook voor deze treinpassage is het maxhold spectrum in tertsbanden bepaald. Figuur 4.4 toont het resultaat.



Figuur 4.4: frequentiespectrum horende bij treinpassage meetpunt zuid met $v_{\max}$ van 0,205

Bij dit meetpunt is de 63 Hz tertsband nog steeds aanwezig in het spectrum maar minder dominant ten opzichte van de lagere frequenties.

4.4 Gebruikte gegevens voor prognose

De prognose is uitgevoerd met de spectra van vier treinpassages uit de top 10 waarbij zowel passages zijn genomen met vooral dominante lage frequenties (gebied tussen 5 en 20 Hz) als treinpassages met hogere dominante frequenties.

Een overzicht van alle gemeten treinpassages met v_{effmax} per passage is voor beide meetpunten opgenomen in bijlage I.

5 Prognose

5.1 Werkwijze

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

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

Hierin is:

$V_{\max}$	de volgens SBR B gewogen maximale trillingssterkte
$V(f)_{\text{topmaaiveld}}$	de gemeten trillingssnelheid op maaiveld
$H(f)_{\text{fundering}}$	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 $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$.

5.2 Onzekerheden prognose

De prognose heeft aan aantal onzekerheden. Zo ligt er een plan om de ligging van het spoor te wijzigen. De prognose is uitgevoerd zonder rekening te houden met de gewijzigde ligging. Een verandering van de opbouw en ligging van het spoor zal voor een andere trillingssterkte in het gebouw zorgen. Het is onbekend of dit een positieve of negatieve invloed heeft op de trillingen.

De metingen zijn uitgevoerd op maaiveld en niet op de fundering van het bestaande gebouw omdat het nieuwe gebouw dichtbij het spoor ligt dan het bestaande gebouw en de bestaande fundering niet hergebruikt wordt. Dat betekent dat de invloed van de bestaande fundering moeten worden verrekend en die overdracht is niet eenvoudig vast te stellen. Daarom is gekozen voor een meting op maaiveld. Het meten op maaiveld op een korte afstand van een gebouw (afstand kleiner dan 25 meter) kan voor reflecties van trillingen zorgen. Deze reflecties zijn meegenomen in de meetresultaten.

Op basis van heeldrops is vastgesteld dat enige resonantie aanwezig is geweest in de opstelling van de trillingssensor. Hier is voor gecorrigeerd in de 50 en 63 Hz tertsbands.

De prognose is opgesteld zonder constructieve gegevens. Er is gekozen voor een fundering op staal en betonnen vloeren. Omdat er geen specifieke gegevens van de vloeren bekend zijn en daarmee de eigenfrequentie niet kan worden berekend, zijn verschillende eigen frequenties gebruikt voor de prognose.

5.3 Invoergegevens

5.3.1 $V(f)_{\text{topmaaiveld}}$

Per meetpunt is de top tien treinpassages spectraal vergeleken. Hieruit is een keuze gemaakt voor vier spectra:

- Spectrum van de treinpassage met de hoogste $V_{\max}$;
- Spectrum van treinpassages met veel energie in de hoge frequenties;
- Spectrum van treinpassage met relatief veel energie in de lage frequenties;
- Spectrum van treinpassage met hoogste trillingssterkte in een andere trillingsrichting.

