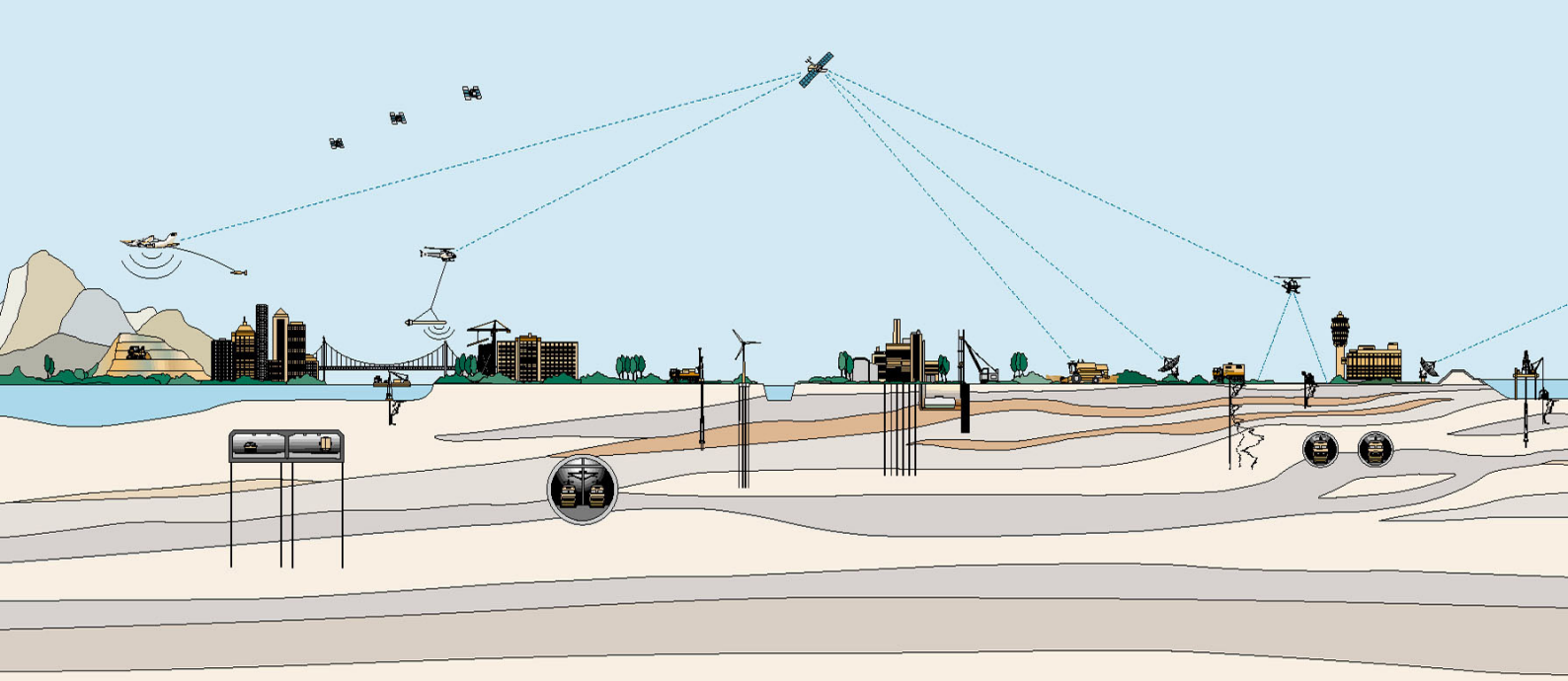
FUGRO GEOSERVICES B.V.
Geo-Consultancy

RAPPORT
betreffende

TRILLINGSMETINGEN METROPASSAGE NIEUWBOUW EEKHOLT 4 TE DIEMEN

Opdrachtnummer: 1015-0192-001



RAPPORT
betreffende

TRILLINGSMETINGEN METROPASSAGE NIEUWBOUW EEKHOLT 4 TE DIEMEN

Opdrachtnummer: 1015-0192-001

Opdrachtgever	:	Holland Park BV T.a.v. de heer R.A.G. Deckers Postbus 95241 1090 HE Amsterdam
Datum metingen	:	17 juni 2015
Projectleider	:	ir A.J. Snethlage Senior Adviseur Geotechniek
Gecontroleerd door	:	Ing. M.J. Profittlich Senior Adviseur Geotechniek

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	9 juni 2015	eerste versie	
2			
3			

FILE: 1015-0192-001.R01V01.docx

INHOUDSOPGAVE Blz.

1. INLEIDING 1
2. PROJECTBESCHRIJVING 2
   2.1. projectlocatie 2
   2.2. Toetsing op schade en hinderbeleving 4
   2.3. Meetuitvoering en meetpuntlocaties 4
3. INTERPRETATIE EN TOETSINGSPROCEDURE 7
   3.1. Bepaling toetsgrootheden 7
   3.2. Toetsingskader 8
   3.3. Grenswaarde schade 8
   3.4. Streefwaarde hinder 9
   3.5. Toetsingsprocedure 10
   3.6. Soorten trillingschades, perceptie bij hinderbeleving 11
4. MEETRESULTATEN EN TOETSING 13
   4.1. Locatie 1, Toren 1 13
      4.1.1. Meetresultaten 13
      4.1.2. Toetsing op schade SBR A 14
      4.1.3. Toetsing op hinderbeleving SBR B 15
   4.2. Locatie 2, nabij Toren 3 17
      4.2.1. Meetresultaten 17
      4.2.2. Toetsing op schade SBR A 18
      4.2.3. Toetsing op hinderbeleving SBR B 19
   4.3. Locatie 3, Toren 4 20
      4.3.1. Meetresultaten 20
      4.3.2. Toetsing op schade SBR A 21
      4.3.3. Toetsing op hinderbeleving SBR B 23
5. ANALYSES TRILLINGSOVERDRACHT 24
   5.1. Mechanisme trillingen 24
   5.2. Modelering 28
   5.3. Postdictie trillingsmeetdata 28
6. CONCLUSIES 31

BIJLAGEN Nr.

- Grafische weergave trillingsmeetsignalen 1, 2 en 3
- Representatieve sonderingen, locatie 1 en 2, 1015-0192-000-DKMC1 en -DKMC2
- Beoordeling van trillingen
- Toelichting Modellering Trillingen

1. INLEIDING

Opdrachtverstrekking
Op 9 juni 2015 ontving Fugro GeoServices B.V. te Leidschendam van Holland Park B.V. te Diemen de aanvullende opdracht voor het uitvoeren van bemande trillingsmetingen tijdens passage van treinverkeer (NS treinen / metro voertuigen) aan de Eekholt 4 te Diemen.

Door passage van treinen en metro's ontstaan trillingen in de ondergrond. De trillingen worden via de ondergrond overgedragen op de draagconstructie van geplande nieuwbouw (appartementen complex). De trillingen leveren een risico op schade aan de woningen (SBR-A richtlijn) dan wel hinderbeleving voor bewoners in de woningen (SBR-B richtlijn).

Onderzoek
In een eerder stadium zijn door Fugro eveneens bemande trillingsmetingen uitgevoerd (op 8 en 11 mei 2015). Bij deze meting zijn standalone geophoon meetsystemen ingezet. Op basis van de meetresultaten is geconcludeerd dat geen schade door trillingen aanwezig is, maar dat hinderbeleving aannemelijk zal zijn. Geadviseerd is om de trillingsreducerende maatregel in de vorm van een trillingscherm tussen bron en ontvanger te onderzoeken.

Omdat met de standalone meetsystemen van een metropassage geen volledige signaal wordt opgeslagen, zijn aanvullende trillingsmetingen uitgevoerd, waarbij versnellingsopnemers zijn ingezet. Op een representatief signaal zijn FFT analyses uitgevoerd, waarna een geschematiseerd signaal als belastingsignaal opgelegd is op het geschematiseerde PLAXIS model.

Het voorliggende onderzoek ten behoeve van het trillingscherm is tweeledig:
1) Uitvoeren van trillingsmetingen waarbij versnellingsopnemers gehanteerd worden, zodat een volledige passage van een metro gemeten kan worden;
2) Met behulp van het eindige elementen programma PLAXIS de dimensies bepalen van het trillingscherm.

In dit rapport wordt ingegaan op de trillingsmeetresultaten en de beoordeling / toetsing ervan. Daarnaast is een eerste analyse van de meetdata opgenomen die als invoer gehanteerd wordt bij de dimensionering van het trillingscherm. Separaat worden de resultaten van de PLAXIS analyses gerapporteerd.

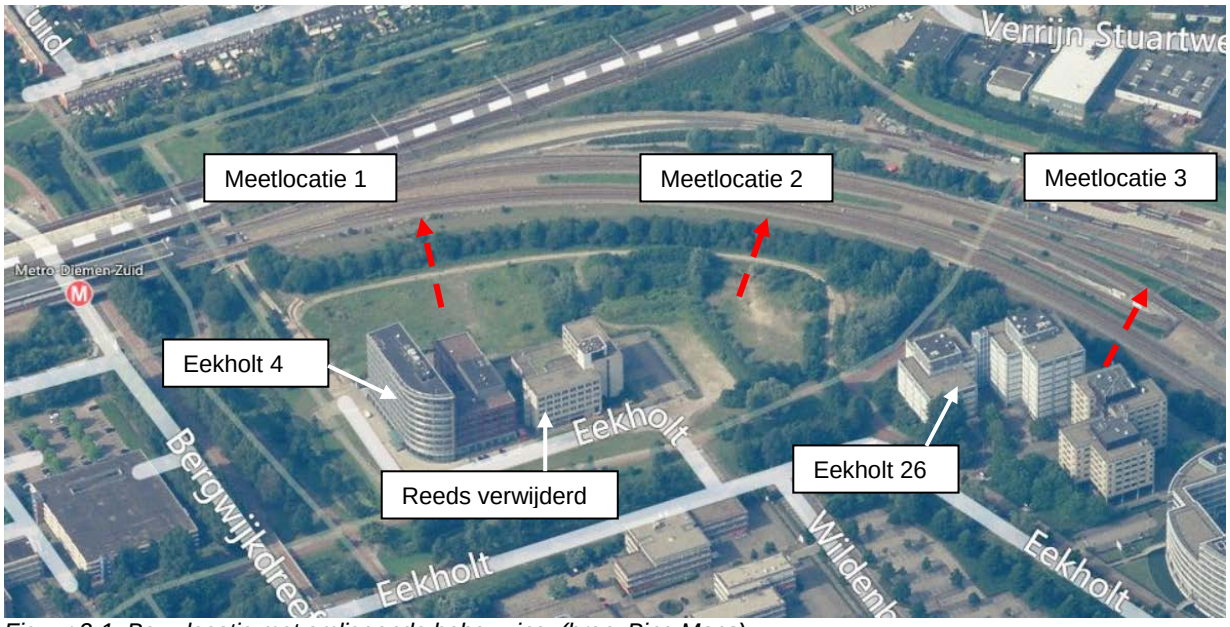
De trillingsmetingen zijn uitgevoerd op 17 juni 2015 op een drietal meetlocaties langs het metro spoor. Twee van de locaties zijn identiek aan de eerdere meetlocaties in mei 2015. Dit rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

Doelstelling trillingsmetingen
Het doel van de trillingsmetingen is inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de geplande nieuwbouw. Een en ander op basis van vooraf gestelde grens- en streefwaarden conform SBR richtlijn A "*Schade aan gebouwen*" en SBR richtlijn B "*Hinder voor personen*".

2. PROJECTBESCHRIJVING

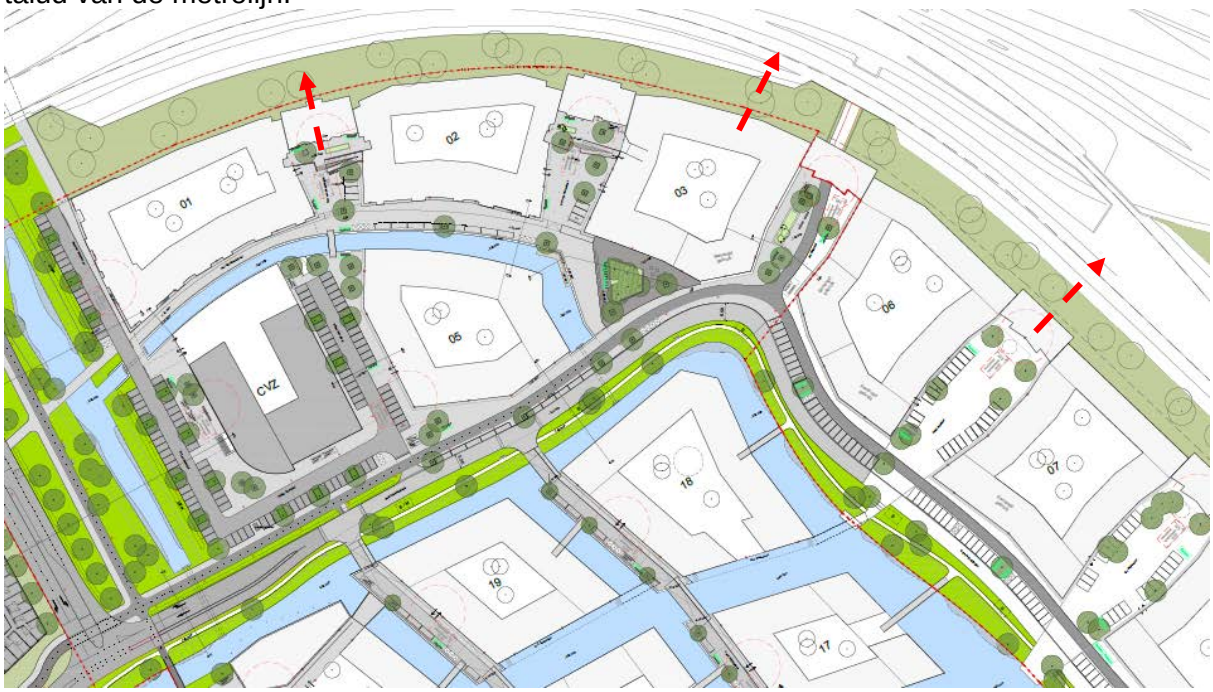
2.1. projectlocatie

De projectlocatie is gelegen aan de Eekholt te Diemen. In figuur 2-1 t/m figuur 2-4 is de huidige situatie met omliggende bebouwing opgenomen.



Figuur 2-1: Bouwlocatie met omliggende bebouwing, (bron: Bing Maps)

Het plan (figuur 2-2) betreft de nieuwbouw van diverse appartementen complexen rondom de Eekholt. Daarbij zijn Blok 1, Toren 1 en Blok 2 Toren 2 en Blok 3 gepland direct naast het talud van de metrolijn.



Figuur 2-2:Situatietekening nieuwbouw

Op donderdag 7 mei 2015 is een locatiebezoek uitgevoerd. In onderstaande figuren is een impressie van de bouwlocatie weergegeven.



