

Amerikalaan 14

6199 AE MAASTRICHT - AIRPOF

Postbus 480

6200 AL MAASTRICHT

T +31 (0)43-3467878

F +31 (0)43-3476347

E maastricht.ch@dpa.nl

www.dpa.nl/cauberg-huygen

K.v.K 58792562

IBAN NL71 RABO 0112 075584

**Trillingsonderzoek railverkeer nieuwbouw Polderweg 1
Prognose trillingssterkte SBR Richtlijn B**

Datum 21 februari 2017
Referentie 02397-17947-02

CONCEPT

Referentie 02397-17947-02
Rapporttitel Trillingsonderzoek railverkeer nieuwbouw Polderweg 1
Prognose trillingssterkte SBR Richtlijn B
Datum 21 februari 2017

Opdrachtgever Gemeente Amsterdam
Grond en Ontwikkeling, team gebiedsontwikkeling
Postbus 1104
1000 BC AMSTERDAM
Contactpersoon Mevrouw J. Röben

Behandeld door C.J. Ostendorf
ir. G.H.J. Busscher
DPA Cauberg-Huygen B.V.
Amerikalaan 14
6199 AE MAASTRICHT - AIRPORT
Postbus 480
6200 AL MAASTRICHT
Telefoon 043-3467878
Fax 043-3476347

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Uitgangspunten	4
2.1	Opzet onderzoek	4
2.2	Toetsingskader	4
3	Trillingsmetingen	6
3.1	Algemeen	6
3.2	Meetposities	6
3.3	Meetparameters	7
4	Meetresultaten	8
4.1	Bemande metingen	8
4.2	Onbemande metingen	8
4.3	Gebruikte gegevens voor prognose	8
5	Prognose	12
5.1	Werkwijze	12
5.2	Invoergegevens	12
5.3	Resultaat prognose verticale trilling	13
5.4	Beoordeling verticale trillingssterkte	14
5.5	Prognose horizontale trilling	14
5.6	Beschouwing	15
6	Conclusie en advies	17
6.1	Conclusies	17
6.2	Advies	17

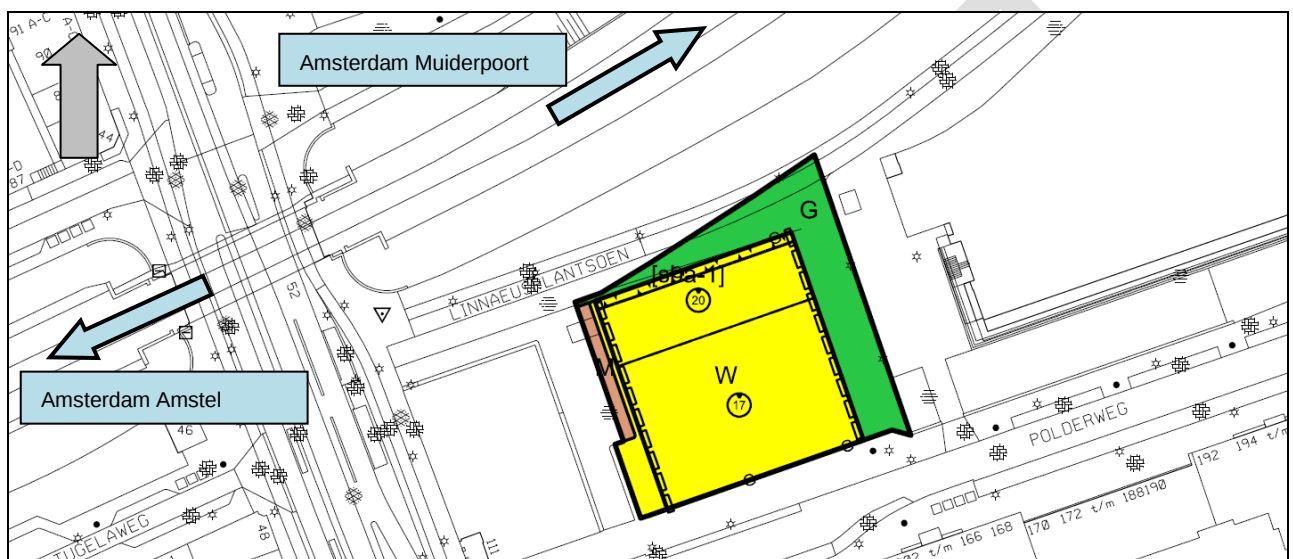
Bijlage I: Verloop trillingssterkte over de meetduur

Bijlage II: Verloop trillingssnelheid tijdens (maatgevende) treinpassages

1 Inleiding

Ter plaatse van de Polderweg 1 is woningbouw geprojecteerd. Figuur 1.1 toont de situatie. Om deze woningbouw mogelijk te maken, is een wijziging van het bestemmingsplan nodig. Hiervoor is een ruimtelijke onderbouwing nodig waarin ook het aspect trillingen een rol speelt in verband met de ligging van het spoor op korte afstand van de nieuwbouwlocatie en de kans op trillingshinder voor toekomstige bewoners.

Om meer inzicht te krijgen op het risico van trillingshinder is door DPA Cauberg-Huygen een trillingsonderzoek uitgevoerd.



Figuur 1.1: situering nieuwbouwplan Polderweg 1 te Amsterdam nabij spoor

Doel van het onderzoek is om te bepalen of de trillingen als gevolg van het treinverkeer kunnen leiden tot hinder voor personen in de woningen. Daartoe zijn trillingsmetingen op maaiveld uitgevoerd en is de trillingssterkte in de toekomstige woningen geprognosticeerd.

Bij de uitvoering van de trillingsmetingen en de beoordeling van de berekende trillingssterkte is gebruik gemaakt van SBR richtlijn B. Richtlijn 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

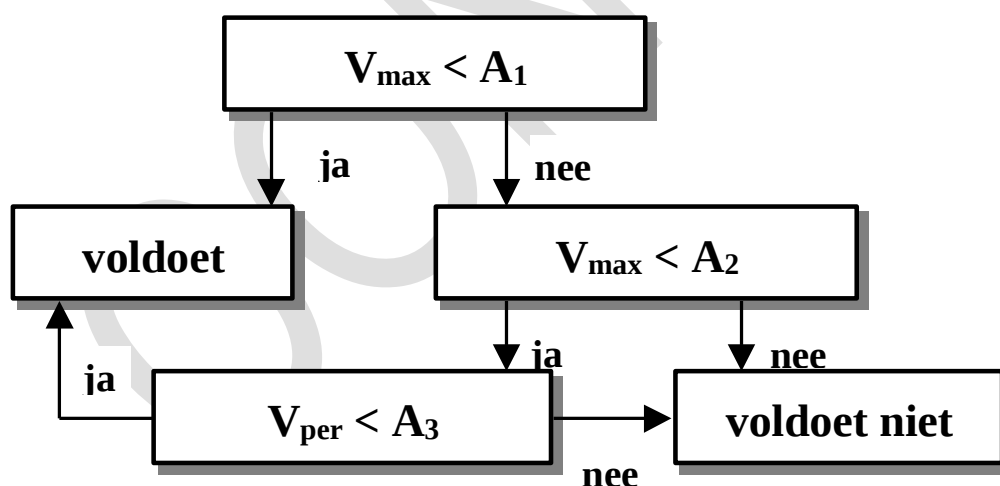
Voor de opzet van het onderzoek is gekozen voor een combinatie van bemande en onbemande metingen. De bemande metingen zijn uitgevoerd op 31 januari 2017. De onbemande metingen zijn aansluitend uitgevoerd van 31 januari t/m 14 februari voor een periode van twee weken. Hierdoor ontstaat inzicht in de optredende trillingsniveaus over een langere periode.