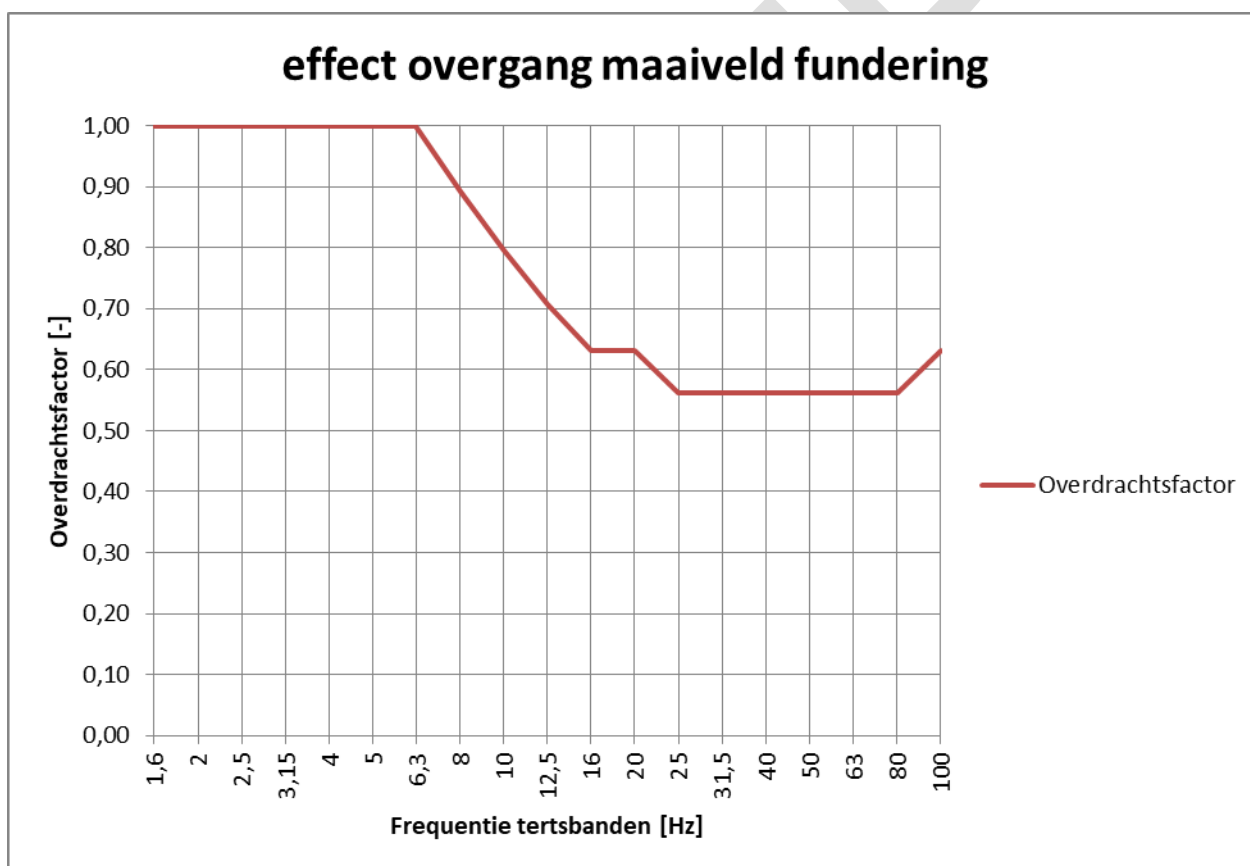
De prognose is opgesteld voor deze vier treinpassages.

Voor de oostzijde blijkt de grens van de nieuwbouw uiteindelijk 7 meter dicht bij het spoor te liggen dan waar nu de meetpunten MT36 en MT37 zijn geplaatst. In de prognose is voor dit verschil in afstand gecorrigeerd op basis van de formule van Barkan. Voor de bodemdemping is uitgegaan van 0,5%. Dit leidt tot een toename van de trillingssterkte met een factor 1,1. De gemeten trillingssterkte van de vier gebruikte treinpassages is met een factor 1,1 vermenigvuldigd.

5.3.2 $H(f)_{\text{fundering}}$

De constructieve gegevens van het gebouw zijn nog niet bekend. De schetsontwerpen tonen aan dat een groot deel van de bouw uit één verdieping bestaat. Op basis van daarvan is gekozen voor de classificatie "Eengezinswoning" met een relatief licht fundering.

Op basis van literatuurgegevens is uitgegaan van de in figuur 5.1 getoonde overdrachtsfactor voor de trillingen vanuit maaiveld naar de fundering. Een waarde van 1 wil zeggen dat er geen verzwakking optreedt. Voor de laagste frequenties vanaf 1,6 Hz tot 6,3 Hz tertsband heeft de fundering geen reducerende invloed. Een waarde kleiner dan 1 wil zeggen dat er verzwakking optreedt. Dit is het geval voor de frequenties tussen 6,3 en 100 Hz. De maximale reductie bedraagt bijna een factor 2.