Figuur 2-3: Meetlocaties, links bestaande pand a.d. Eekholt 4



Figuur 2-4: Meetlocatie1, rechts bestaande pand a.d. Eekholt 26



Figuur 2-5: Meetlocaties, voorafgaand aan de werkzaamheden incl. omliggende bebouwing



Figuur 2-6: Meetlocatie 2



Figuur 2-7: Meetlocatie 3 (links)

2.2. Toetsing op schade en hinderbeleving

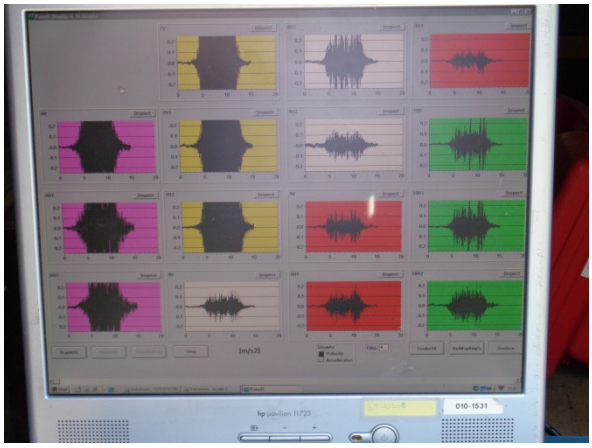
Conform SBR A dienen de meetresultaten aan de draagconstructie getoetst te worden op schade. Aangezien de metingen niet aan de draagconstructie gedaan zijn (nieuwbouw staat er immers nog niet), is aangenomen als zijnde een meting aan de draagconstructie. Gezien de extreem lage trillingsintensiteiten in de 1^{e} en 2^{e} zandlaag (trilmeetconussen) is hiervan de toetsing op schade niet opgenomen.

Conform SBR B dienen de meetresultaten van vloermeetpunten getoetst te worden op hinderbeleving. Ook hier is de beschouwing gedaan als zijnde meetresultaten op vloeren ondanks dat op maaiveld gemeten is.

2.3. Meetuitvoering en meetpuntlocaties

Op maaiveld zijn semi-continue trillingsmetingen uitgevoerd met piëzo-electrische versnellingsopnemers van PCB Piëzotronics Inc., type PCB 338B35, aangesloten op een PCB Piëzotronics versterker model 481.

De trillingen worden doorgegeven via een versterker naar een PC, waarop de signalen zichtbaar worden gemaakt en opgeslagen kunnen worden. Met de computer zijn de meetresultaten digitaal opgeslagen voor verdere verwerking. Met de systemen kunnen 15 kanalen ingericht worden voor trillingsmetingen. Hiermee wordt in 5 meetpunten simultaan inzicht verkregen in de grootte van de trillingsintensiteiten. Per meetpunt wordt in drie orthogonaal op elkaar staande richtingen gemeten (verticaal, horizontaal evenwijdig aan de gevel en horizontaal haaks op de gevel). In figuur 2.8 is het beeldscherm van het Piezo meetsysteem met een passage weergegeven.



Figuur 2.8: *Beeldscherm met meetsignalen, Piëzo meetsysteem (per kleur een meetpunt)*

Met het meetsysteem worden continu trillingen geregistreerd. Op het moment dat een passage van de metro optreedt, wordt dit zichtbaar gemaakt in een uitslag van het signaal. Na “bevriezen” van het signaal, wordt het signaal opgeslagen, waarbij eveneens notitie gemaakt wordt van het gepasseerde voertuig. De meting is uitgevoerd conform richtlijn SBR A ‘*Schade aan gebouwen*’, waarin de meetsystematiek is verwoord. Van de opgeslagen relevante opnamen zijn de maximale trillingsintensiteit in versnelling, trillingssnelheid en dominante frequentie bepaald.

Meetpuntlocaties

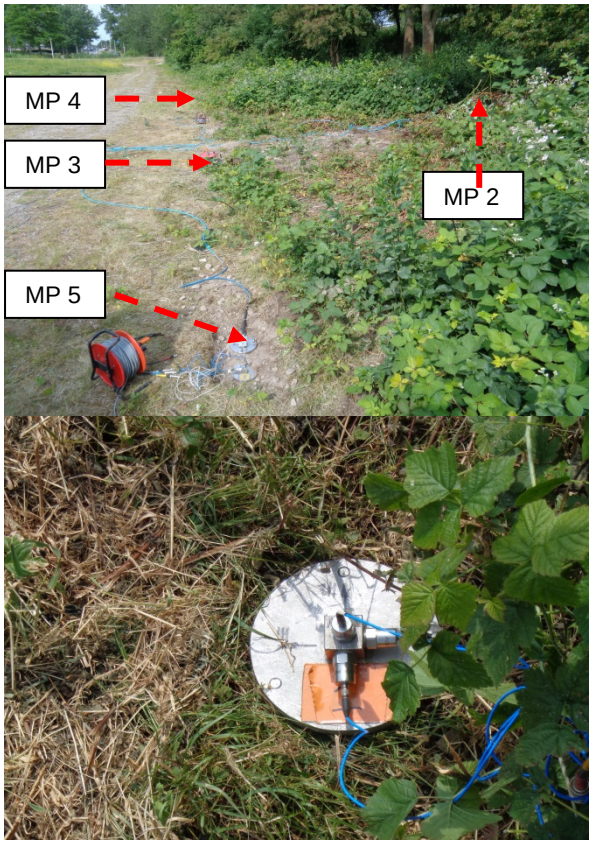
De drie meetlocaties zijn door Holland Park bepaald. Om een afdracht van trillingen in de grond te kunnen bepalen zijn de trillingsmetingen op maaiveld uitgevoerd ter hoogte van de toekomstige gevel en op meetpuntlocaties tussen dit meetpunt en het spoor. In onderstaande figuren is een impressie van de meetpunten weergegeven. In tabel 2.3 zijn de meetpuntlocaties opgenomen.



Figuur 2-9: Meetlocatie 1 Situatie mei 2015



Figuur 2-10: Meetlocatie 2 Situatie mei 2015



Figuur 2.11 Meetlocatie 1, teen meetpunten



Figuur 2:12: Meetlocatie 1, raai



Figuur 2.13 Meetlocatie 2, teen meetpunten



Figuur 2:14: Meetlocatie 2, raai

Tabel 2.3: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Meetrichting	Locatie meetpunt	Afstand tot bron[1)] [m]
Locatie 1, Toren 1			
MP 1	1V, 1H1, 1H2	Maaiveld, naast hek	X+6,5
MP 2	2V, 2H1, 2H2	Maaiveld, halverwege talud	X+11,5
MP 3	3V, 3H1, 3H2	Maaiveld, teen	X+16,5
MP 4	4V, 4H1, 4H2	Maaiveld, teen, links van MP 3	X+16,5
MP 5	5V, 5H1, 5H2	Maaiveld, teen, rechts van MP 3	X+16,5
Locatie 2, Nabij Toren 3			
MP 11	11V, 11H1, 11H2	Maaiveld, naast hek	X+2,5
MP 12	12V, 12H1, 12H2	Maaiveld, halverwege talud	X+7,5
MP 13	13V, 13H1, 13H2	Maaiveld, teen	X+12,5
MP 14	14V, 14H1, 14H2	Maaiveld, teen, links van MP 13	X+12,5
MP 15	15V, 15H1, 15H2	Maaiveld, teen, rechts van MP 13	X+12,5
Locatie 3, Toren 4			
MP 6	6V, 6H1, 6H2	Maaiveld, naast hek	X+1,5
MP 7	7V, 7H1, 7H2	Maaiveld, halverwege talud	X+6,5
MP 8	8V, 8H1, 8H2	Maaiveld, teen	X+11,5
MP 9	9V, 9H1, 9H2	Maaiveld, teen, links van MP 8	X+11,5
MP 10	10V, 10H1, 10H2	Maaiveld, teen, rechts van MP 8	X+11,5

1) X = afstand spoorstaaf tot hek onbekend

3. INTERPRETATIE EN TOETSINGSPROCEDURE

3.1. Bepaling toetsgrootheden

Rekenwaarde trillingssnelheid

Voor de toetsing voor **schade** aan gebouw(onderdelen) dient de piekwaarde van de trillingssnelheid aan de gevel bepaald te worden. Er zijn versnellingen gemeten. Uit de gemeten trillingsversnelling en frequentie is de trillingssnelheid berekend volgens onderstaande formule:

$$v = \frac{a}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

waarin:

a	trillingsversnelling	[mm/s^2];
f	frequentie	[Hz] ;
v	trillingssnelheid	[mm/s].

Hierbij is als uitgangspunt gehanteerd, dat de trillingen te benaderen zijn als harmonische trillingen volgens: $a(t) = \hat{a} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ en $v(t) = \hat{a} \cdot \int \sin(\omega \cdot t) dt$. Gezien het gemeten trillingsbeeld is dit een realistisch uitgangspunt.

Effectieve waarden trillingssnelheid

Voor de toetsing voor **hinder** voor personen in woningen dient zowel de maximale ($v_{eff,max}$) als de gemiddelde (v_{per}) effectieve waarde van de trillingssnelheid van het meetpunt op de vloer bepaald te worden.

Bepaling $v_{eff,max}$:

De effectieve waarde van de trillingssnelheid is dimensieloos. Deze wordt bepaald door een omrekening van de maximale trillingssnelheid naar een gewogen momentane waarde voor de trillingssnelheid. Uit de gewogen momentane waarde kan de voortschrijdende effectieve waarde worden bepaald.

Binnen de gegeven beoordelingsperiode, dag, avond of nacht, is de maximale waarde $v_{eff,max}$ te bepalen als het maximum van de grootste effectieve waarden in de betreffende beoordelingsperiode. CUR-166 geeft als richtlijn voor het uit te voeren procedé:

$v_{eff,max}$ [-] = 0,42 x v_{max} [-]

Bepaling v_{per}:

De effectieve waarde, v_{per}, van de maxima $v_{eff,max}$, wordt bepaald over het aantal tijds-intervallen van 30 seconden binnen een beoordelingsperiode, dag, avond of nacht [-]. Uit de verkeersintensiteiten en de maxima $v_{eff,max}$, voor ieder tijdsinterval van 30 seconden wordt v_{per} bepaald volgens:

$$v_{per} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{n} v_{eff,\max,30,i}^2}$$

waarin:

N aantal tijdsintervallen van 30 seconden, waarin gemeten is binnen een beoordelingsperiode [-]

3.2. Toetsingskader

De meetwaarden worden getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006, uitgegeven door Stichting Bouw Research, Rotterdam. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie.

In totaal zijn er 3 SBR - richtlijnen, namelijk
- richtlijn A: *'Schade aan gebouwen'*
- richtlijn B: *'Hinder voor personen in gebouwen'*
- richtlijn C: '*Storing aan apparatuur'*

Afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, bestaat in het algemeen de mogelijkheid dat de trillingen kunnen leiden tot:
- schade aan de draagconstructie van gebouwen;
- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval wordt de kans op schade aan de draagconstructie en de hinderbeleving voor personen beschouwd.

3.3. Grenswaarde schade

In de bijlage "*Beoordeling van trillingen*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Op basis van SBR - richtlijn A *"Schade aan gebouwen"* wordt de grenswaarde van de trillingssnelheid bepaald. De maatgevende grenswaarde(n) zijn afhankelijk van het type trillingsbron en de constructie- en funderingswijze van de omliggende bebouwing. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (minder dan 1%) indien de rekenwaarde van de grenswaarden niet overschreden worden.

Uitgangspunten voor de rekenwaarde van de grenswaarden zijn:
- gebouwcategorie categorie 2, metselwerk in goede staat;
- trillingsbron: passages van (metro)verkeer (herhaald kortdurende trilling)
- funderingswijze: op palen;

Grenswaarde
Voor de bepaling van de rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. De rekenwaarden van de grenswaarden zijn opgenomen in tabel 3-1. De waarden gelden voor een "indicatieve meting".

Tabel 3-1: Grenswaarden ("indicatieve meting") [mm/s] conform SBR - richtlijn A 'Schade aan gebouwen'

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden	Partiële veiligheidsfactor		Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [1)]	
	Cat. 2	Heien	Fundering	Cat. 2	Fundering
[Hz]	[mm/s]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	5,0	1,5	1,0	2,1	15,9
15	6,3	1,5	1,0	2,6	10,6
20	7,5	1,5	1,0	3,1	8,0
25	8,8	1,5	1,0	3,6	6,4

1) incl. factor voor "soort meting"

Partiële factor soort meting
De grootte van de partiële factor voor de soort meting varieert tussen 1,0 en 1,6 en is afhankelijk van de uitgebreidheid van de meting (aantal meetpunten aan het object). Omdat met 1 meetpunt aan de draagconstructie is gemeten, is sprake van een "indicatieve meting" waardoor de factor 1,6 is. Conform SBR richtlijn A dienen de meetresultaten vermenigvuldigd te worden met deze factor. In de praktijk komt dit erop neer dat de grenswaarde gedeeld wordt door deze waarde, omdat immers op voorhand niet bekend is wat de meetwaarde gaat zijn.

Op basis van het aantal meetpunten (per object) en de locatie ervan, wordt uitgegaan van een "*indicatieve meting*", zoals vermeld in paragraaf 8.4.2.3 van SBR richtlijn A. Daarom wordt voor γ_v =1,6 aangehouden worden. Er is gebruik gemaakt van een maatgevend representatief voertuig, derhalve kan er gesproken worden over een "*worst case*" benadering.

3.4. Streefwaarde hinder

In de bijlage "*Toelichting SBR – toetsingskader*" wordt nader ingegaan op de bepaling van de grenswaarde.

Op basis van SBR - richtlijn B: *"Hinder voor personen door trillingen"* is de streefwaarde van de maximale trillingssnelheid bepaald. Indien de trillingssnelheid beneden de streefwaarde blijft, mag verwacht worden dat er in de meeste situaties geen hinder voor personen zal optreden. Onderscheid wordt gemaakt in de gebruikersfunctie van ruimten in het gebouw (variërend van gezondheidszorg of wonen tot kantoor of kritieke werkruimten), in omstandigheid (type trillingsbron) en in soort situatie (bestaand / huidig of toekomstige).

Ter behoeve van de hinderbeleving zijn herhalingsintensiteiten van de passages van belang. Bij hinderbeleving dient een gewogen gemiddelde periodieke waarde bepaald te zijn, welke afhankelijk is van onder andere het aantal keren dat er een incident optreedt. Daarnaast is de uitvoeringsperiode van belang (dag-/avond-/nachtperiode).

De streefwaarden zijn niet primair frequentieafhankelijk en zijn in tabel 3.2 voor een bestaande situatie opgenomen. Uitgangspunten voor de streefwaarden zijn:
- functie 2: wonen;
- omstandigheid 2: herhaald voorkomende trillingen, gedurende lange tijdsduur, door ten gevolg van (rail)wegverkeer;
- situatie: nieuwe situatie.

Tabel 3.2: Streefwaarden trillingssnelheid [-], voor nieuwe situatie, wonen, wegverkeer

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1 [-]	Streefwaarde A2 [-]	Streefwaarde A3 [-]
Dag en avond	0,10	0,40	0,05
Nacht	0,10	0,20	0,05

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR B dat *aanvullend* gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in de tabel 3.3.

Tabel 3.3: Hinderkwalificatie

$V_{eff,max}$	Hinderkwalificatie
< 0,1	Geen hinder
0,1-0,2	Weinig hinder (bestaande situaties)
0,2-0,8	Matige hinder
0,8-3,2	Hinder
>3,2	Ernstige hinder

SBR richtlijn B vermeldt:

"Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen. Ernstige hinder is niet toelaatbaar."

3.5. Toetsingsprocedure

Voor het maken van een beoordeling en toetsing van trillingsintensiteiten ten aanzien van schade en hinder conform de SBR - richtlijnen is het noodzakelijk het volgende inzicht te krijgen:

1. Voor de toetsing voor schade aan bouwwerken dient de grootste piekwaarde in de trillingsintensiteit bepaald / gemeten te worden. In de beoordeling van schade wordt door middel van een reductiefactor op de grenswaarde rekening gehouden met het feit, dat railverkeer een vrijwel continu trillingsveroorzakend proces is. Het aantal passages is derhalve geen invloedsfactor voor de toetsing voor schade. Voor de beoordeling van schade dient in principe uit te worden gegaan van de meetpunten aan de draagconstructie / gevel.