Op basis van de meetresultaten op maaiveld tijdens de bemande metingen, is de overdracht door de bodem bepaald, met name het verloop van de trillingssterkte op verschillende afstanden tot het spoor en de overdracht van trillingen op het bestaande gebouw.

Op basis van de onbemande meting op het fundament van het bestaande gebouw is inzicht verkregen in het verloop van de trillingsniveaus over langere periode. Op basis van deze metingen zijn de maatgevende treinpassages bepaald. Van elk van deze passages is het trillingsspectrum bepaald. Op basis van deze spectra, de gemeten overdracht van trillingen door de bodem, en een karakteristieke overdracht van trillingen van het fundament naar de toekomstige woningen, is de trillingssterkte $V_{\max}$ op de vloer van de toekomstige woningen 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 woning. 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
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 A_2 (de bovenste streefwaarde) is in de nacht het laagst en bedraagt 0,2.

3 Trillingsmetingen

3.1 Algemeen

Bemande metingen

De bemande trillingsmetingen zijn uitgevoerd op dinsdag 31 januari 2017. Ten behoeve van de metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- 4x Syscom Red Box trillingsmonitor MR3000c met 4x 3D trillingsopnemer (trillingssnelheid).

Onbemande metingen

De onbemande metingen hebben plaatsgevonden van dinsdag 31 januari t/m dinsdag 17 februari 2017. Tijdens de onbemande metingen is gebruik gemaakt van de volgende meetapparatuur:

- 2x Syscom Red Box trillingsmonitor MR3000C met 2x 3D trillingsopnemer (trillingssnelheid).

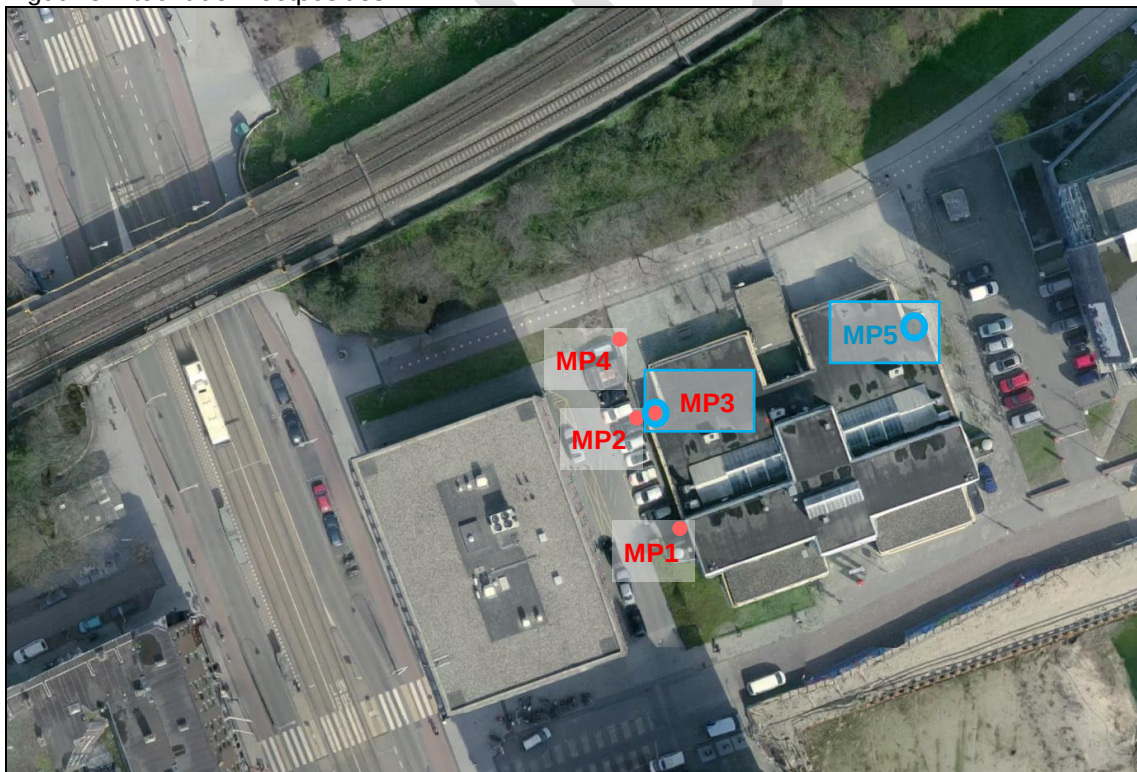
Alle trillingsmeters zijn gesynchroniseerd in tijd.

3.2 Meetposities

De bemande metingen zijn uitgevoerd op vier meetpunten en de onbemande metingen op twee meetpunten. Op ieder meetpunt is de trillingssnelheid gemeten in drie richtingen:

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

Figuur 3.1 toont de meetposities.



Figuur 3.1: overzicht meetposities bemande (rood) en onbemande (blauw) metingen (MP3 is zowel bemand als onbemand gemeten)

Voor de meetpunten geldt de volgende afstand tot het (dichtstbij gelegen) spoor:

- Meetpunt 1: 56 meter (tweede lijns toekomstige woningbouw)
- Meetpunt 2 en 3: 40 meter
- Meetpunt 4: 29 meter (eerste lijns toekomstige woningbouw)
- Meetpunt 5: 46 meter

De trillingsopnemers op het maaiveld zijn op de aanwezige bestrating (stoeptegels) geplaatst en waterpas gezet. De trillingsopnemers in het gebouw zijn waterpas, in stijve hoeken op de aanwezige betonvloer geplaatst.

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.

4 Meetresultaten

4.1 Bemande metingen

Op basis van herkenbare treinpassages tijdens de bemande metingen is de overdracht van trillingen in de bodem (op verschillende afstanden) en de overdracht van trillingen op het gebouw bepaald. Op basis van deze overdracht zijn de kenmerkende parameters bepaald waarmee de meetwaarden vanuit de onbemande metingen, kunnen worden omgerekend naar een trillingssterkte op verschillende locaties in het toekomstige gebouw.

De overdracht in de bodem vindt plaats met behulp van de zogenaamde Barkan formule. De kenmerkende parameters daarin zijn bepaald op basis van de bemande metingen en bedragen:

$$n = 0,25$$

$$\alpha = 1,0\%$$

Daarnaast is de overdracht van trillingen vanuit de bodem op het gebouw onderzocht en vergeleken met de voor het toekomstige gebouw verwachte overdracht. Deze bleek vergelijkbaar en daarom hoeft (in deze fase van de ontwikkeling) de meting op het fundament van het bestaande gebouw niet gecorrigeerd te worden.

4.2 Onbemande metingen

Figuur 1 in bijlage I laat het verloop van de trillingssterkte op punt MP3 zien over de gehele meetperiode. De bovenste figuur laat het signaal zien voor de X-richting (evenwijdig aan het spoor), de middelste figuur voor de Y-richting (dwars op het spoor) en de onderste figuur voor de Z-richting (verticaal). Figuur 2 in bijlage I laat datzelfde verloop zien maar dan gemeten op MP5.

In de signalen zijn de pieken te zien op momenten dat relatief hoge trillingsniveaus zijn gemeten. Ook herkenbaar zijn de rustige perioden tijdens de nacht (van ongeveer 1:30 tot 6:00).