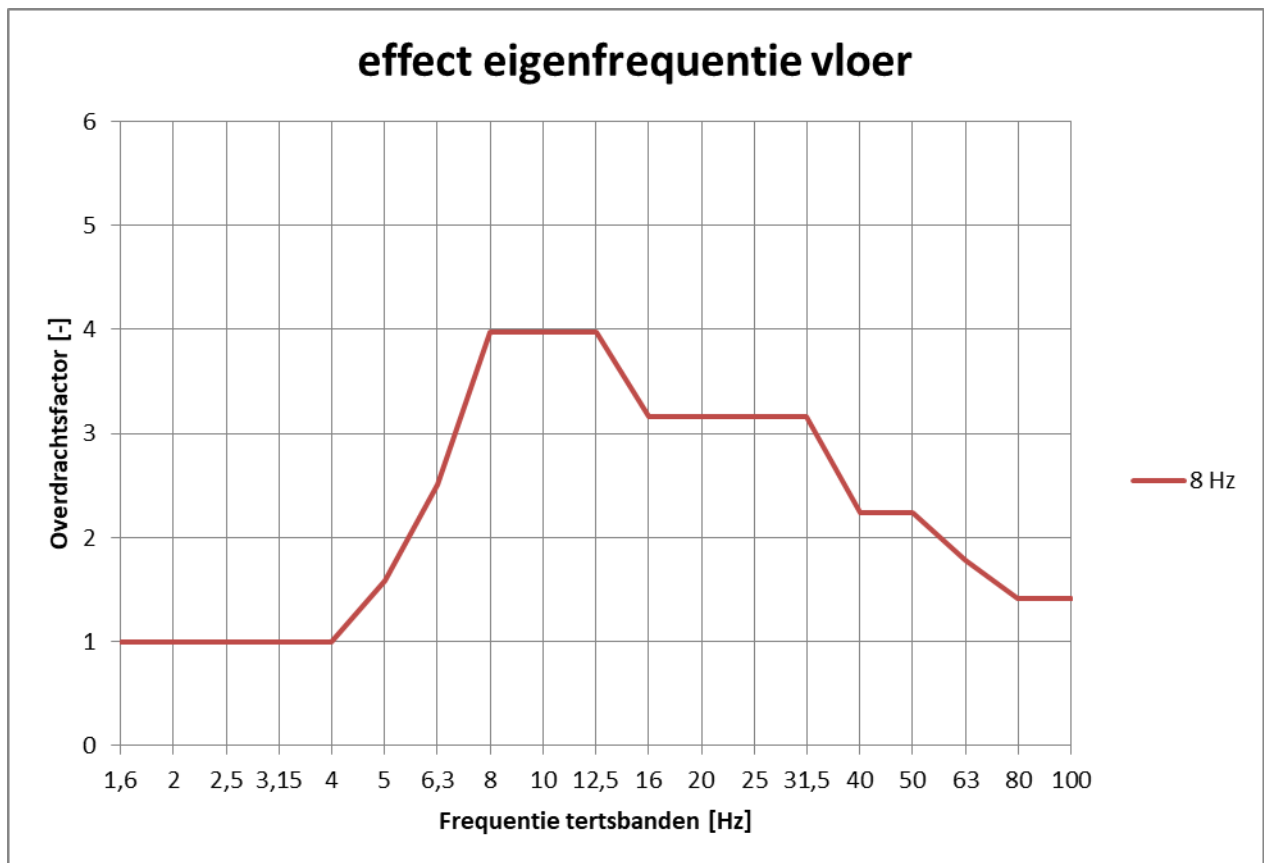


Figuur 5.1: verloop overdrachtsfactor voor trillingen maaiveld naar fundering

5.3.3 $H(f)_{\text{vloer}}$

Omdat de afmetingen en opbouw van de vloeren niet bekend zijn, is gekozen voor eerste eigenfrequenties van 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 en 50 Hz.

Figuur 5.2 toont als voorbeeld de overdrachtsfactor voor de vloer bij 8 Hz. Een waarde groter dan 1 geeft aan dat de vloer voor die frequenties extra trillingen veroorzaakt als gevolg van resonantie. Wanneer de eerste eigenfrequentie hoger is dan 8 Hz dan schuift de lijn op naar rechts.



Figuur 5.2: overdrachtsfactor vloer voor verschillende overspanningen

5.4 Resultaat prognose

Per meetpunt is voor de vier gekozen treinpassages een prognose opgesteld. Hierbij is op ieder meetpunt een prognose gemaakt voor verschillende eerste eigenfrequenties van het gebouw.

De resultaten zijn weergegeven in tabel 5.1. Per meetpunt en eerste eigenfrequentie is de trillingssterkte $V_{\max}$ weergegeven. Dit is de hoogste berekende trillingssterkte voor de vier gebruikte treinpassages en de drie trillingsrichtingen voor dat meetpunt.