2. Voor de toetsing voor hinder voor personen in gebouwen dient enerzijds de grootste optredende effectieve waarde van de trillingssnelheid bepaald / gemeten te worden anderzijds dient de gemiddelde effectieve waarde van de trillingssnelheid bepaald / gemeten te worden. Voor de toetsing voor hinder zijn derhalve zowel opgetreden trillingsamplitude bij de passage maatgevend, als het aantal passages van de voertuigen. Voor de beoordeling van hinder dient in principe uit te worden gegaan van de meetpunten op de vloeren.

Toetsingsprocedure schade
Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein indien de rekenwaarde van de grenswaarde (v_{reken}) groter is dan de topsnelheid van de meting (v_{top}) gemeten aan de gevel.

Toetsingsprocedure hinderbeleving
De procedure voor de toetsing voor overschrijding van de streefwaarden voor hinder luidt, dat: $v_{eff,max}$ < A1 (toets 1)
of, indien $v_{eff,max}$ > A1, dan: $v_{eff,max}$ < A2 en v_{per} < A3 (toets 2)

Kort toegelicht:
- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde blijft, mag er geen hinder verwacht worden. Indien niet, dient de intensiteit van de werkzaamheden mede beschouwd te worden, volgens:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2 en de gemiddelde effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen niet uitgesloten. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaalt de intensiteit van het werk (toetsing streefwaarde A3) of sprake is van overschrijding van streefwaarde A3 en daarmee mogelijke hinder voor personen. Als aan zowel streefwaarde A2 als aan streefwaarde A3 wordt voldaan, mag er geen hinder verwacht worden.

3.6. Soorten trillingschades, perceptie bij hinderbeleving
In de SBR richtlijn A "*Schade aan gebouwen*" bestaat de toetsing uit de vergelijking van de rekenwaarde van de gemeten topsnelheid met de rekenwaarde van de grenssnelheid. In de richtlijn wordt gesteld dat de kans op schade minder dan 1% is wanneer de rekenwaarde van de gemeten topsnelheid kleiner is dan de rekenwaarde van de grenssnelheid.

Wanneer er overschrijdingen van de grenswaarden zijn geconstateerd behoeft dit nog niet direct tot constructieve schade te leiden. Van belang zijn de tijdsduur waarover de overschrijdingen optreden en de grootte van de overschrijding.

Cosmetische schade
Bij kortdurende of relatief lage overschrijdingen spreekt men eerder van cosmetische dan van constructieve schade. Onder cosmetische schade wordt verstaan:
- Haarscheurtjes in pleisterwerk, tegelwerk, metselwerk e.d.
- Naadvorming langs kozijnen, plafonds e.d.

Constructieve schade
Bij langdurige of relatief grote overschrijdingen zal eerder constructieve schade aan de draagconstructie ontstaan. Onder constructieve schade wordt verstaan:
- Grote scheuren in pleisterwerk, tegelwerk, metselwerk e.d.
- Scheuren in beton-/metselwerk
- Slecht sluitende deuren
- Verzakking van de constructie
- Scheuren in draagconstructie

Uiteindelijk kunnen de trillingen het falen van de constructie veroorzaken.

Voelbaarheid en acceptatie trillingen
Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR B dat ***aanvullend*** gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in tabel 2-4.

Tabel 2-1: Hinderkwalificatie

$V_{eff,max}$	Hinderkwalificatie
< 0,1	Geen hinder
0,1-0,2	Weinig hinder
0,2-0,8	Matige hinder
0,8-3,2	Hinder
>3,2	Ernstige hinder

4. MEETRESULTATEN EN TOETSING

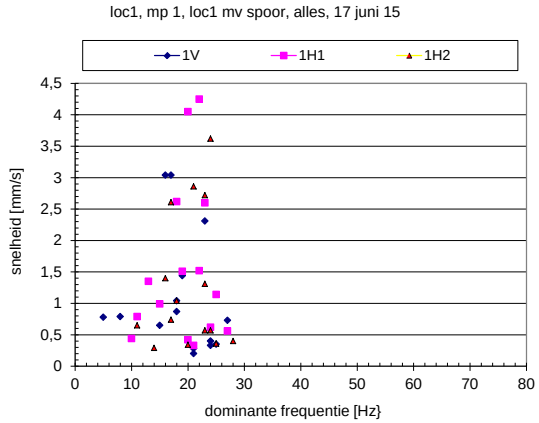
In onderliggende tabellen en figuren is een samenvatting van de gemeten maatgevende meetresultaten gepresenteerd. In bijlagen is de grafische weergave van de trillingsregistratie (ruwe signalen) opgenomen. In de tabellen wordt naar deze bijlagen verwezen. De niet maatgevende meetresultaten voor de beoordeling en toetsing aan de SBR - richtlijnen voor schade en hinder, zijn niet gepresenteerd.

4.1. Locatie 1, Toren 1

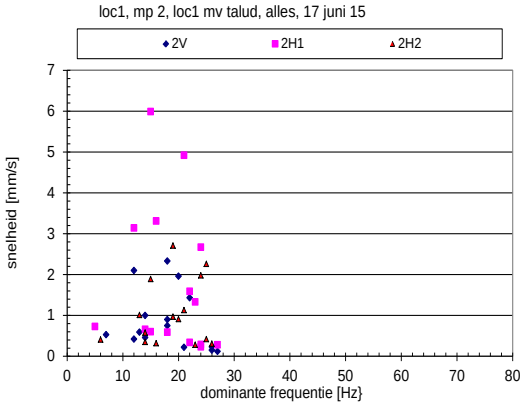
4.1.1. Meetresultaten

*Tabel 4.1: Samenvatting meetresultaten, **Piezosysteem,** Locatie 1, Toren 1*

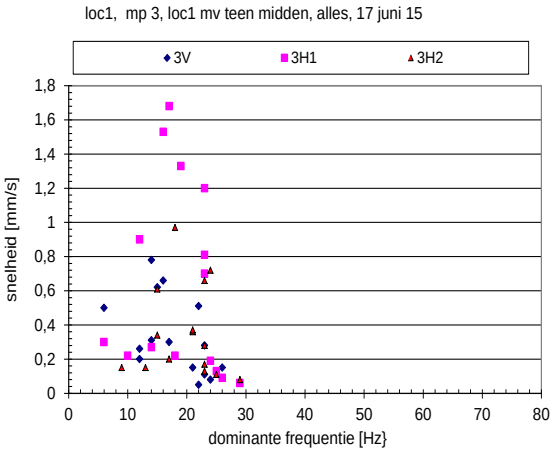
Mp	Omschrijving	Versnelling [mm/s^2]	frequentie [Hz]	snelheid [mm/s]	Bijl
1V	metro--> Diemen	317	17	3,04	1
1H1	metro-> Diemen	588	22	4,25	
1H2	metro--> Diemen	551	24	3,62	
2V	metro--> Diemen	259	18	2,33	1
2H1	metro-> Diemen	578	15	5,99	1
2H2	metro--> Diemen	317	19	2,71	1
3V	metro--> Diemen	69	14	0,78	
3H1	metro-> Diemen	178	17	1,68	1
3H2	metro--> Diemen	109	18	0,97	1
4V	metro--> Diemen	77	16	0,78	1
4H1	metro-> Diemen	71	12	0,92	1
4H2	metro--> Diemen	84	14	0,95	
5V	metro--> Diemen	81	13	1,01	1
5H1	metro-> Diemen	92	20	0,74	
5H2	metro--> Diemen	47	17	0,44	1



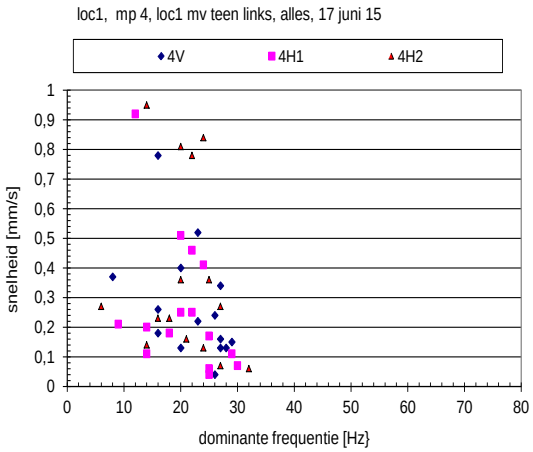
Figuur 4.1: Meetpunt 1, Maaiveld naast hek



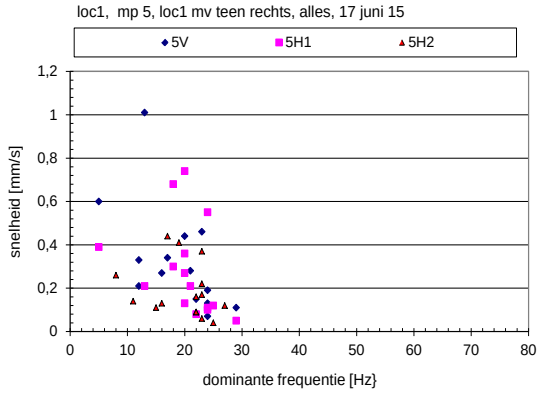
Figuur 4.2: Meetpunt 2 Maaiveld halverwege talud



Figuur 4.3: *Meetpunt 3*
Teen



Figuur 4.4: *Meetpunt 4*
Teen, links van meetpunt 3



Figuur 4.5: *Meetpunt 5*
Teen, rechts van meetpunt 3

4.1.2. Toetsing op schade SBR A

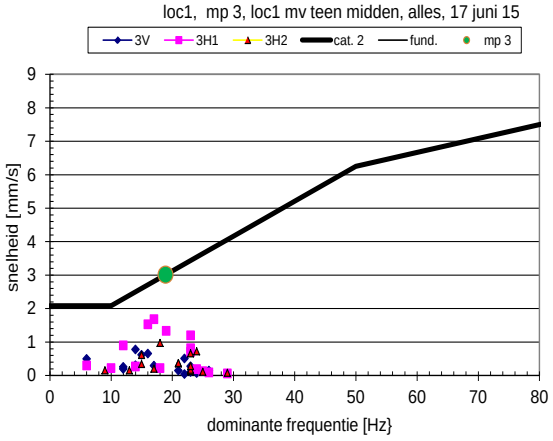
In tabel 4.2 en onderstaande figuren zijn de meetresultaten van het “gevelmeetpunt” vergeleken met (en getoetst aan) de grenswaarde(n) conform SBR - A van schade aan gebouwen. Opgemerkt wordt dat omdat geen bebouwing aanwezig was, het resultaat beschouwd is als zijnde gemeten aan de draagconstructie. In de tabel zijn, conform SBR A, de meetwaarden vermenigvuldigd met de partiële factor voor de soort meting, in de figuren is de grenswaarde gedeeld door deze factor.

Tabel 4.2: *Toetsing meetwaarden aan grenswaarden, richtlijn A Schade, locatie 1, Toren 1*

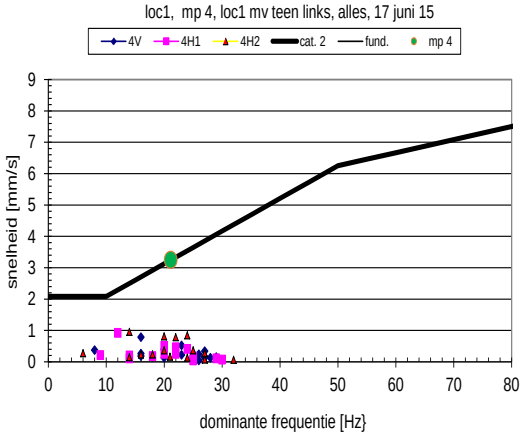
MP	wat	Freq. [Hz]	Toets-snelheid [1)] [mm/s]	Draagconstructie		Trillingsgevoelige fundering	
				Grens-waarde [mm/s]	Toetsing	Grens-waarde [mm/s]	Toetsing
3V	metro--> Diemen	14	1,25	4,00	Voldoet	nvt	
3H1	metro--> Diemen	17	2,69	4,50	Voldoet	nvt	
3H2	metro--> Diemen	18	1,55	4,67	Voldoet	nvt	
4V	metro--> Diemen	16	1,25	4,33	Voldoet	nvt	
4H1	metro--> Diemen	12	1,47	3,67	Voldoet	nvt	
4H2	metro--> Diemen	14	1,52	4,00	Voldoet	nvt	

5V	metro--> Diemen	13	1,62	3,83	Voldoet	nvt	
5H1	metro--> Diemen	20	1,18	5,00	Voldoet	nvt	
5H2	metro--> D	17	0,70	4,50	Voldoet	nvt	

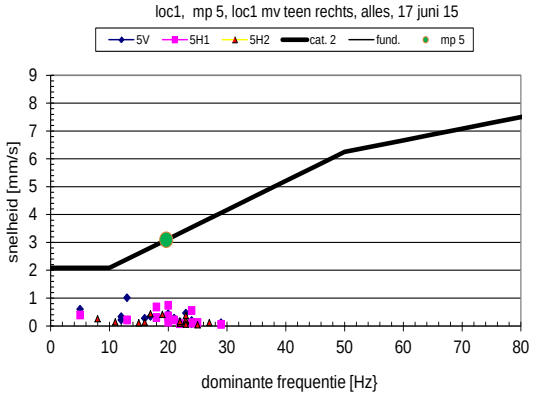
- 1) waarde inclusief partiële factor soort meting
- voldoet *impliceert: geen overschrijding van de grenswaarde volgens SBR-A*
- voldoet niet *impliceert: een overschrijding van de grenswaarde volgens SBR-A*



Figuur 4.6: Meetpunt 3
Teen



Figuur 4.7: Meetpunt 4
Teen, links van meetpunt 3



Figuur 4.8: Meetpunt 5
Teen, rechts van meetpunt 3

4.1.3. Toetsing op hinderbeleving SBR B

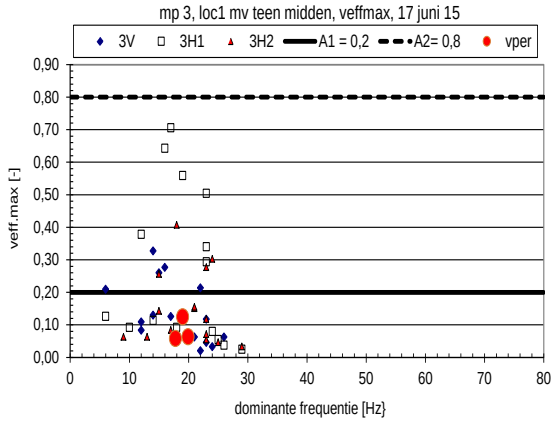
In tabel 4.3 en onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de vloermeetpunten (95%-waarden) vergeleken met (en getoetst aan) de streefwaarden dagperiode conform de SBR - B voor hinder voor personen. Opgemerkt wordt dat omdat geen bebouwing aanwezig was, het resultaat beschouwd is als zijnde gemeten op vloeren. Voor toets 2 (v_{per}) is het aantal dat de trilling zich voordoet van belang (aantal passages). Deze zijn geschat op basis van aantal gemeten signalen per gemeten meetduur.