4.3 Gebruikte gegevens voor prognose

De prognose is uitgevoerd voor de 10 treinen die de sterkste trillingen hebben veroorzaakt. Onderstaande tabellen 4.1 en 4.2 geven een overzicht van de betreffende treinpassages voor respectievelijk meetpunt MP3 en meetpunt MP5.

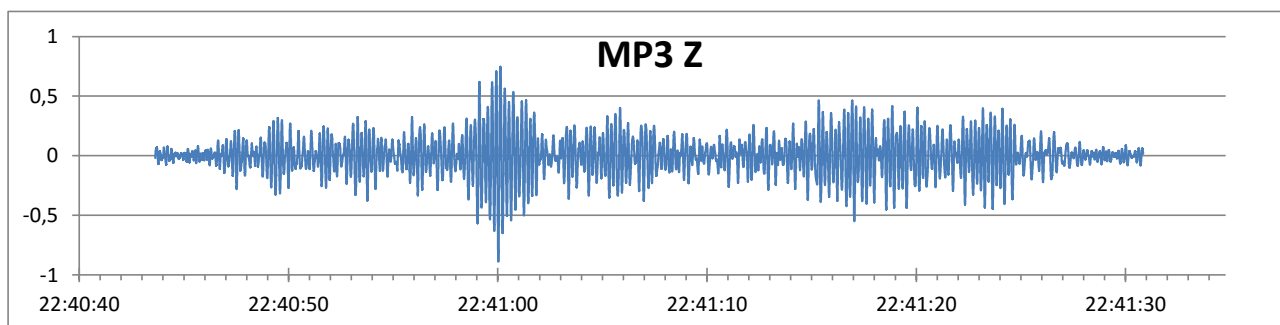
Tabel 4.1: top 10 hoogste gemeten trillingssterkte $V_{\max}$ op meetpunt MP3

Top 10	$V_{\max}$			Datum tijd
	X	Y	Z	
1	0,060	0,075	0,392	3-2 22:40
2	0,068	0,085	0,262	7-2 10:39
3	0,072	0,087	0,258	9-2 10:38
4	0,058	0,100	0,253	1-2 17:36
5	0,067	0,105	0,250	8-2 07:11
6	0,067	0,096	0,246	1-2 13:08
7	0,047	0,061	0,245	3-2 22:41
8	0,066	0,119	0,240	1-2 20:37
9	0,082	0,053	0,169	11-2 03:02
10	0,067	0,125	0,121	3-2 23:42

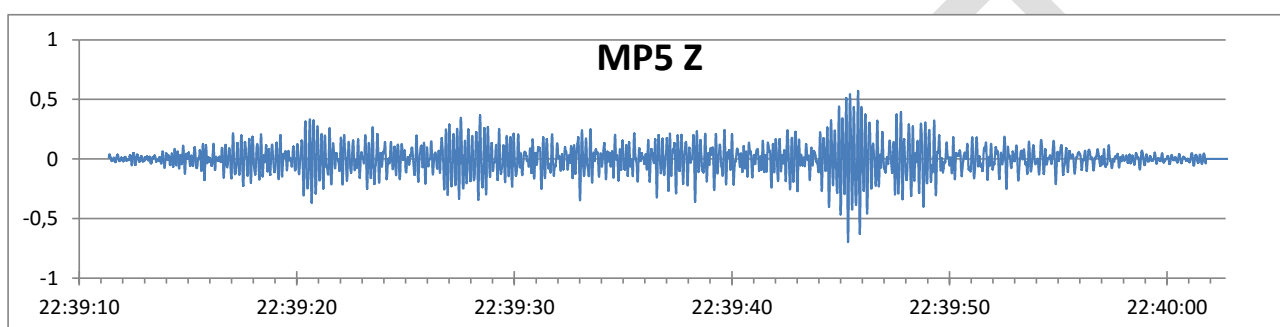
Tabel 4.2: top 10 hoogste gemeten trillingssterkte $V_{\max}$ op meetpunt MP5

Top 10	$V_{\max}$			Datum tijd
	X	Y	Z	
1	0,080	0,056	0,302	8-2 22:39
2	0,062	0,051	0,273	9-2 22:37
3	0,076	0,061	0,264	3-2 22:40
4	0,048	0,049	0,222	2-2 22:35
5	0,059	0,058	0,215	1-2 00:44
6	0,049	0,051	0,214	1-2 22:38
7	0,064	0,056	0,211	6-2 22:41
8	0,078	0,073	0,210	3-2 09:37
9	0,053	0,102	0,171	4-2 00:09
10	0,082	0,060	0,171	11-2 03:02

In bijlage II is het verloop van de trillingssnelheid weergegeven tijdens de passages die de sterkste trillingen hebben veroorzaakt. In onderstaande figuren zijn de tijdsignalen voor de (dominante) verticale richting weergegeven. Figuur 4.1 geldt voor MP3 en figuur 4.2 voor MP5. Opgemerkt wordt dat in de figuren de ongewogen trillingssnelheid is weergegeven. De bijbehorende $V_{\max}$ (weergegeven in de tabellen) is een gewogen waarde en is altijd lager dan de hoogste trillingsnelheid uit de figuren.



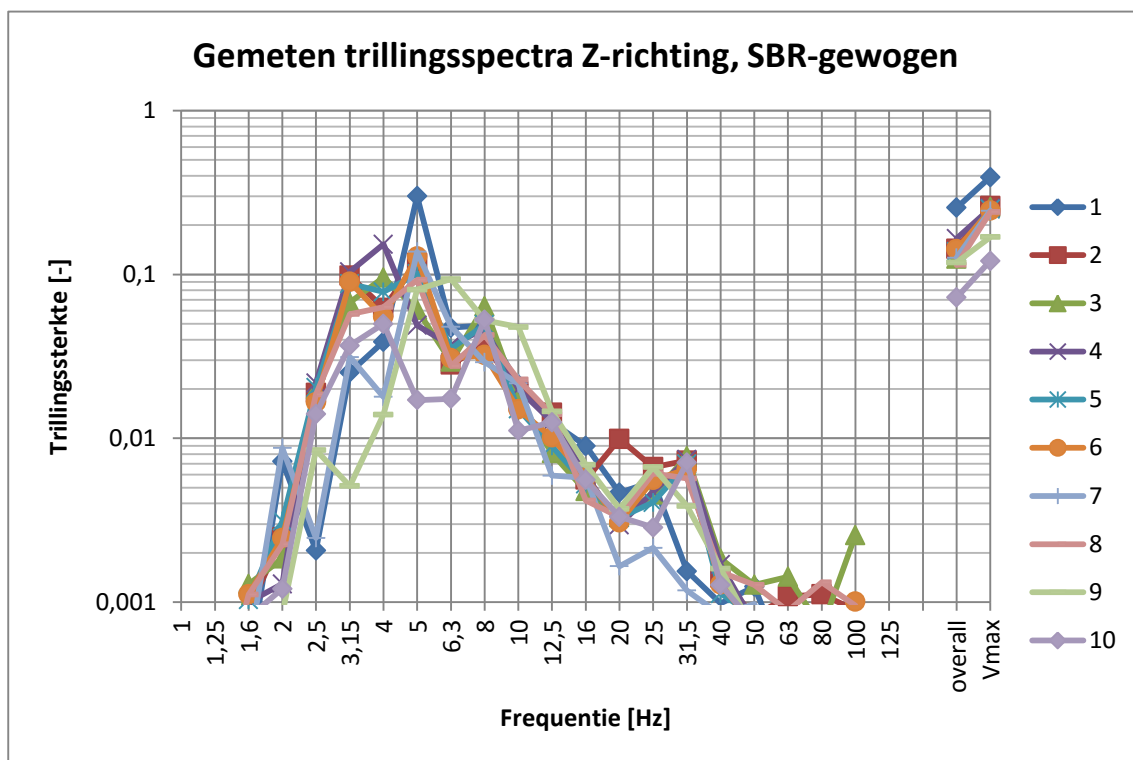
Figuur 4.1: verloop trillingssnelheid op MP3 tijdens de treinpassage op 3-2-2017 om 22:40