Tabel 5.1: resultaat prognose met berekening $V_{\max}$

Eerste eigenfrequentie [Hz]	$V_{\max}$ meetpunt MT36 [-]	$V_{\max}$ meetpunt MT37 [-]	$V_{\max}$ meetpunt ZT42 [-]
8	0,42	0,39	0,25
10	0,42	0,39	0,19
12	0,34	0,37	0,14
14	0,34	0,37	0,14
16	0,26	0,28	0,13
18	0,21	0,23	0,12
20	0,21	0,23	0,12
22	0,21	0,21	0,12
50	0,14	0,21	0,10

5.5 Beoordeling

Als eerste is getoetst aan de bovenste streefwaarde A_2 voor $V_{\max}$. Als deze waarde wordt overschreden, is een verdere beoordeling niet nodig want dan wordt al niet voldaan aan de toetsingswaarden uit SBR richtlijn B. A_2 bedraagt 0,4 voor de dagperiode en 0,2 voor de nachtperiode.

Bij eerste eigenfrequenties in ordegrootte van 8 tot 20 Hz wordt in de nachtperiode de streefwaarde A_2 overschreden op de oostelijke meetpunten (MT36 en MT37) dicht bij het spoor. Voor het meetpunt aan de straatzijde van het gebouw (ZT42, westelijk gelegen) vindt alleen een overschrijding plaats bij een 8 Hz eigenfrequentie.

In de dag- en avondperiode wordt A_2 overschreden bij 8 en 10 Hz voor het meetpunt MT36.

Op alle meetpunten wordt A_1 voor alle eerste eigenfrequenties overschreden. Een overschrijding van de streefwaarde A_1 is toegestaan als de gemiddelde trillingssterkte over een periode (V_{per}) voldoet aan de streefwaarde A_3 van 0,05.

Voor de berekening van V_{per} zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- 16 treinen per uur: 192 treinen in de dagperiode, 64 treinen in de avondperiode en 64 treinen in de nachtperiode;
- Een overdrachtsfactor tussen de gemeten $V_{\max}$ op maaiveld en de prognosewaarde van $V_{\max}$ in de dichtstbij gelegen woning van 2,4 voor meetpunt MT36 en een factor 2,1 voor MT37;
- In het totaal zijn circa 2400 treinpassages gemeten. Circa 98% van deze treinen veroorzaakt een $V_{\max}$ van 0,08 op maaiveld of minder. Niet al deze treinpassages veroorzaken een trillingssterkte van 0,1 of hoger in de toekomstige woningen. Voor de berekening van V_{per} mogen namelijk alleen die treinen worden meegenomen met een $V_{\max}$ van 0,1 of hoger. Op basis van de overdrachtsfactor zijn dus alleen die treinen meegenomen die op maaiveld zorgen voor een trillingssterkte van 0,042 ($0,042 \cdot 2,4 = 0,1$). In de berekening van V_{per} is een verdeling aangehouden: 50% van deze treinen zorgt voor een $V_{\max}$ van 0,1 in de woning en 50% voor een $V_{\max}$ van 0,19 ($0,08 \cdot 2,4$).
- Verder is ervan uitgegaan dat de resterende 2% van de treinen een $V_{\max}$ veroorzaakt van 0,39 (voldoet aan A_2 in de dag- en avondperiode) in de woning. Dit betekent 7 treinen in de dagperiode, 2 in de avondperiode en 5 in de nachtperiode omdat in de nachtperiode relatief veel goederentreinen rijden.

De verdeling van het aantal treinpassages en de bijbehorende geprognosticeerde $V_{\max}$ waarden die gebruikt zijn voor de berekening van V_{per} , is daarmee als volgt:

$V_{\max} = 0,39$: dagperiode 7, avondperiode 2, nachtperiode 2

$V_{\max} = 0,19$: dagperiode 48, avond en nachtperiode ieder 16

$V_{\max} = 0,1$: dagperiode 48, avond en nachtperiode ieder 16

In het totaal is dus uitgegaan van 103 relevante treinpassages in de dagperiode, 34 in de avondperiode en 37 in de nachtperiode.

In de berekening van V_{per} is ervan uitgegaan dat alle aangegeven aantallen treinen de bijbehorende waarde voor $V_{\max}$ veroorzaken. Dit is een overschatting van de werkelijke situatie en daarmee is voor V_{per} een worst case situatie berekend.