Tabel 4.3: Toetsing meetwaarden aan streefwaarden, SBR richtlijn B, Hinder, dagperiode locatie 1,Toren 1

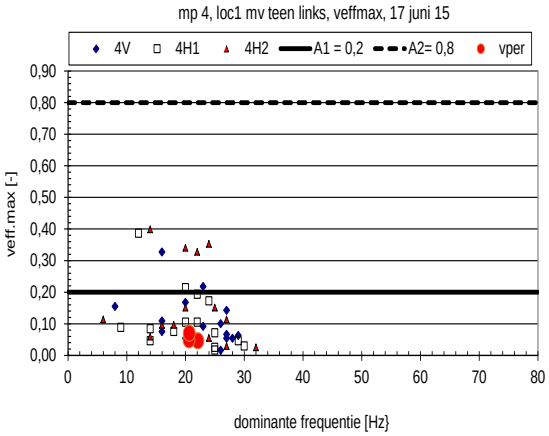
mp	opmerking	v_{kar} obv 95 %	$V_{eff,max}$	Toets 1 toets A1	V_{per} dag	Toets 2 toets A2 en A3
3V	metro--> Diemen	0,78	0,33	hinder?	0,06	geen hinder
3H1	metro--> Diemen	1,68	0,71	hinder?	0,12	hinder
3H2	metro--> Diemen	0,97	0,41	hinder?	0,06	geen hinder

4V	metro--> Diemen	0,78	0,33	hinder?	0,05	geen hinder
4H1	metro--> Diemen	0,92	0,39	hinder?	0,05	geen hinder
4H2	metro--> Diemen	0,95	0,40	hinder?	0,07	geen hinder
5V	metro--> Diemen	1,01	0,42	hinder?	0,06	geen hinder
5H1	metro--> Diemen	0,74	0,31	hinder?	0,05	geen hinder
5H2	metro--> Diemen	0,44	0,18	geen hinder	0,03	nvt

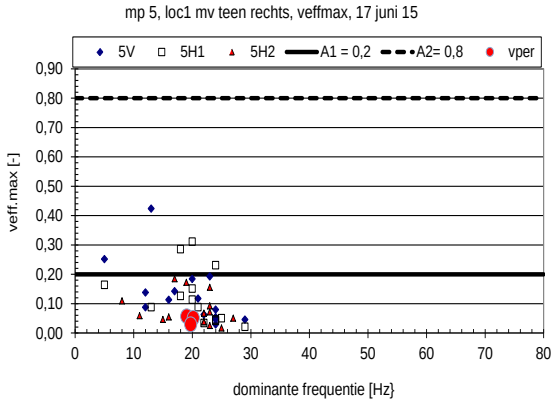
Hinder? impliceert dat A1 overschreden en dat toets 2 uitgevoerd wordt



Figuur 4.9: *Meetpunt 3*
Teen



Figuur 4.10: *Meetpunt 4*
Teen, links van meetpunt 3



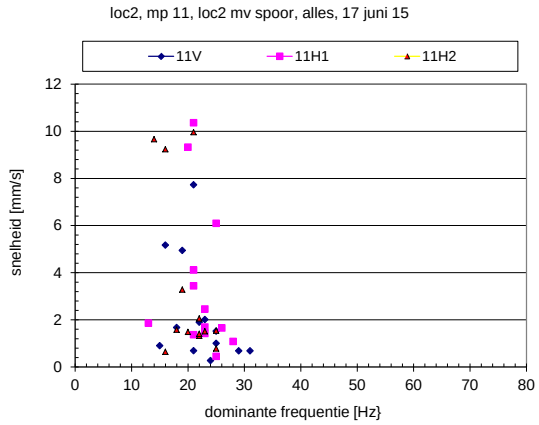
Figuur 4.11: *Meetpunt 5*
Teen, rechts van meetpunt 3

4.2. Locatie 2, nabij Toren 3

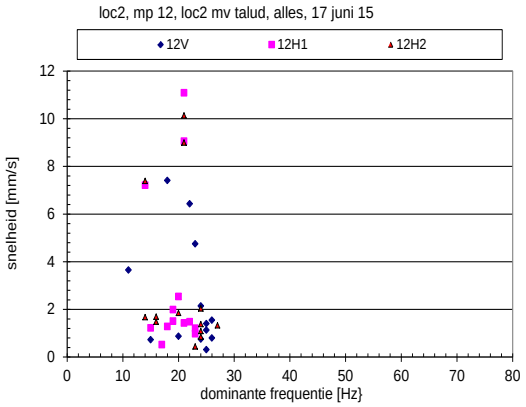
4.2.1. Meetresultaten

Tabel 4.4: Samenvatting meetresultaten, ***Piezosysteem,*** *Locatie 2, nabij Toren 3*

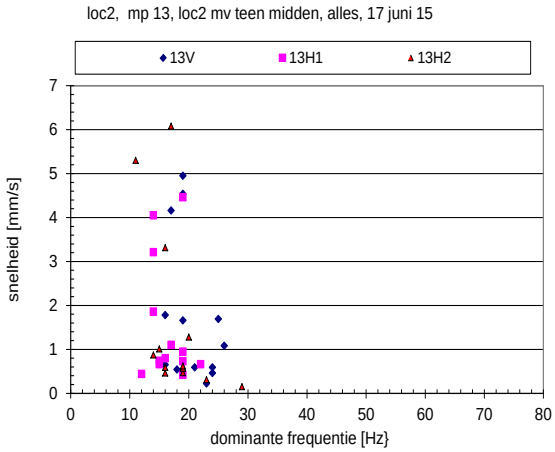
Mp	Omschrijving	Versnelling [mm/s^2]	frequentie [Hz]	snelheid [mm/s]	Bijl
11V	loc2 metro --> Diemen	1027	21	7,73	2
11H1	loc2 metro --> Diemen	1367	21	10,36	2
11H2	loc2 metro --> Diemen	1314	21	9,96	2
12V	loc2 metro --> Diemen	848	18	7,41	
12H1	loc2 metro --> Diemen	1465	21	11,09	2
12H2	loc2 metro --> Diemen	1320	21	10,14	2
13V	loc2 metro --> Diemen	606	19	4,95	
13H1	loc2 metro --> Diemen	531	19	4,46	2
13H2	loc2 metro --> Diemen	645	17	6,08	2
14V	loc2 metro --> Diemen	542	20	4,31	2
14H1	loc2 metro --> Diemen	586	19	4,91	2
14H2	loc2 metro --> Diemen	597	19	5,01	2
15V	loc2 metro --> Diemen	394	18	3,39	2
15H1	loc2 metro --> Diemen	744	22	5,51	2
15H2	loc2 metro --> Diemen	433	16	4,30	2



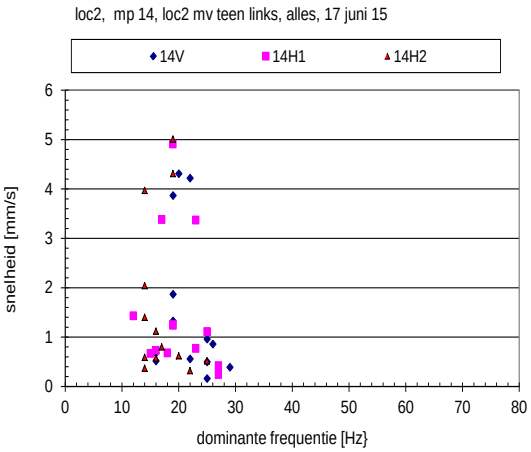
Figuur 4.12: Meetpunt 11, Maaiveld naast hek



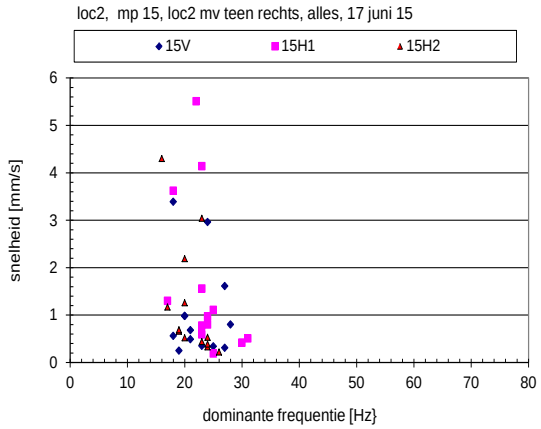
Figuur 4.13: Meetpunt 12 Maaiveld halverwege talud



Figuur 4.14: Meetpunt 13 Teen



Figuur 4.15: Meetpunt 14 Teen, links van meetpunt 13



Figuur 4.16: *Meetpunt 15*
Teen, rechts van meetpunt 13

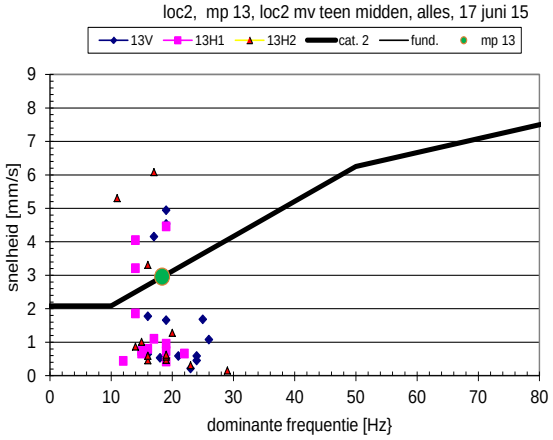
4.2.2. Toetsing op schade SBR A

In tabel 4.5 en onderstaande figuren zijn de meetresultaten van het “gevelmeetpunt” vergeleken met (en getoetst aan) de grenswaarde(n) conform SBR - A van schade aan gebouwen. Opgemerkt wordt dat omdat geen bebouwing aanwezig was, het resultaat beschouwd is als zijnde gemeten aan de draagconstructie. In de tabel zijn, conform SBR A, de meetwaarden vermenigvuldigd met de partiële factor voor de soort meting, in de figuren is de grenswaarde gedeeld door deze factor.

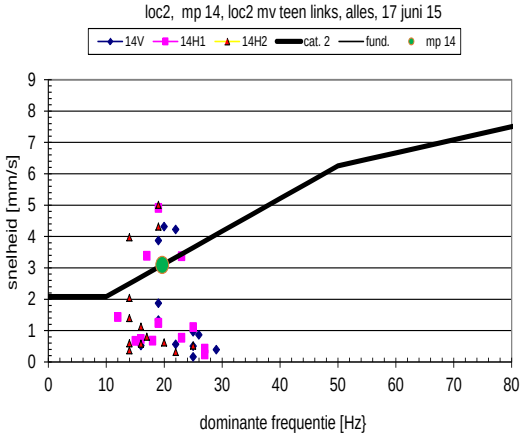
Tabel 4.5: *Toetsing meetwaarden aan grenswaarden, richtlijn A Schade, locatie 2, nabij Toren 3*

MP	wat	Freq. [Hz]	Toets-snelheid [1)] [mm/s]	Draagconstructie		Trillingsgevoelige fundering	
				Grens-waarde [mm/s]	Toetsing	Grens-waarde [mm/s]	Toetsing
13V	loc2 metro --> Diemen	19	7,92	4,83	Voldoet niet	nvt	
13H1	loc2 metro --> Diemen	19	7,14	4,83	Voldoet niet	nvt	
13H2	loc2 metro --> Diemen	17	9,73	4,50	Voldoet niet	nvt	
14V	loc2 metro --> Diemen	20	6,90	5,00	Voldoet niet	nvt	
14H1	loc2 metro --> Diemen	19	7,86	4,83	Voldoet niet	nvt	
14H2	loc2 metro --> Diemen	19	8,02	4,83	Voldoet niet	nvt	
15V	loc2 metro --> Diemen	18	5,42	4,67	Voldoet niet	nvt	
15H1	loc2 metro --> Diemen	22	8,82	5,33	Voldoet niet	nvt	
15H2	loc2 metro --> Diemen	16	6,88	4,33	Voldoet niet	nvt	

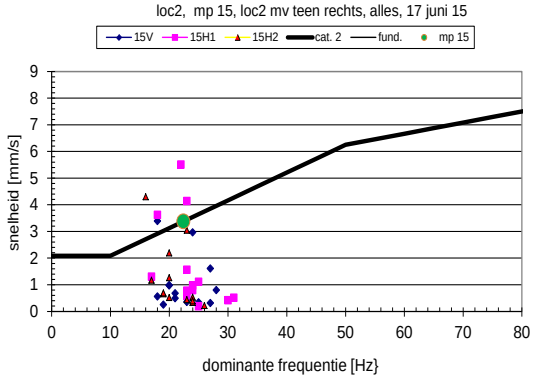
- 1) waarde inclusief partiële factor soort meting
- voldoet *impliceert: geen overschrijding van de grenswaarde volgens SBR-A*
- voldoet niet *impliceert: een overschrijding van de grenswaarde volgens SBR-A*



Figuur 4.17: Meetpunt 13
Teen



Figuur 4.18: Meetpunt 14
Teen, links van meetpunt 13



Figuur 4.19: Meetpunt 15
Teen, rechts van meetpunt 13

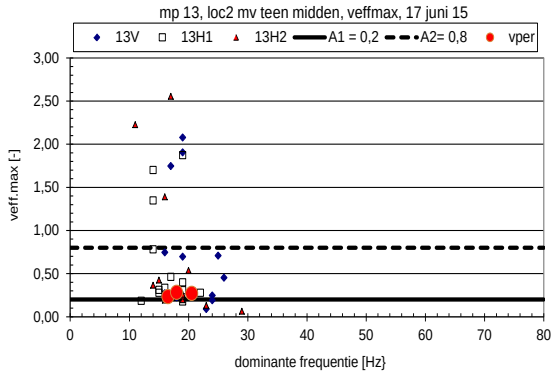
4.2.3. Toetsing op hinderbeleving SBR B

In tabel 4.6 en onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de vloermeetpunten (95%-waarden) vergeleken met (en getoetst aan) de streefwaarden dagperiode conform de SBR - B voor hinder voor personen. Opgemerkt wordt dat omdat geen bebouwing aanwezig was, het resultaat beschouwd is als zijnde gemeten op vloeren. Voor toets 2 (v_{per}) is het aantal dat de trilling zich voordoet van belang (aantal passages). Deze zijn geschat op basis van aantal gemeten signalen per gemeten meetduur.

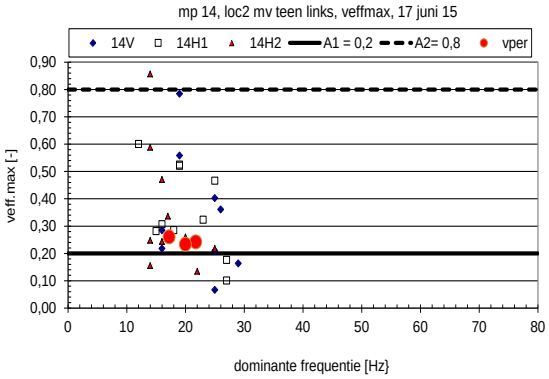
Tabel 4.6: Toetsing meetwaarden aan streefwaarden, SBR richtlijn B, Hinder, dagperiode locatie 2,nabij Toren 3

mp	opmerking	v_{kar} obv 95 %	$V_{eff,max}$	Toets 1 toets A1	V_{per} dag	Toets 2 toets A2 en A3
13V	loc2 metro --> Diemen	4,95	2,08	hinder?	0,27	hinder
13H1	loc2 metro --> Diemen	4,46	1,87	hinder?	0,23	hinder
13H2	loc2 metro --> Diemen	6,08	2,55	hinder?	0,28	hinder
14V	loc2 metro --> Diemen	4,31	1,81	hinder?	0,24	hinder
14H1	loc2 metro --> Diemen	4,91	2,06	hinder?	0,23	hinder
14H2	loc2 metro --> Diemen	5,01	2,10	hinder?	0,26	hinder
15V	loc2 metro --> Diemen	3,39	1,42	hinder?	0,16	hinder
15H1	loc2 metro --> Diemen	5,51	2,31	hinder?	0,26	hinder
15H2	loc2 metro --> Diemen	4,30	1,81	hinder?	0,19	hinder

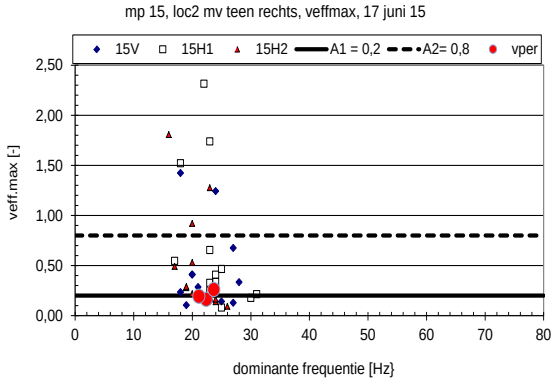
Hinder? impliceert dat A1 overschreden en dat toets 2 uitgevoerd wordt