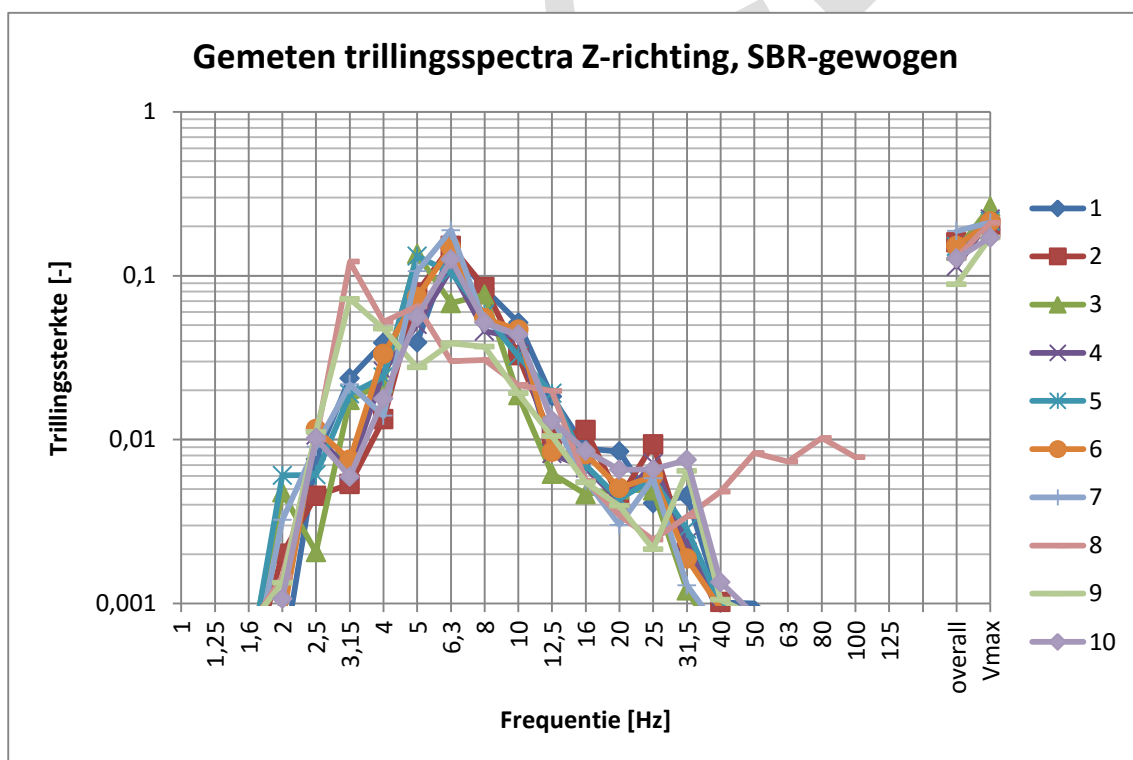
Figuur 4.2: verloop trillingssnelheid op MP5 tijdens de treinpassage op 8-2-2017 om 22:39

In de tabellen en figuren is te zien dat de trillingssterkte op meetpunt MP3 in het algemeen iets hoger ligt dan op meetpunt MP5. Dit wordt veroorzaakt doordat MP3 op een kleinere afstand tot het spoor ligt dan MP5.

Onderstaande figuren 4.3 en 4.4 laten de trillingsspectra zien van de maatgevende passages op respectievelijk MP3 en MP5. In de spectra is te zien dat sprake is van een dominante frequentie van 3 tot 6,3 Hz.



Figuur 4.3: Trillingsspectra van de top10 treinpassages op MP5 in verticale richting



Figuur 4.4: Trillingsspectra van de top10 treinpassages op MP5 in verticale richting

5 Prognose

5.1 Werkwijze

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

$$V_{\max} = V(f)_{\text{topfundament}} * H(f)_{\text{vloer}} * H(f)_{\text{SBRB}} * H_{\text{bodem}}$$

Hierin is:

$V_{\max}$	de volgens SBR B gewogen maximale trillingssterkte
$V(f)_{\text{topfundament}}$	de gemeten trillingssnelheid op het fundament
$H(f)_{\text{vloer}}$	overdrachtsfactor voor de vloer
$H(f)_{\text{SBRB}}$	weging van de trillingssnelheid volgens SBR B
H_{bodem}	correctie verschil in afstand tussen meetpunt en prognoselocatie

Alle berekeningen zijn spectraal uitgevoerd in het frequentiebereik tussen 1 en 80 Hz in tertsbanden. Voor $V(f)_{\text{topfundament}}$ is uitgegaan van peakhold spectrum.

5.2 Invoergegevens

$V(f)_{\text{topfundament}}$

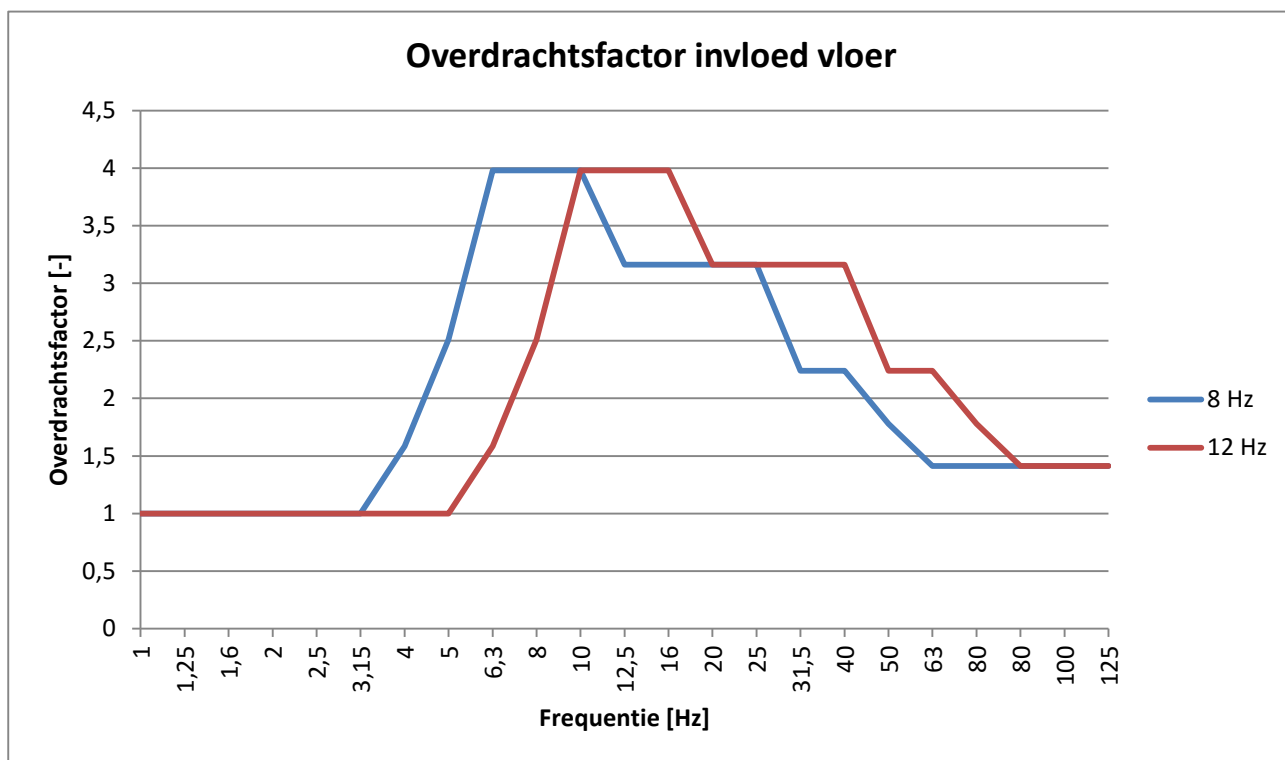
De prognose is gebaseerd op de spectra behorende bij de treinpassages zoals genoemd in de tabellen 4.1 en 4.2.