V_{per} is berekend voor het meetpunt MT36 omdat hiervoor de hoogste waarde van $V_{\max}$ optreedt. De berekening leidt tot de volgende resultaten:

V_{per} dagperiode MT36: 0,048

V_{per} avondperiode MT36: 0,047

In alle perioden is V_{per} kleiner dan de streefwaarde A_3 van 0,05. Dit betekent dat in de dag- en avondperiode voldaan wordt aan de streefwaarden uit SBR richtlijn B.

V_{per} is niet berekend voor de nachtperiode omdat daarin een overschrijding plaatsvindt van de streefwaarde A_2 . De beoordeling van V_{per} is dan niet aan de orde.

5.6 Beschouwing

De hoogste berekende trillingsniveaus uit tabel 5.1 overschrijden de streefwaarde A_2 uit SBR richtlijn B in de nachtperiode. De berekende trillingssterkte varieert tussen 0,25 voor meetpunt ZT42 (zijde Gogelstraat) en 0,42 voor de oostelijke zijde van de nieuwbouw. Beide trillingssterkten zijn voelbaar en als deze trillingssterkte optreedt in de nachtperiode, dan kan een ontwakingsreacties niet worden uitgesloten.

Niet iedere treinpassage zal tot de berekende hoogste waarden leiden. De prognose is opgesteld op basis van de maximale trillingssterkte gemeten over een periode van 1 week. Het gaat om circa 20 – 40 passages op een totaal van circa 2400 gemeten passages ervan uitgaande dat al deze treinen in de nachtperiode zouden kunnen rijden. Vanuit de systematiek van de beoordeling waarbij eerst $V_{\max}$ en daarna V_{per} wordt beoordeeld, geldt echter dat 1 passage in de nachtperiode met de berekende maximale trillingssterkte al zorgt voor een overschrijding.

In de trillingsspectra is een relatief groot aandeel energie in de hogere frequenties (met name de 63 Hz tertsband) aanwezig. In combinatie met de berekende trillingssterkten is de kans op laagfrequent geluid aanwezig. Dit betekent dat de trillingen door de bodem de vloer en wanden in trilling kunnen brengen die vervolgens deze trilling als laagfrequent geluid afstralen. Gevolg is dat bepaalde treinpassages tot een rommelend geluid in de nieuwe te bouwen woningen kunnen leiden.

Bij het verdere ontwerp van het gebouw dient dus rekening te worden gehouden met de invloed van trillingen.

6 Conclusie en mogelijk vervolg

In opdracht van Bureau Verkuylen BV is door Cauberg Huygen B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd ten behoeve van het nieuwbouwplan aan de Gogelstraat 3 te Vught in verband met de optredende trillingen vanwege railverkeer.

Het trillingsonderzoek leidt tot de volgende conclusies:

1. De hoogste berekende trillingssterkte $V_{\max}$ ten gevolge van een treinpassage bedraagt 0,42 voor het meetpunt MT36 (noordoost zijde), 0,39 voor het meetpunt MT37 (zuidoostzijde) en 0,25 voor het meetpunt ZT42 aan de westzijde van het bouwplan.
2. Deze $V_{\max}$ waarden overschrijden de streefwaarde A_2 uit de SBR richtlijn B in de nachtperiode.
3. In de dag- en avondperiode voldoet de berekende trillingssterkte $V_{\max}$ en V_{per} aan de streefwaarden A_2 en A_3 uit SBR richtlijn B.

De berekende overschrijding toont aan dat er een kans bestaat op hinder door trillingen. Omdat het (constructieve) ontwerp van het plan nog niet vast staat, biedt dat de kans om het ontwerp zo vorm te geven dat de trillingsbelasting zo goed mogelijk wordt gereduceerd. Dit betekent dat een relatief zware/stijve fundering nodig is en dat bij het ontwerp van de vloeren rekening moet worden gehouden met de eerste eigenfrequenties van de vloeren zodat zo min mogelijk versterking van de trillingen optreedt. Het ontwerp van de fundering bepaalt mede de ontwerpeisen aan de vloeren.

De aanbeveling is om in het kader van de aanvraag omgevingsvergunning, in een vervolgonderzoek een gedetailleerder rekenmodel op te laten stellen door middel van een Eindige Elementen Methode model. Daarmee kan het effect van een maatregel, of een combinatie van maatregelen worden bepaald.

Cauberg-Huygen B.V.

De heer C.J. Ostendorf