Figuur 4.20: *Meetpunt 13*
Teen



Figuur 4.21: *Meetpunt 14*
Teen, links van meetpunt 13



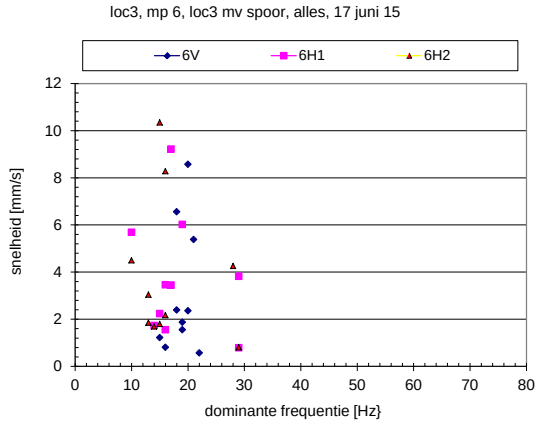
Figuur 4.22: *Meetpunt 15*
Teen, rechts van meetpunt 13

4.3. Locatie 3, Toren 4

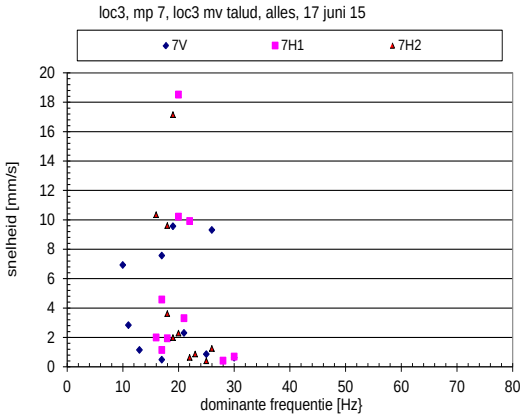
4.3.1. Meetresultaten

Tabel 4.7: Samenvatting meetresultaten, ***Piezosysteem,*** *Locatie 3,Toren 4*

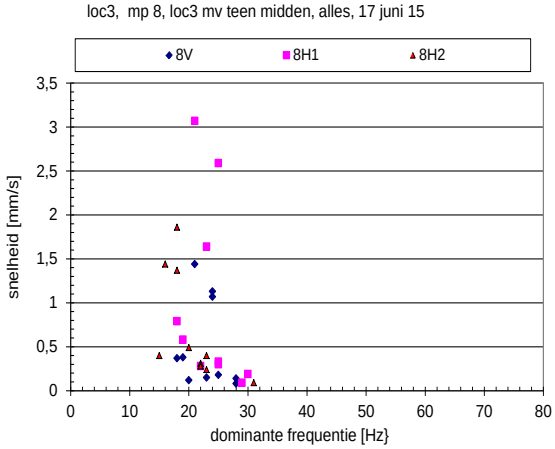
Mp	Omschrijving	Versnelling [mm/s^2]	frequentie [Hz]	snelheid [mm/s]	Bijl
6V	metro-->Diemen	1084	20	8,57	3
6H1	metro--> Diemen	996	17	9,22	3
6H2	metro--> Diemen	961	15	10,35	
7V	metro--> Diemen	1115	19	9,56	3
7H1	metro--> Diemen	2346	20	18,52	3
7H2	metro--> Diemen	2088	19	17,15	3
8V	metro--> Diemen	187	21	1,44	3
8H1	metro--> Diemen	405	21	3,07	
8H2	metro--> Diemen	210	18	1,86	3
9V	metro--> Diemen	175	19	1,50	3
9H1	metro--> Diemen	201	23	1,42	3
9H2	metro--> Diemen	103	21	0,76	3
10V	metro--> Diemen	389	27	2,29	
10H1	metro--> Diemen	387	20	3,09	
10H2	metro--> Diemen	251	23	1,72	3



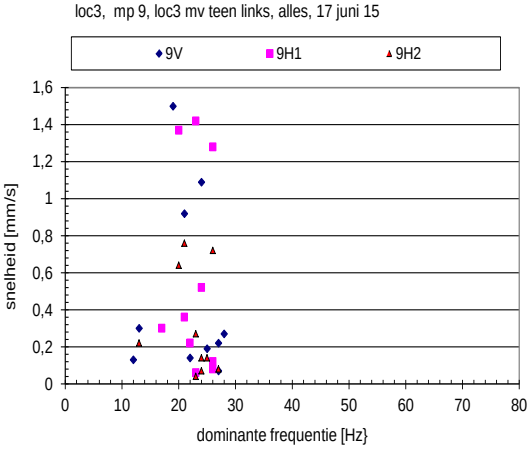
Figuur 4.23: Meetpunt 6, Maaiveld naast hek



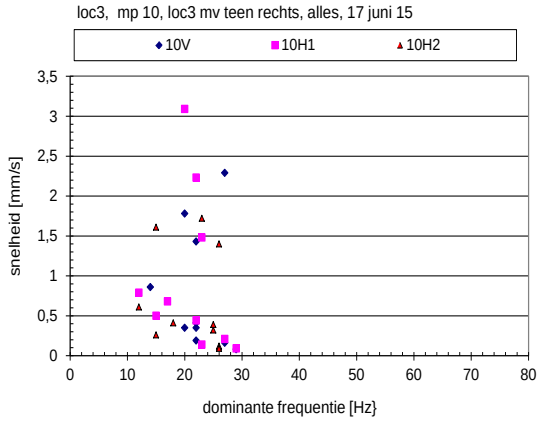
Figuur 4.24: Meetpunt 7 Maaiveld halverwege talud



Figuur 4.25: Meetpunt 8 Teen



Figuur 4.26: Meetpunt 9 Teen, links van meetpunt 8



Figuur 4.27: Meetpunt 10 Teen, rechts van meetpunt 8

4.3.2. Toetsing op schade SBR A

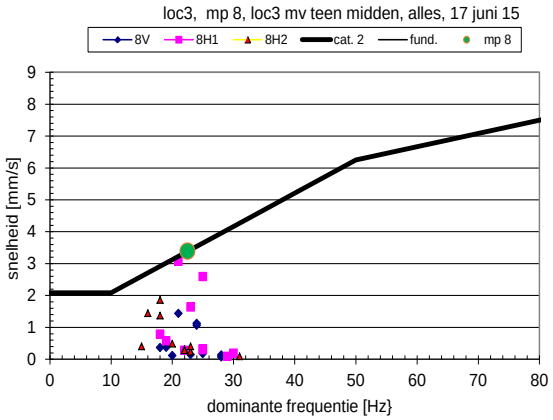
In tabel 4.8 en onderstaande figuren zijn de meetresultaten van het “gevelmeetpunt” vergeleken met (en getoetst aan) de grenswaarde(n) conform SBR - A van schade aan gebouwen. Opgemerkt wordt dat omdat geen bebouwing aanwezig was, het resultaat beschouwd is als zijnde gemeten aan de draagconstructie. In de tabel zijn, conform SBR A,

de meetwaarden vermenigvuldigd met de partiële factor voor de soort meting, in de figuren is de grenswaarde gedeeld door deze factor.

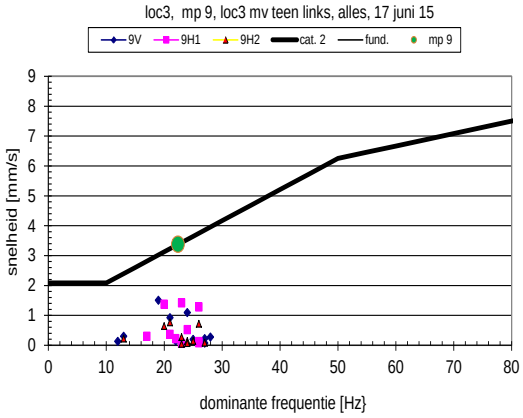
Tabel 4.8: Toetsing meetwaarden aan grenswaarden, richtlijn A Schade, locatie 3, Toren 4

MP	wat	Freq. [Hz]	Toets-snelheid [1)] [mm/s]	Draagconstructie		Trillingsgevoelige fundering	
				Grens-waarde [mm/s]	Toetsing	Grens-waarde [mm/s]	Toetsing
8V	metro-->Diemen	21	2,30	5,17	Voldoet	nvt	
8H1	metro--> Diemen	21	4,91	5,17	Voldoet	nvt	
8H2	metro--> Diemen	18	2,98	4,67	Voldoet	nvt	
9V	metro--> Diemen	19	2,40	4,83	Voldoet	nvt	
9H1	metro--> Diemen	23	2,27	5,50	Voldoet	nvt	
9H2	metro--> Diemen	21	1,22	5,17	Voldoet	nvt	
10V	metro--> Diemen	27	3,66	6,17	Voldoet	nvt	
10H1	metro--> Diemen	20	4,94	5,00	Voldoet	nvt	
10H2	metro--> Diemen	23	2,75	5,50	Voldoet	nvt	

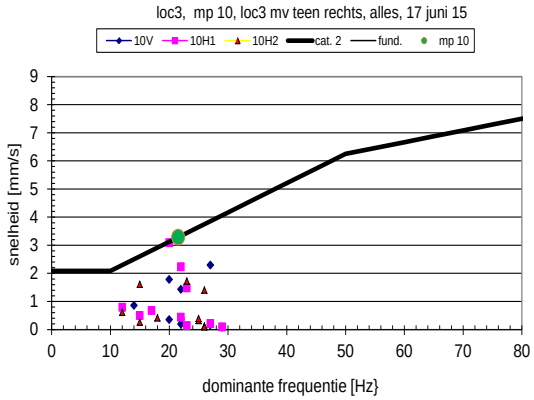
- 1) waarde inclusief partiële factor soort meting
- voldoet *impliceert: geen overschrijding van de grenswaarde volgens SBR-A*
- voldoet niet *impliceert: een overschrijding van de grenswaarde volgens SBR-A*



Figuur 4.28: Meetpunt 8
Teen



Figuur 4.29: Meetpunt 9
Teen, links van meetpunt 8



Figuur 4.30: Meetpunt 10
Teen, rechts van meetpunt 8

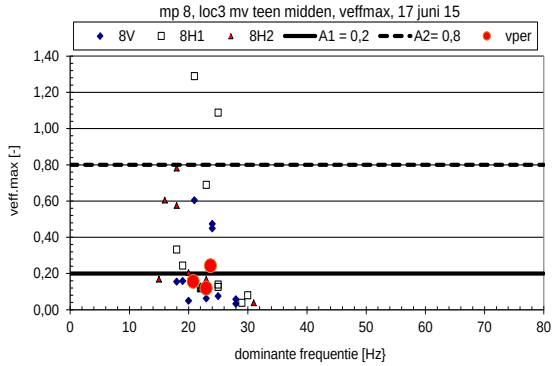
4.3.3. *Toetsing op hinderbeleving SBR B*

In tabel 4.9 en onderstaande figuren zijn de meetresultaten van de vloermeetpunten (95%-waarden) vergeleken met (en getoetst aan) de streefwaarden dagperiode conform de SBR - B voor hinder voor personen. Opgemerkt wordt dat omdat geen bebouwing aanwezig was, het resultaat beschouwd is als zijnde gemeten op vloeren. Voor toets 2 (v_{per}) is het aantal dat de trilling zich voordoet van belang (aantal passages). Deze zijn geschat op basis van aantal gemeten signalen per gemeten meetduur.

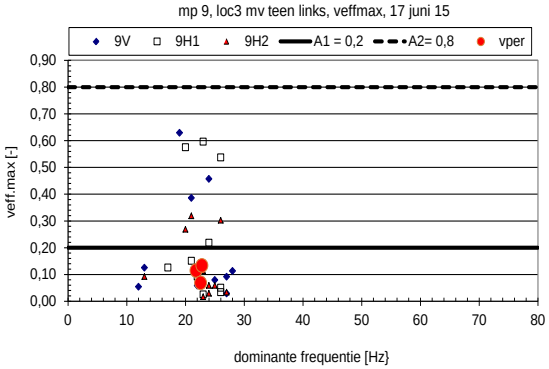
Tabel 4.9: Toetsing meetwaarden aan streefwaarden, SBR richtlijn B, Hinder, dagperiode locatie 3, Toren 4

mp	opmerking	v_{kar} obv 95 %	$V_{eff,max}$	Toets 1 toets A1	V_{per} dag	Toets 2 toets A2 en A3
8V	metro-->Diemen	1,44	0,60	hinder?	0,12	hinder
8H1	metro--> Diemen	3,07	1,29	hinder?	0,24	hinder
8H2	metro--> Diemen	1,86	0,78	hinder?	0,16	hinder
9V	metro--> Diemen	1,50	0,63	hinder?	0,11	hinder
9H1	metro--> Diemen	1,42	0,60	hinder?	0,13	hinder
9H2	metro--> Diemen	0,76	0,32	hinder?	0,07	geen hinder
10V	metro--> Diemen	2,29	0,96	hinder?	0,18	hinder
10H1	metro--> Diemen	3,09	1,30	hinder?	0,23	hinder
10H2	metro--> Diemen	1,72	0,72	hinder?	0,16	hinder

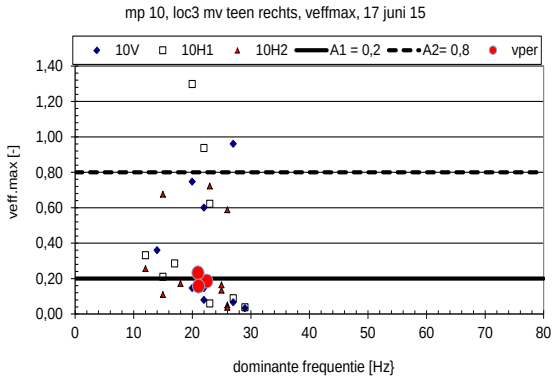
Hinder? impliceert dat A1 overschreden en dat toets 2 uitgevoerd wordt



Figuur 4.31: Meetpunt 8 Teen



Figuur 4.32: Meetpunt 9 Teen, links van meetpunt 8

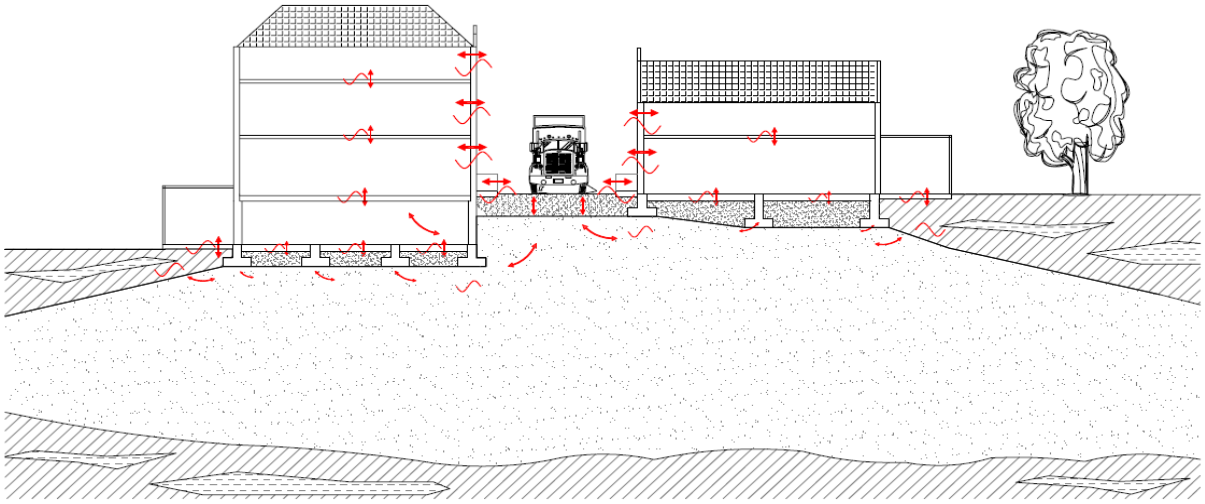


Figuur 4.22: Meetpunt 10 Teen, rechts van meetpunt 8

5. ANALYSES TRILLINGSOVERDRACHT

5.1. Mechanisme trillingen

Bij trillingen is sprake van een trillingsbron, een medium (grond) dat de trillingen doorgeeft en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De aanstoot van de woning/object is op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit bij de palen of bij de funderingspoeren/stroken. In figuur 5.1 is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.