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

Trillingen worden versterkt door de vloer omdat deze gaat resoneren. Het gedrag van de vloer is daarbij afhankelijk van zijn eigenfrequentie. De mate van versterking is dan ook afhankelijk van de aanstootfrequentie ten opzichte van de eigenfrequentie. Het effect van deze versterking wordt dan ook spectraal in rekening gebracht.

In de huidige fase van het project zijn nog geen gebouweigenschappen en afmetingen van vloeren bekend. Daarom is een aanname gedaan. In het algemeen liggen eigenfrequenties van vloeren tussen circa 8 en 12 Hz. Voor deze twee frequenties is dan ook een prognose opgesteld van de te verwachten trillingssterkte.

Figuur 5.1 toont de overdrachtsfactor voor de vloer bij bovengenoemde eigenfrequenties. Een waarde groter dan 1 geeft aan dat de vloer voor die frequenties extra trillingen veroorzaakt als gevolg van resonantie.



Figuur 5.1: overdrachtsfactor vloer

H_{bodem}

De H_{bodem} is gebruikt om het verschil in afstand van de prognoselocatie en de meetlocatie tot het spoor in rekening te brengen. Er is gebruik gemaakt van de formule van Barkan:

$$H_{\text{bodem}} = V_p/V_m = (r_m/r_p)^n * e^{(\alpha(r_m-r_p))}$$

Hierin is:

- V_p V_{max} op de prognose afstand tot het spoor
- V_m V_{max} op de meet afstand tot het spoor
- r_m afstand van de meetlocatie tot het spoor
- r_p afstand van de prognoselocatie tot het spoor
- α bodemdemping
- n geometrische uitbreidingscoëfficiënt

De waarde van n bedraagt 0,25 en is gebaseerd op een lijnbron. De waarde van α bedraagt 1% gebaseerd op de maaiveldmetingen (zie hoofdstuk 4.1).

Voor de prognose is uitgegaan van 1^e lijns bebouwing op 29 m afstand tot het spoor en 2^e lijns bebouwing op 57 m afstand tot het spoor.

5.3 Resultaat prognose verticale trilling

Voor de beoordeling is in eerste instantie de hoogste waarde van V_{max} van belang. Deze moet worden getoetst aan de A_2 waarde zoals is toegelicht in hoofdstuk 2.2.

Alle top10 passages zijn doorgerekend. Onderstaande tabel 5.1 laat alleen de hoogste geprognosticeerde trillingssterkte $V_{\max}$ zien.

Tabel 5.1: Prognose $V_{\max}$ in verticale richting

Meetpunt	Prognosepunt	$V_{\max}$		Datum tijd
		8 Hz vloer	12 Hz vloer	
MP3	1 ^e lijn	0,91	0,41	3-2 22:40
	2 ^e lijn	0,49	0,22	9-2 10:38
MP5	1 ^e lijn	0,96	0,54	2-2 22:35
	2 ^e lijn	0,52	0,29	2-2 22:35

Uit de tabel is te zien dat de prognose op basis van meetpunt MP3 een vergelijkbaar resultaat heeft als de prognose op basis van meetpunt MP5. De maatgevende treinpassage voor de verticale trillingen is die op 2 februari om 22:35.

5.4 Beoordeling verticale trillingssterkte

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. Deze toetsingswaarden worden ruim overschreden voor zowel de 1^e lijns bebouwing ($V_{\max}$ 0,5 tot 1,0) als voor de 2^e lijns bebouwing ($V_{\max}$ 0,3 tot 0,5). Dit betekent dat de kans op trillingshinder als gevolg van de passage van de gebruikte goederentrein groot is.

De overschrijding betekent dat bij de verdere ontwikkeling van het bouwplan en het ontwerp van de gebouwen rekening moet worden gehouden met trillingsreducerende maatregelen. Zonder deze maatregelen is de kans op trillingshinder na realisatie van de gebouwen groot.

5.5 Prognose horizontale trilling

Normaal gesproken zijn trillingen in verticale richting dominant bij hinder afkomstig van spoorverkeer. De reden hiervoor is dat resonantie in horizontale richting in mindere mate voorkomt omdat de dominante frequentie van trillingen in de bodem in het algemeen veel hoger is dan de eigenfrequenties van het gebouw in horizontale richting. Uit de meetresultaten blijkt echter dat de dominante frequentie voor deze locatie relatief laag is: 3 tot 5 Hz. Bij dergelijke frequenties past de golflengte in de bodem over het algemeen goed bij de afmetingen van het gebouw zodat het gebouw gaat kantelen waarbij er sterke horizontale trillingen kunnen ontstaan in de bovenste verdiepingen.

De aanstoting is afhankelijk van met name de overdracht van trillingen vanuit de bodem op de fundering. De voortplantingssnelheid van de trillingen in de bodem speelt hierbij een kenmerkende rol. Voor de verschillende bodemlagen in Amsterdam ligt deze in het algemeen tussen 50 en 180 m/s. Op basis van gemeten trillingsniveaus en algemene aannames over de overdracht is de te verwachten trillingssterkte $V_{\max}$ in horizontale richting berekend en samengevat in tabel 5.2. Waarden hoger dan de geprognosticeerde trillingssterkte in verticale richting (tabel 5.1) zijn gemarkeerd.

Tabel 5.2: Prognose $V_{\max}$ in horizontale richting

Meetpunt	Prognosepunt	$V_{\max}$		Datum tijd
		50 m/s	180 m/s	
MP3	1 ^e lijn	0,55	1,64	3-2 22:40
	2 ^e lijn	0,24	0,59	3-2 22:40
MP5	1 ^e lijn	0,37	1,27	3-2 22:40
	2 ^e lijn	0,16	0,56	2-2 22:35

Bovenstaande tabel laat zien dat er een risico bestaat dat trillingen in horizontale richting maatgevend zijn voor de waarde van $V_{\max}$. Dit geldt met name als de bodemlaag met golfsnelheid 180 m/s bepalend is voor de overdracht op het gebouw.

5.6 Beschouwing

De berekende trillingsniveaus uit tabellen 5.1 en 5.2 overschrijden de streefwaarde A_2 uit SBR richtlijn B. De hoogte van de trillingsniveaus zorgt ervoor dat de trillingen goed voelbaar zijn en ontwakingsreacties niet zijn uit te sluiten. De hoge trillingsniveaus ontstaan doordat de eigenfrequenties van de vloeren min of meer samenvallen met de maatgevende frequenties van de trein. De trillingssterkte van de vloer neemt daardoor toe ten opzichte van de trillingssterkte op de fundering.