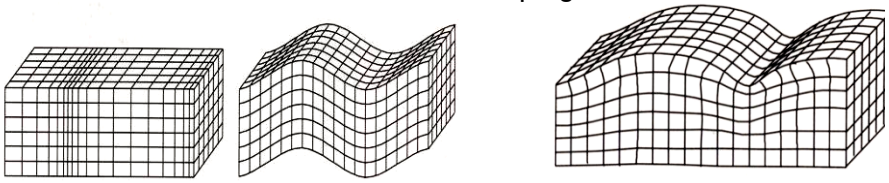


Figuur 5.1: Interactie tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

Wanneer (rail)verkeer passeert over een ruw wegdek/drempel/oppervlak veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de wegconstructie/ondergrond. Door de snelle introductie van deze vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot in de wegconstructie (b.v. spoorvorming).

Voor de trillingen in de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten. Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk, dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat. Gezien de complexiteit van dit interferentiepatroon kan de bodembeweging slechts in benaderende zin beschreven worden.

De grootte van de beweging op het maaiveld wordt enerzijds bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen van het maaiveld, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af bij een toenemende afstand tot de bron en door materiaaldemping.



Drukgolf (links) schuifgolf (rechts) Rayleigh golf

Figuur 5.2: Verschillende trillingsgolven

Om de situatie te analyseren dienen de volgende factoren beschouwd worden:

1. Bron: spoorverkeer;
   - Door het passerende railverkeer wordt een dynamische belasting (impuls) op het baanlichaam uitgeoefend.
   - De passagesnelheid en type / tonnage / aantal passages van een trein / metro geven de grootste trilling bij de bron.
2. Medium: bodem en wegconstructie;
   - Tijdens de passage wordt de omringende grond in beweging gebracht. De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door zowel geometrische demping als materiaaldemping.
   - Zowel overdracht in het baanlichaam als overdracht door dieper gelegen grondlagen hebben effect op de grootte van de trillingsintensiteiten;
   - Stijfheidsgegevens van de grond en baanlichaam hebben invloed op de overdracht van de trilling.
3. Ontvanger: woning
   - Bij overdracht van trillingen (direct onder maaiveld) van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op.
   - De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van de ontvanger (beton/metselwerk/overspanningen liggers ed.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude.

Voor het bepalen van de hinderbeleving zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig(e) opslingereffect op. De maximale trillingsintensiteit van de vloer volgt door de trillingsintensiteit aan de draagconstructie te vermenigvuldigen met dynamische vergrotingsfactoren.

De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- Afmetingen van de wegconstructie;
- Energie die het passerend spoorverkeer in de ondergrond aanbrengt.

Ad 1. Bron

De belangrijkste karakteristieken van het spoorverkeer met betrekking tot schade/ trillingshinder zijn:

- Soort spoorverkeer;
- Snelheid spoorverkeer;
- Verkeersintensiteit.

Soort verkeer, representatief voertuig

Op basis van eigen waarnemingen gedurende de meetdagen wordt gesteld verschillende type “spoorvoertuigen” gepasseerd zijn, in westelijke (metrostation Diemen Zuid) en in oostelijke richting (Verrijn Stuartweg). Het betreft nieuwe metrovoertuigen en oudere type metrovoertuigen. Daarnaast zijn NS treinen gepasseerd. Een enkele goederentrein is gepasseerd. De trillingsintensiteit (amplitude) van de passage van de goederentrein is niet maatgevend, echter wel langdurig dat deze optreedt (ca. 1 min.).



Figuur 5-3: Passage metrovoertuig, “nieuw model” Rijrichting Diemen



Figuur 5-4: Passage metrovoertuig, “oude model” Rijrichting Centrum



Figuur 5-5: Passage metrovoertuig, “oud model” Rijrichting Diemen



Figuur 5-6: Passage metrovoertuig, “nieuw model” Rijrichting Diemen

Snelheid en spoorverkeersintensiteit

De snelheid en de spoorverkeersintensiteiten van het passerende metroverkeer zijn niet gemeten / bepaald.

Ad 2. Medium

Ten tijde van de metingen in mei 2015 zijn op locatie 1 en 2 trllingsmeters in een conus geplaatst. Deze meetlocaties zijn voor gesondeerd. De bodemgesteldheid is globaal geschematiseerd zoals in tabel 5.1 is weergegeven. In de bijlage zijn representatieve sonderingen opgenomen.

Tabel 5.1: Globale bodemgesteldheid meetlocaties

Diepte bovenkant laag in m t.o.v. mv			Bodembeschrijving	
mv	à	-4	ZAND	Toplaag
-4	à	-6,5	VEEN	
-6,5	à	-9,5	KLEI	Siltig
-9,5	à	-15	ZAND	Klei insluitingen
-15	à	-20	KLEI	Siltig
-20	à	-22	ZAND	
-22,0			Maximaal verkende diepte	

Op basis van de sondering kan de bodemopbouw het beste worden vergeleken met profiel “Amsterdam”, volgens de CUR166.

Ad 3. ontvanger

De belendende nieuwbouw zijn de ontvangers van de trillingen. De geplande nieuwbouw zal een betonskelet als draagconstructie bevatten waartegen aan metselwerk geplaatst zal worden. Op basis van deze informatie wordt de nieuwbouw ingedeeld in categorie 2, conform SBR richtlijn A “Schade aan gebouwen”.



Figuur 5-7 Maquette van bouwplan

5.2. Modelering

In de bijlage "*Toelichting Modellering Trillingen*" wordt nader ingegaan op de theoretische achtergrond omtrent een modellering van trillingen.

De modellering en het "fitten" van de meetdata vindt plaats op basis van het in CUR - publicatie 166 '*Damwandconstructies*' opgenomen berekeningsmodel. In CUR 166 wordt voor de bronintensiteit van de trillingsintensiteit een "standaard" bodemprofiel gehanteerd. Door de bronwaarde van het "standaard" profiel te correleren / fitten naar de grondcondities / meetresultaten van de projectlocatie, is met lokale omstandigheden rekening gehouden. Het model is met name opgezet voor analyses van trillingssnelheden.

Omdat het karakteristieke beeld van een trilling veroorzaakt door een passage sterk vergelijkbaar is met dat van een heitrilling, is de module heien gehanteerd.

De belangrijkste parameters die tot de fit leiden zijn:

- Gemiddelde bronsnelheid op referentie afstand 5 m (a_{5m}), heien
- Variatie coëfficiënt, heien
- Dempingsconstante grond
- "Energie" niveau heien

In tegenstelling tot de in CUR 166 (6^{e} druk) gehanteerde "vereenvoudigde" lognormale verdeling voor de bronwaarde wordt in de analyse uitgegaan van een lognormale verdeling met aangepaste veiligheidsbenadering [art geotechniek oktober 2014].

5.3. Postdictie trillingsmeetdata

Met uitzondering van locatie 2 wordt, gezien de meetresultaten, geconcludeerd dat er geen risico op schade is. Bij locatie 2 bestaat er risico op schade door trillingen. Omdat de trillingsreducerende maatregel afgestemd wordt op minimaliseren van de hinderbeleving wordt impliciet het risico op schade eveneens geminimaliseerd. Voor hinderbeleving zijn de waarden op vloeren van belang ($v_{eff,max}$). Omdat niet op vloeren gemeten is, is een beoordeling conform SBR B niet uit te voeren. Echter als aangehouden wordt "als zijnde gemeten op vloeren" dan is een analyse op hinderbeleving te maken.

In tabel 5.2 zijn de afgeleide meetwaarden ($v_{eff,max}$) opgenomen, waarbij geen onderscheid is gemaakt in rijrichting en type voertuig. Voor het gefitte model zijn in de tabel eveneens de gehanteerde brongegevens opgenomen. In onderstaande figuren zijn de "gefitte" prognose lijnen en de afgeleide $v_{eff,max}$ trillingsintensiteiten versus de afstand uitgezet.

Tabel 5.2: Meetresultaten en gehanteerde "fit" waarden, snelheden, nieuwbouw

		Locatie 1	Locatie 2	Locatie 3
Meetpunt 1, 6, 11	$v_{eff,max}$	0,46 – 0,65 mm/s	0,94 – 1,46 mm/s	1,31 – 1,63 mm/s
Meetpunt 2, 7, 12	$v_{eff,max}$	0,37 – 0,75 mm/s	1,03 – 1,34 mm/s	1,75 – 2,21 mm/s
Meetpunt 3tm5, 8tm10, 13tm15	$v_{eff,max}$	0,13 – 0,178 mm/s	0,63 – 0,67 mm/s	0,24 – 0,35 mm/s
Bronwaarde v_{5m}, "heien"		0,030 mm/s	0,030 mm/s	0,030 mm/s
Variatiecoëfficiënt		75%	40%	75%
"Energieniveau heiblok"		3 kNm	9 kNm	3 kNm
Efficiëntie heiblok		100%	100%	100%
Dempingsconstante		0,06 m^{-1}	0,03 m^{-1}	0,06 m^{-1}
Grond → draag. [1)]		1,0	1,0	1,0
Draag. → vloer [1)]		0,8	0,6	0,8

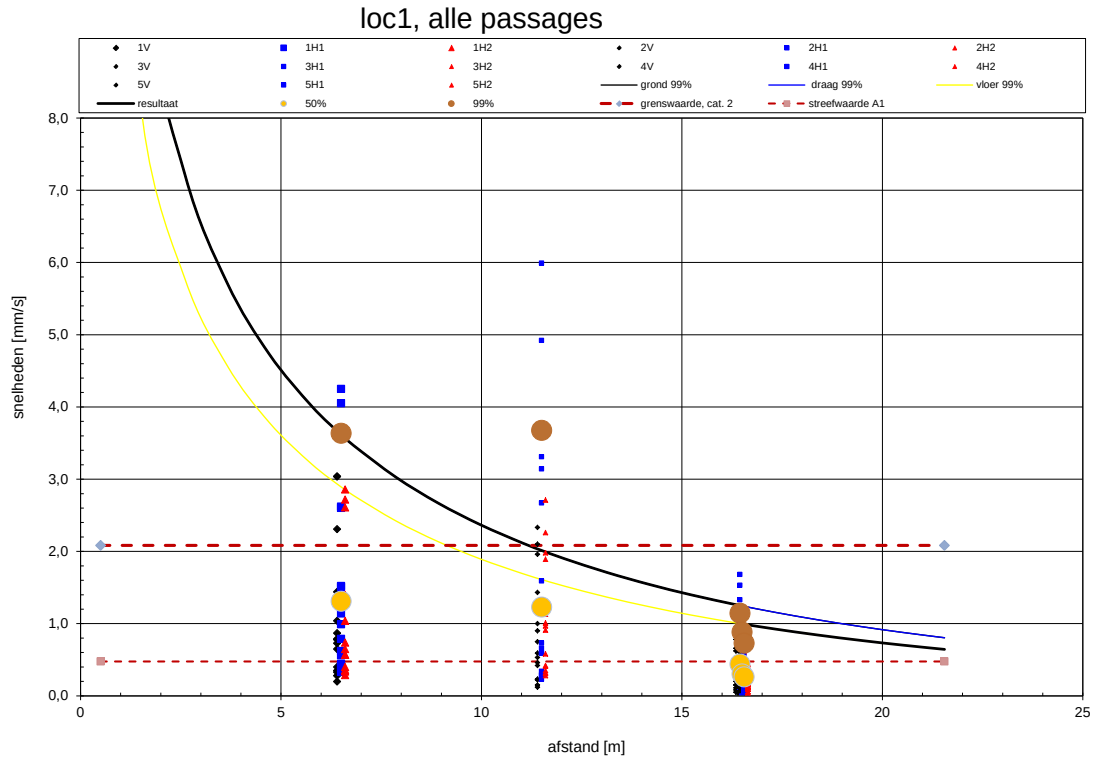
1) Overdrachtsfactoren, draag.= draagconstructie

In tabel 5.3 is de grootte van het invloedsgebied en is het benodigde reductiepercentage voor hinderbeleving opgenomen.

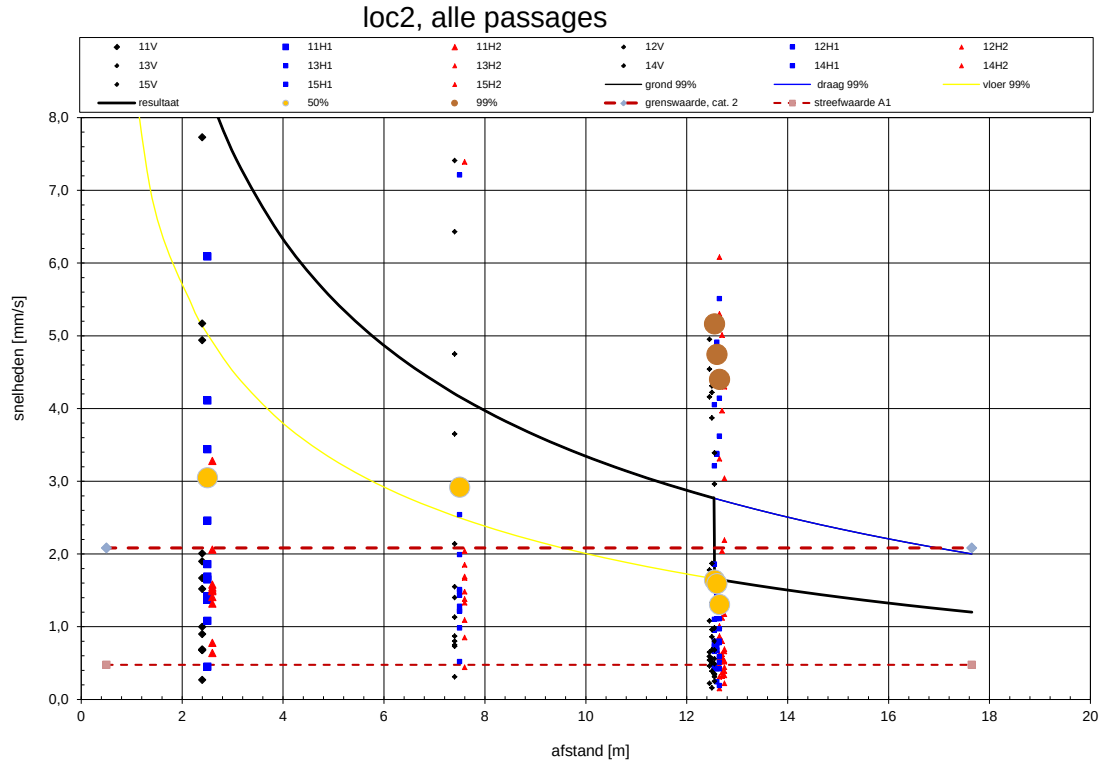
Tabel 5.3:Beoordeling analyseresultaten

	Raai 1	Raai 2	Raai 2
Invloedsgebieds vanaf hek	25 m	35 m	25 m
Benodigde reductie (t.o.v. A1)	52%	71%	70%

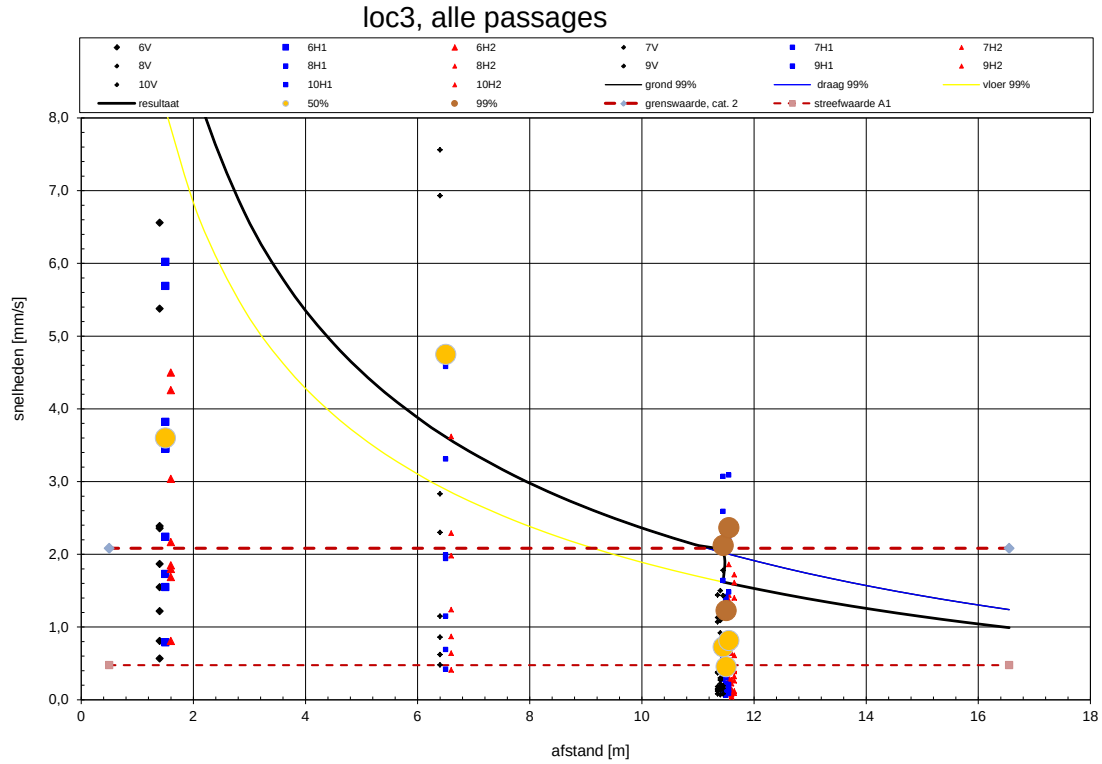
Opmerking bij de figuren:
De afstand van de meetpunten in de teen corresponderen met de locatie van de gevel.



Figuur 5.8: Postdictie locatie 1, Toren 1



Figuur 5.9: Postdictie Locatie 2, nabij Toren 3



Figuur 5.10: Postdictie Locatie 3, Toren 4

6. CONCLUSIES

Opdrachtverstrekking
In opdracht van Holland Park B.V. te Diemen heeft Fugro GeoServices B.V. te Leidschendam bemande trillingsmetingen tijdens passage van treinverkeer (NS treinen / metro voertuigen) aan de Eekholt 4 te Diemen uitgevoerd en heeft geotechnische adviezen ten aanzien van de trillingsreducerende maatregel “Trillingscherm” uitgebracht..

Het onderzoek ten behoeve van het trillingscherm is tweeledig:

1) Uitvoeren van trillingsmetingen waarbij versnellingsopnemers gehanteerd worden, zodat een volledige passage van een metro gemeten kan worden (voorliggend rapport);
2) Met behulp van het eindige elementen programma PLAXIS de dimensies bepalen van het trillingscherm (rapport 1015-0192-001.R02).

Situatie
Door passage van treinen en metro’s ontstaan trillingen in de ondergrond. De trillingen worden via de ondergrond overgedragen op de draagconstructie van naastgelegen geplande nieuwbouw (appartementen complex). De trillingen leveren een risico op schade aan de woningen (SBR-A richtlijn) dan wel hinderbeleving voor bewoners in de woningen (SBR-B richtlijn).

Aanvullende metingen
In mei 2015 is met standalone meetsystemen (geofoon als opnemer) inzicht verkregen in optredende trillingen bij passages van metro’s. Geconcludeerd is dat geen schade maar wel hinderbeleving te verwachten is. Omdat de meetresultaten ongeschikt zijn voor analyses van eigenfrequenties en dimensionering van maatregelen in de grond, zijn aanvullende trillingsmetingen uitgevoerd waarbij versnellingsopnemers gebruikt zijn.

Met een bemande trillingsmeting uitgevoerd op 17 juni 2015 zijn de huidig optredende trillingsintensiteiten inzichtelijk gemaakt. De trillingen zijn hoog frequent gesampled, waarbij een totale passage van een metro “gepakt” is. In een drietal locaties is op onderlinge afstand van 5 m op maaiveld / talud gemeten. Locatie 1 is ter hoogte van toren 1, locatie 2 is ter hoogte van toren 3 en locatie 3 ter hoogte van toren 4. Op talud zijn 2 meetpunten ingericht, in de teen (op locatie van de toekomstige locatie van de gevel) zijn 3 meetpunten ingericht.

Nieuwbouw (SBR A en SBR B indelingen)
Met betrekking tot risico op schade wordt de nieuwbouw ingedeeld in categorie 2 (conform SBR A). Dit omdat de nieuwbouw een betonnen skelet zal bevatten met metselwerk daartegenaan geplaatst. Met betrekking tot hinderbeleving is de functie wonen van toepassing in een toekomstige situatie (conform SBR B)

Beoordeling / conclusie meetdata
De meetresultaten zijn zowel beoordeeld (en getoetst) aan de grenswaarde conform SBR - richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" als aan de streefwaarden conform SBR - richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*". Voor beide meetraaien wordt het volgende geconcludeerd:

- Omdat de grenswaarden aan de draagconstructie bij locatie 1 (Toren 1) en locatie 3 (Toren 4) niet wordt overschreden, wordt verwacht dat **geen risico op schade** door metro passages aanwezig is. Omdat op locatie 2 (nabij toren 3) de grenswaarde wordt overschreden is hier **risico op schade**,
- Omdat de streefwaarde A1 op de vloeren overschreden worden, wordt verwacht dat **hinderbeleving aannemelijk** is. Streefwaarde A1 wordt overschreden. Omdat geen gegevens van herhalingspassages beschikbaar zijn, is geen oordeel ten aanzien van streefwaarde A3 te maken. Qua perceptie worden de trillingen als "matige hinder" omschreven.

Opgemerkt wordt dat niet gemeten is aan de draagconstructie dan wel op vloeren. De nieuwbouw is er immers nog niet. De meetdata is beschouwd als zijnde dat wel gemeten is aan de draagconstructie c.q. op de vloer.

Opgemerkt wordt dat op locatie 2 (Toren 3) volgend uit een vergelijking van de meetresultaten van afgelopen mei 2015 met de meetresultaten van juni 2015, er in mei 2015 geen overschrijdingen optreden en in juni wel. Dit is **niet** te verklaren.

Invloedsgebied
Op de meetdata zijn analyses uitgevoerd, waarbij de meetwaarden "gefit" zijn op prognoselijnen. De rekenmethodiek zoals deze is opgenomen in het handboek CUR 166 Damwandconstructie is hierbij gehanteerd. De afgeleide meetwaarden voor de $v_{eff\ max}$ zijn versus de afstand geanalyseerd. Door in de analyses / prognoses de grens- c.q. streefwaarde in te voeren, volgt een grootte van een invloedsgebied, waarbinnen overschrijdingen aannemelijk zijn.

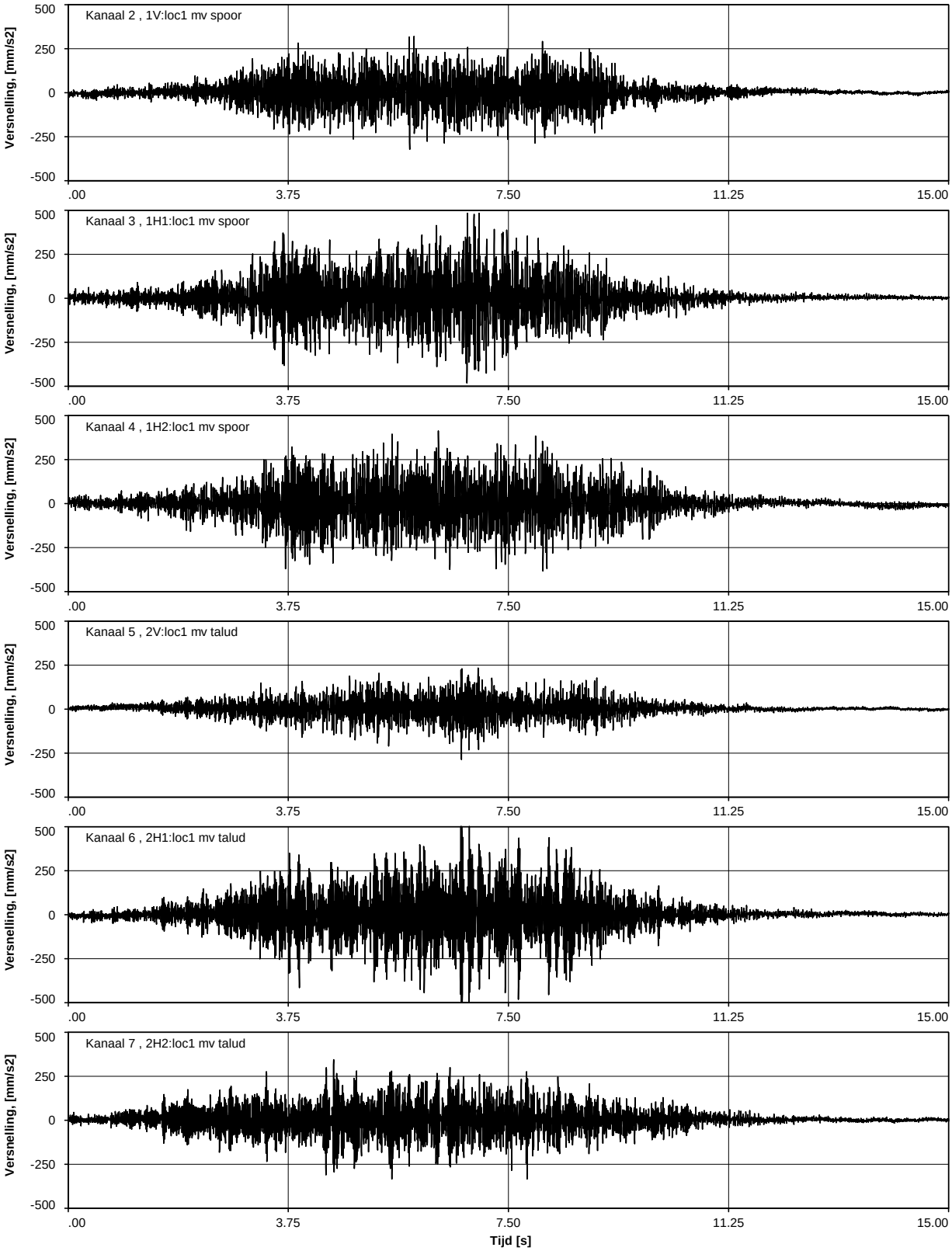
Verwacht wordt dat op locatie 1 (Toren 1) en locatie 3 (Toren 4) vanaf een afstand van 25 m (ten opzichte van het hek naast het spoor) geen overschrijdingen van de streefwaarde A1 meer te verwachten zijn. Op locatie 2 (nabij Toren 3) is deze afstand 35 m.

De toekomstige afstand van de draagconstructie (gevel) staat op kortere afstand dan genoemde grootte van het invloedsgebied.

Trilingsreducerende maatregel, Trillingscherm
Om de optredende trillingsintensiteiten te reduceren zijn verscheidene reducerende maatregelen toepasbaar. Deze variëren van maatregelen bij de bron tot bij de nieuwbouw tot in de grond. Omdat bij de bron (spoorbaanlichaam) geen maatregelen mogelijk zijn, is dit hier geen optie. Maatregelen in het medium (trillingscherm) dan wel in de nieuwbouw kunnen een optie zijn, waarbij verwacht wordt dat de maatregel trillingscherm in het medium economisch gezien het aantrekkelijkst is. Geadviseerd is in het medium ter hoogte van de draagconstructie / gevel een trillingscherm toe te passen. Gedacht wordt aan een polystyreen scherm (piepschuim PS) van enige afmetingen (dikte en diepte) dat direct naast de fundering aangebracht wordt.

Ter dimensionering van het trillingscherm in de grond is voor locatie 1 een benodigd reductie percentage van 52% afgeleid. Voor locatie 2 is een reductie van 71% en voor locatie 3 een reductie van 70% benodigd.

De dimensionering van het trillingscherm is uitgevoerd met het eindige elementen programma PLAXIS. Separaat zijn de berekeningsresultaten gerapporteerd (rapport 1015-0192-001.R02). Als input voor de berekeningen is een van een totaal trillingssignaal van een metropassage een representatief deel als belasting op het model opgelegd. Het totale signaal bevat alle wielpassages van een enkele metro.