Iedere prognose heeft een bepaalde mate van onzekerheid. In voorliggende prognose is uitgegaan van een worst-case benadering waarbij een relatief ongunstige eigenfrequentie van de vloer is gekozen en gezocht is naar de treinen die veel trillingen bij deze frequentie veroorzaken. Dit past bij een beoordeling die is gebaseerd op de maximale trillingssterkte ($V_{\max}$).

De onzekerheid is in de huidige fase van het project relatief groot omdat de bouwkundige constructie van de gebouwen nog niet bekend is. Door bij het ontwerp van het gebouw al rekening te houden met de trillingen, kan een constructie worden gekozen die veel meer weerstand biedt tegen de trillingen. Dit kan bijvoorbeeld door bij het ontwerp van de vloeren rekening te houden met de eigenfrequenties van de vloer en te zorgen dat deze frequentie bij 15 Hz of hoger komt te liggen. Aanvullend onderzoek is nodig om het effect van trillingsreducerende maatregelen te bepalen.

Een tweede onzekerheid vormt de bron. De prognose is uitgevoerd op basis van een meetperiode van twee weken. Dat geeft in de huidige fase van de ontwikkeling van het bouwplan al een goed inzicht in de orde-grootte van de trillingen door de treinen. Als een langere periode wordt gemeten dan passeren meer treinen en neemt de kans op een nog hogere trillingssterkte toe. Niet iedere treinpassage zal echter tot de berekende hoge waarden voor $V_{\max}$ leiden. Uit de metingen blijkt dat voor MP3 de trillingssterkte van 0,11 slechts 12 x per dag wordt overschreden, en op MP5 geldt dat voor een trillingssterkte van 0,085. In beide gevallen is deze waarde ongeveer 70% lager dan de maximale trillingssterkte.

Vertaald naar de toekomstige woningen betekent dat, dat voor de 1^e lijns bebouwing een trillingssterkte van 0,3 tot 0,15 minder dan 12 x per dag wordt overschreden. Voor de 2^e lijns bebouwing geldt dit voor een trillingsniveau van 0,15 tot 0,10 (in verticale richting).

In tabel 5.1 is te zien dat de trillingssterkte bij vloeren met een eigenfrequentie van 12 Hz aanzienlijk lager is dan bij vloeren met een eigenfrequentie van 8 Hz. Dit komt omdat de dominante trillingsfrequentie op het fundament 3 tot 6 Hz bedraagt (zie figuren 4.3 en 4.4). Hoe kleiner het verschil tussen de dominante frequentie op het fundament en de eigenfrequentie van de vloer, hoe groter de versterking van de trillingssterkte.

Ook bij een vloereigenfrequentie van 12 Hz is nog steeds sprake van enige mate van versterking, daarom wordt aanbevolen de vloeren zodanig te ontwerpen dat de eigenfrequentie nog hoger is dan 12 Hz, bij voorkeur boven de 15 Hz. Naar verwachting wordt dan een verdere verlaging van de trillingssterkte bereikt.

Voor de horizontale richting is vooral sprake van een grote mate van onzekerheid. De werkelijke trillingsniveaus zijn erg afhankelijk van de gebouwafmetingen en de wijze waarop de trillingen worden overgedragen vanuit de bodem op het fundament.

Ten slotte bestaat er een risico op verdere versterking van trillingen in de horizontale richting als gevolg van horizontale resonanties in de hoofddraagconstructie van het gebouw als geheel. Voorkomen moet worden dat deze samenvallen met, of in de buurt liggen van de dominante aanstootfrequenties tussen 3 en 6 Hz.

6 Conclusie en advies

6.1 Conclusies

Het trillingsonderzoek voor het nieuwbouwplan ter plaatse van de Polderweg 1 te Amsterdam leidt tot de volgende conclusies:

1. De trillingssterkte $V_{\max}$ als gevolg van de trein met de hoogste trillingssterkte (op basis van twee weken metingen) overschrijdt de streefwaarde A_2 op zowel de 1^e als de 2^e lijns bebouwing in zowel de dag- als de nachtperiode;
2. Ook als niet alleen naar de hoogst gemeten trillingssterkte wordt gekeken maar naar een trillingssterkte die gemiddeld 12x per dag optreedt, overschrijdt de trillingssterkte de A_2 streefwaarde in de nachtperiode op de 1^e lijns bebouwing;
3. In horizontale richting bestaat er een risico op eigenfrequenties in het fundament en de draagconstructie van het gebouw die tot versterking van horizontale trillingen leidt, zodanig dat de A_2 streefwaarde op beide locaties wordt overschreden;
4. Bij de verdere ontwikkeling van het bouwplan dient rekening te worden gehouden met trillingsreducerende maatregelen en aanvullend onderzoek naar de aard en de omvang van deze maatregelen.

6.2 Advies

Als bij de ontwikkeling van het bouwplan geen rekening wordt gehouden met de aanwezige trillingsniveaus, dan is de kans groot dat na realisatie van het bouwplan hinder in de woningen door treintrillingen ontstaat. Het advies is dan ook om in het bestemmingsplan een bepaling op te nemen dat aanvullend trillingsonderzoek nodig is.

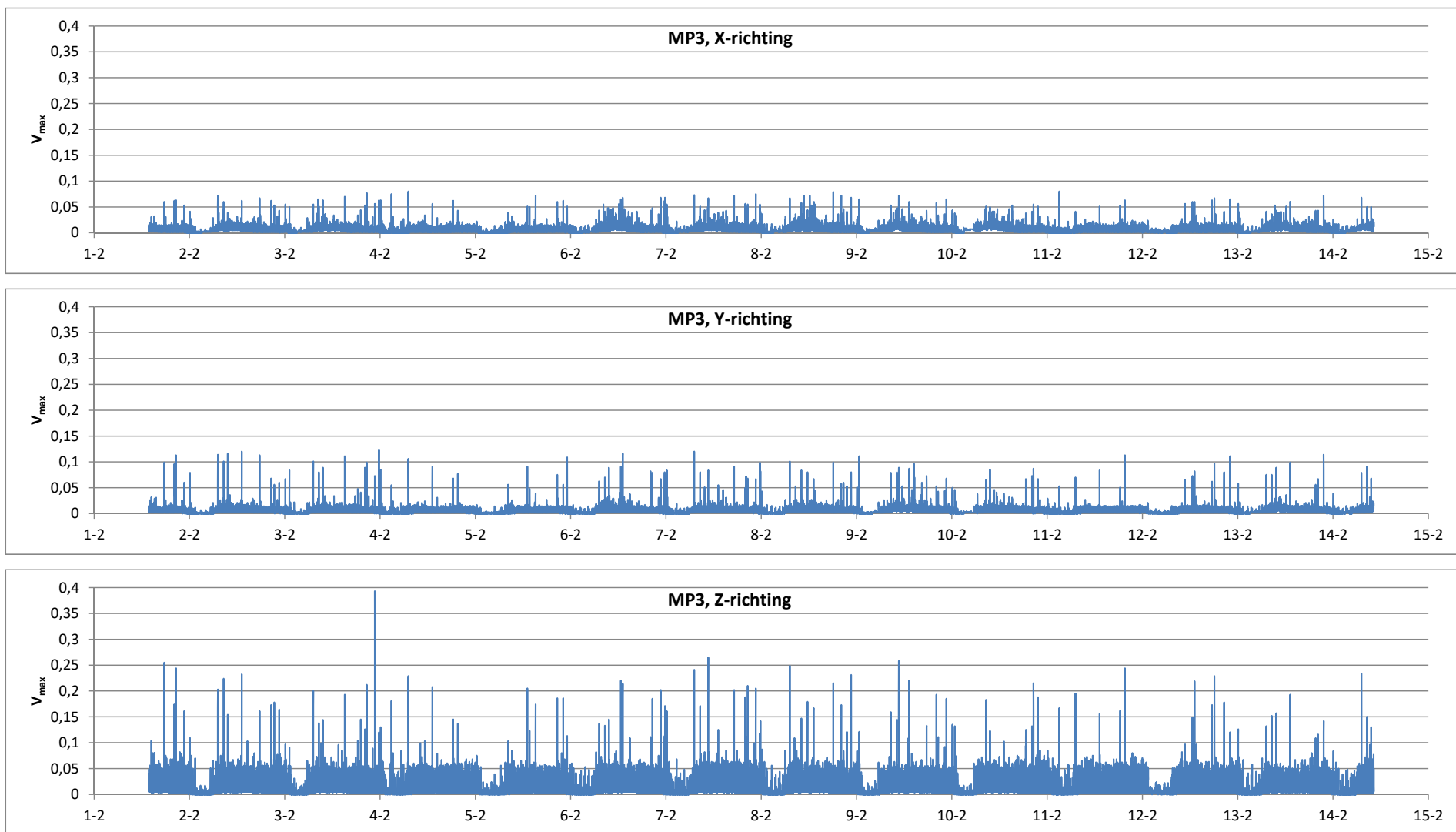
Dit onderzoek kan bijvoorbeeld betrekking hebben op de volgende maatregelen:

- *De vloeren in het gebouw:* door de eigenfrequentie omhoog te brengen, neemt de overdrachtsfactor voor de belangrijke frequenties tussen 3 en 6 Hz af en daarmee ook de trillingssterkte van de vloer;
- *De fundering:* door het contactoppervlak tussen de bodem en de funderingsbalken op de paalkoppen te verkleinen, vindt minder overdracht van trillingsenergie plaats. Deze maatregel is met name relevant voor de horizontale trillingen omdat daarvoor de overdracht vanuit bepaalde bodemlagen moet worden beperkt;
- *De fundering:* door tussen de paalkoppen en de funderingsbalken een trillingsisolator te plaatsen, wordt het gebouw ontkoppeld van de bodem waardoor minder trillingsenergie wordt overgedragen op de woningen;
- *De hoofd draagstructuur van het gebouw:* Aanbevolen wordt de horizontale stijfheid van de hoofd draagstructuur zodanig te ontwerpen dat horizontale eigenfrequenties in het gebouw niet samenvallen met, of in de buurt liggen van dominante aanstootfrequenties tussen 3 en 6 Hz.

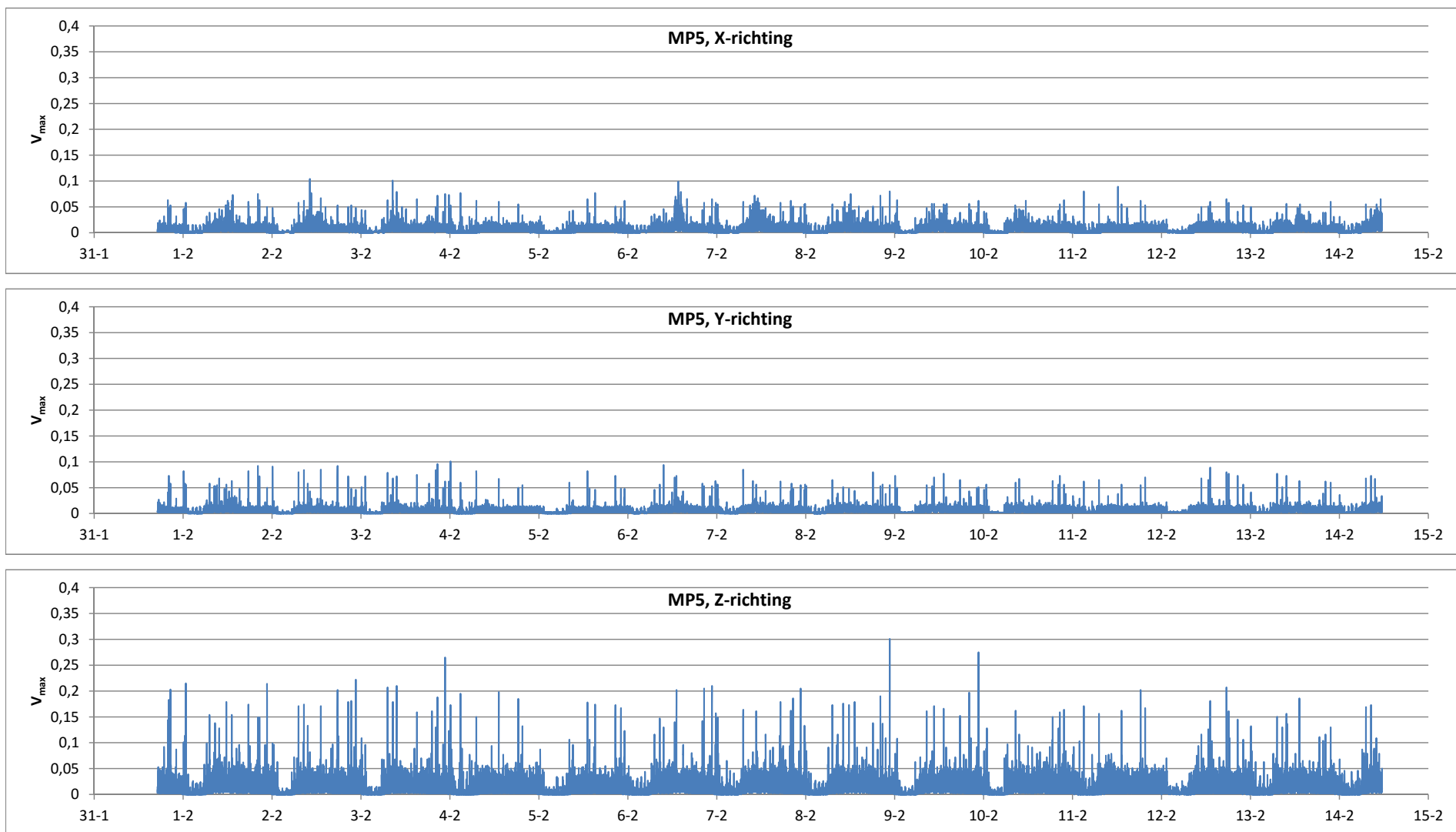
Bovenstaande maatregelen hebben niet alleen positieve effecten (reductie van trillingen) maar kunnen ook negatieve effecten hebben (toename van trillingssterkte). Daarom is het aan te bevelen om in geval van maatregelenonderzoek een gedetailleerder rekenmodel op te laten stellen door middel van een Eindige Elementen Methode model. Daarmee kan het effect van een maatregel, of een combinatie van maatregelen worden bepaald.

DPA Cauberg-Huygen B.V.

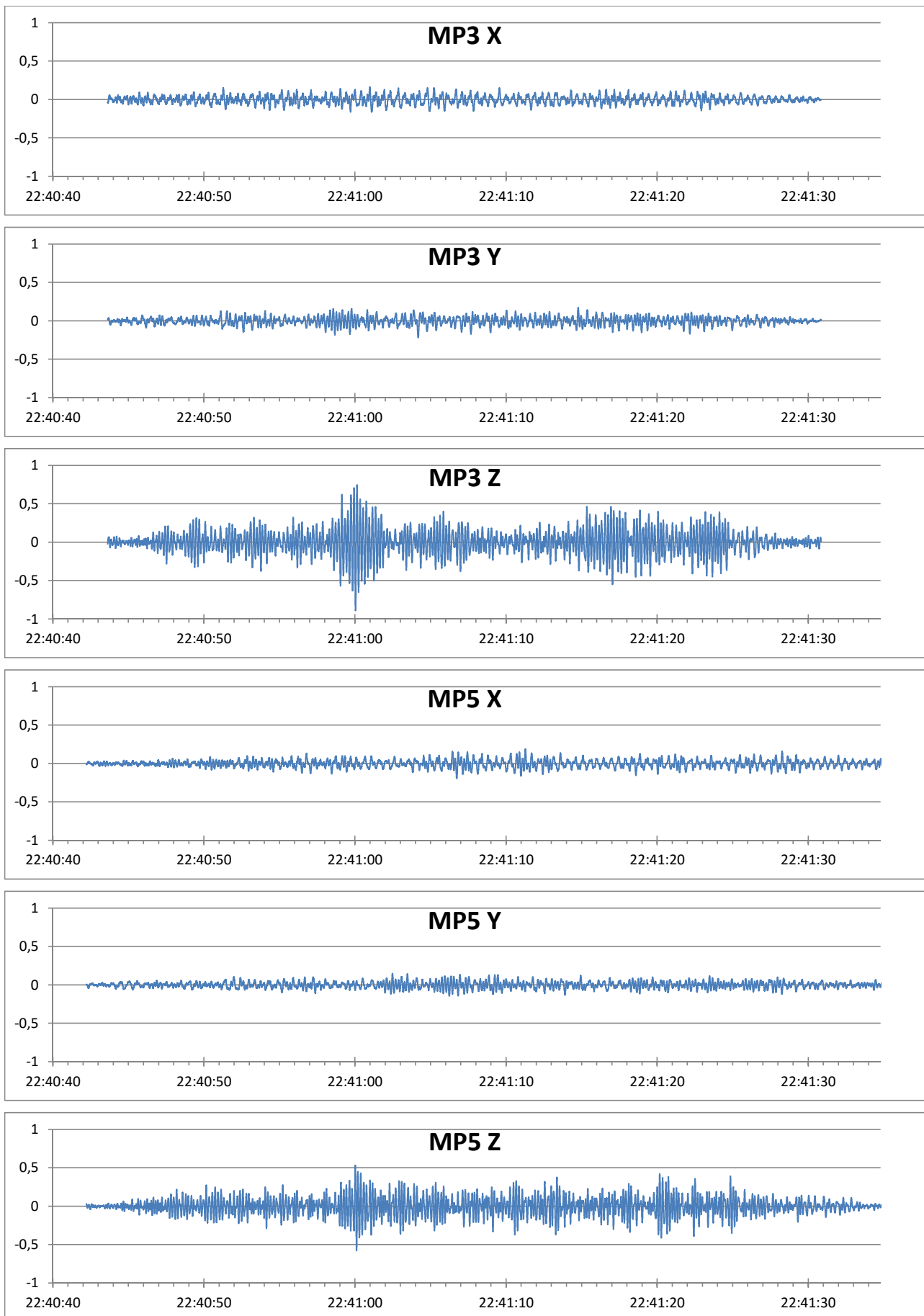
C.J. Ostendorf
Senior Adviseur



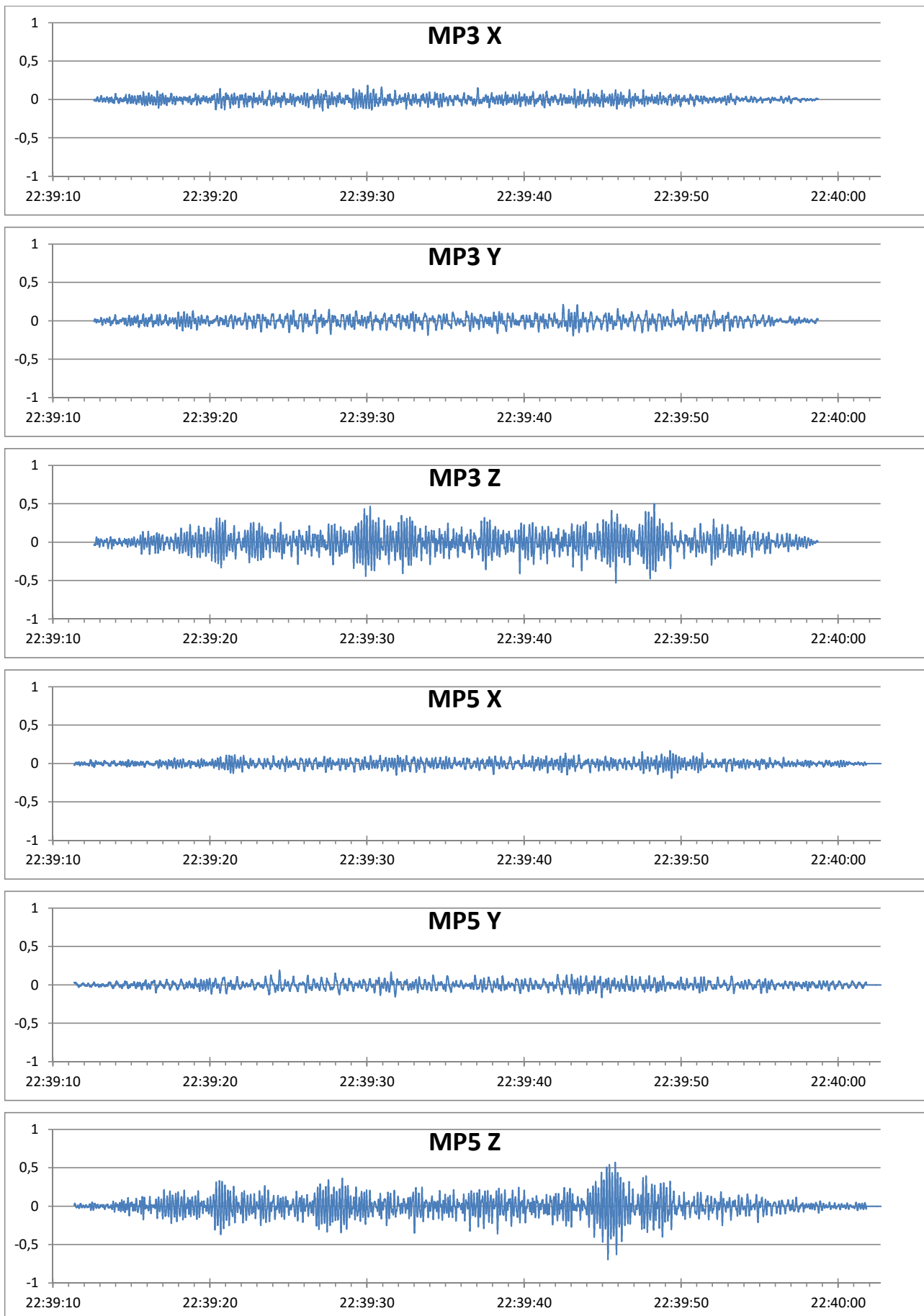
Figuur I.1: Verloop trillingssterkte op meetpunt MP3



Figuur I.2: Verloop trillingssterkte op meetpunt MP5



Figuur II.1: Verloop bij treinpassage op 3-2-2017 om 22:40



Figuur II.2: Verloop bij treinpassage op 8-2-2017 om 22:39