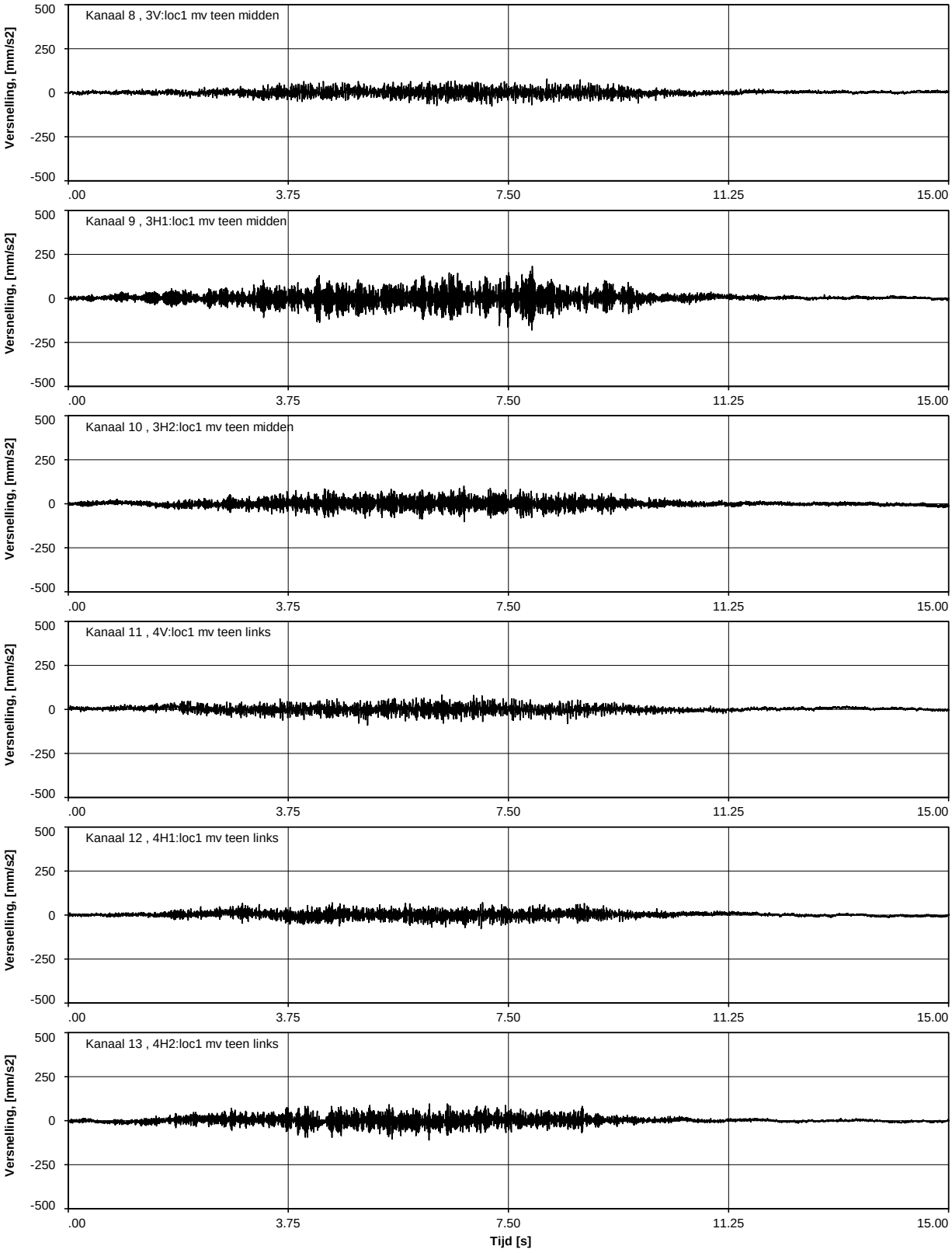


Bestand: loc1metrod.005
Opmerkingen: metro--> D
Datum: 17/06/15 09:07

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 1-A

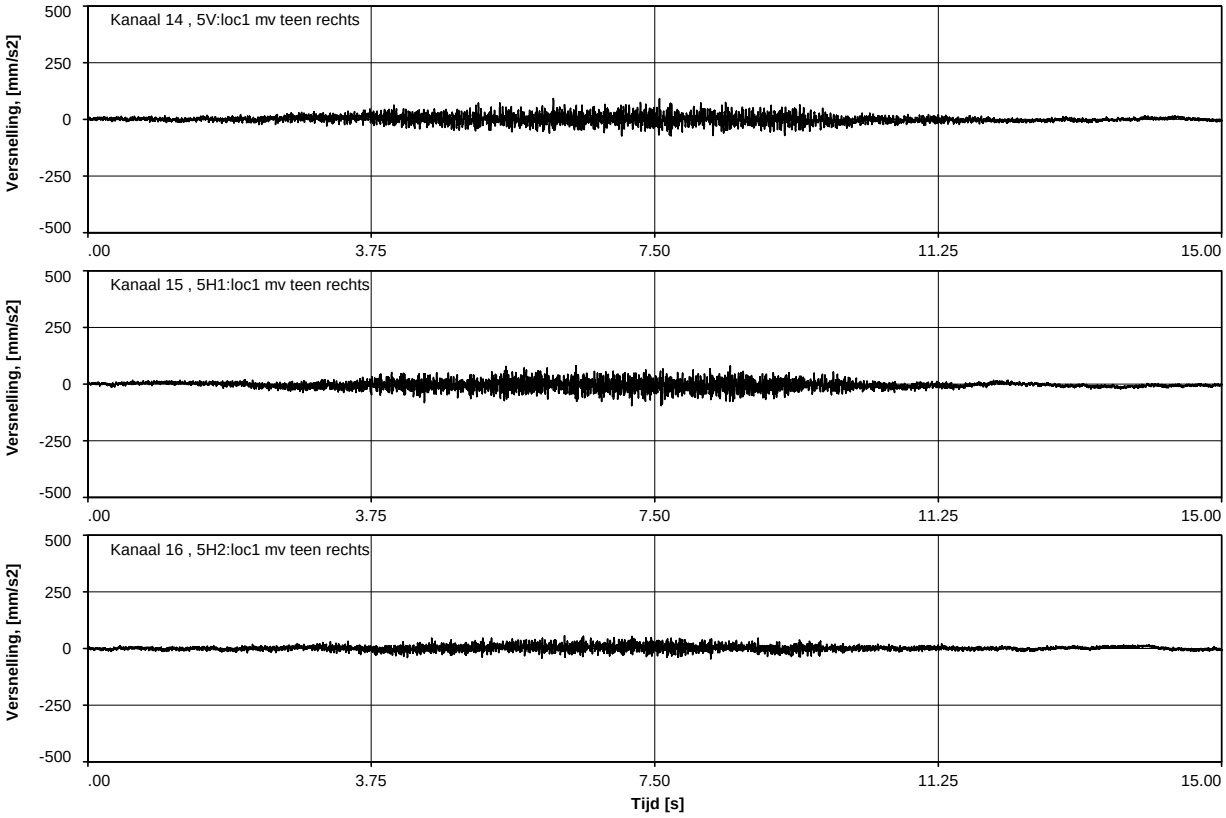


Bestand: loc1metrod.005
Opmerkingen: metro--> D
Datum: 17/06/15 09:07

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 1-B

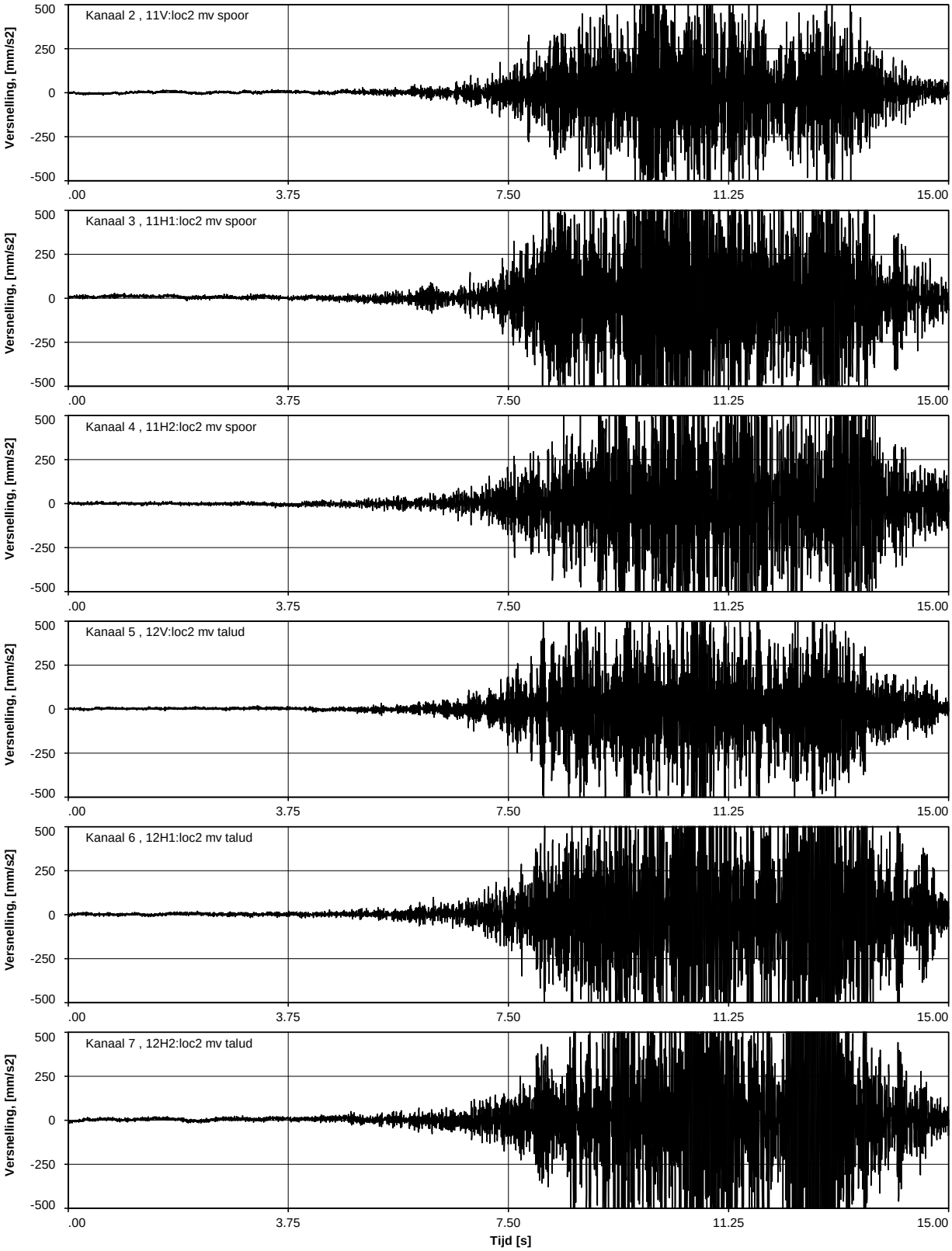


Bestand: loc1metrod.005
Opmerkingen: metro--> D
Datum: 17/06/15 09:07

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 1-C

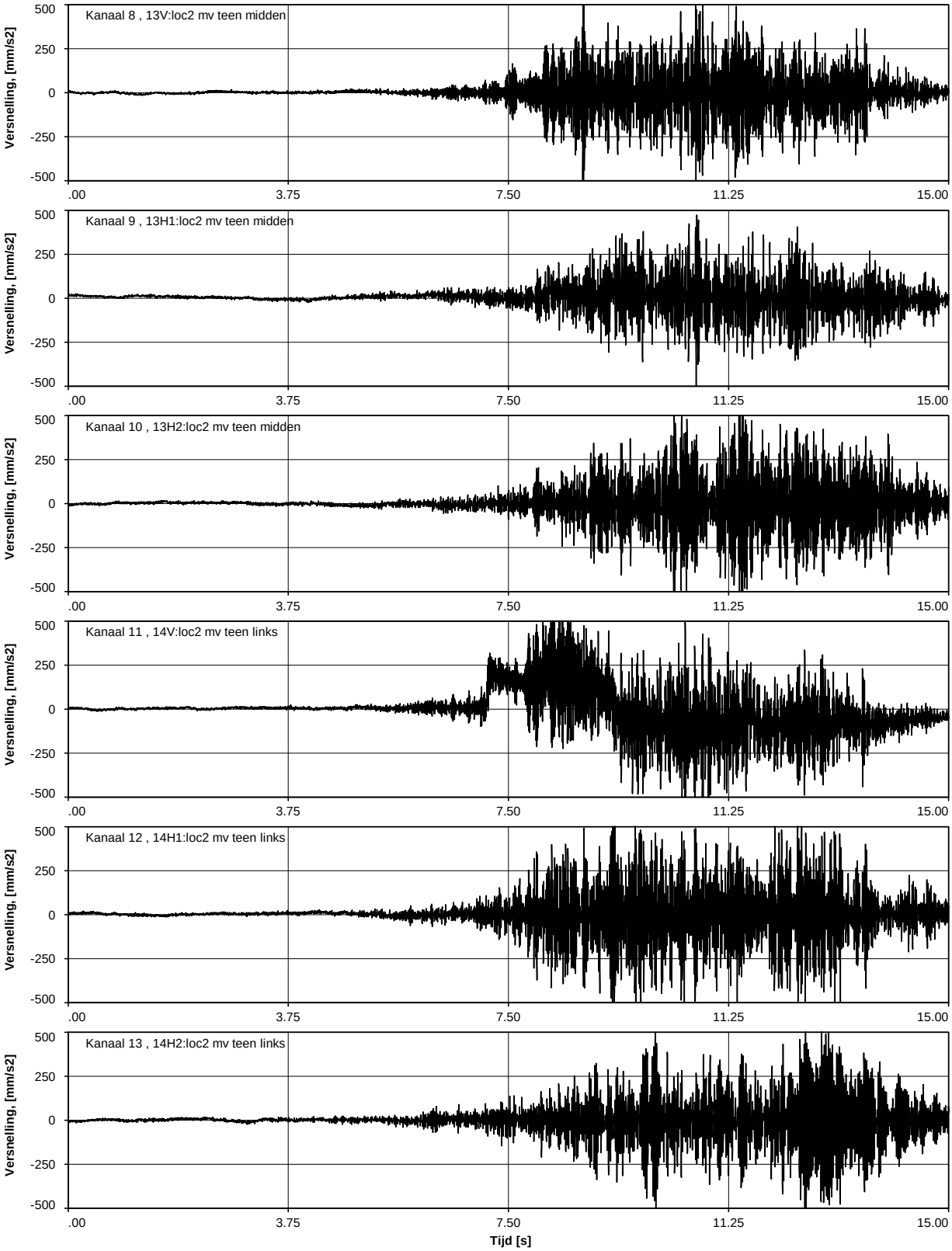


Bestand: loc2metrod.008
Opmerkingen: loc2 metro --> d
Datum: 17/06/15 12:49

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 2-A

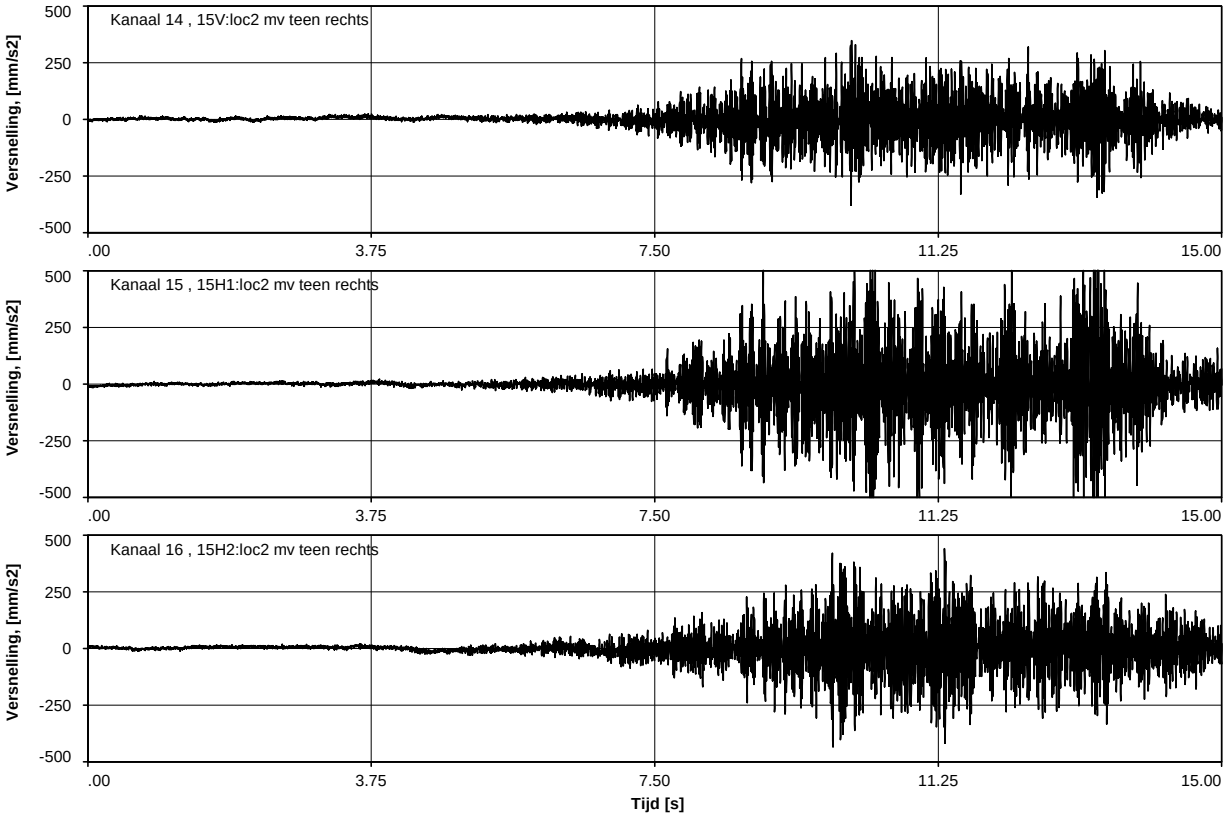


Bestand: loc2metrod.008
Opmerkingen: loc2 metro --> d
Datum: 17/06/15 12:49

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 2-B

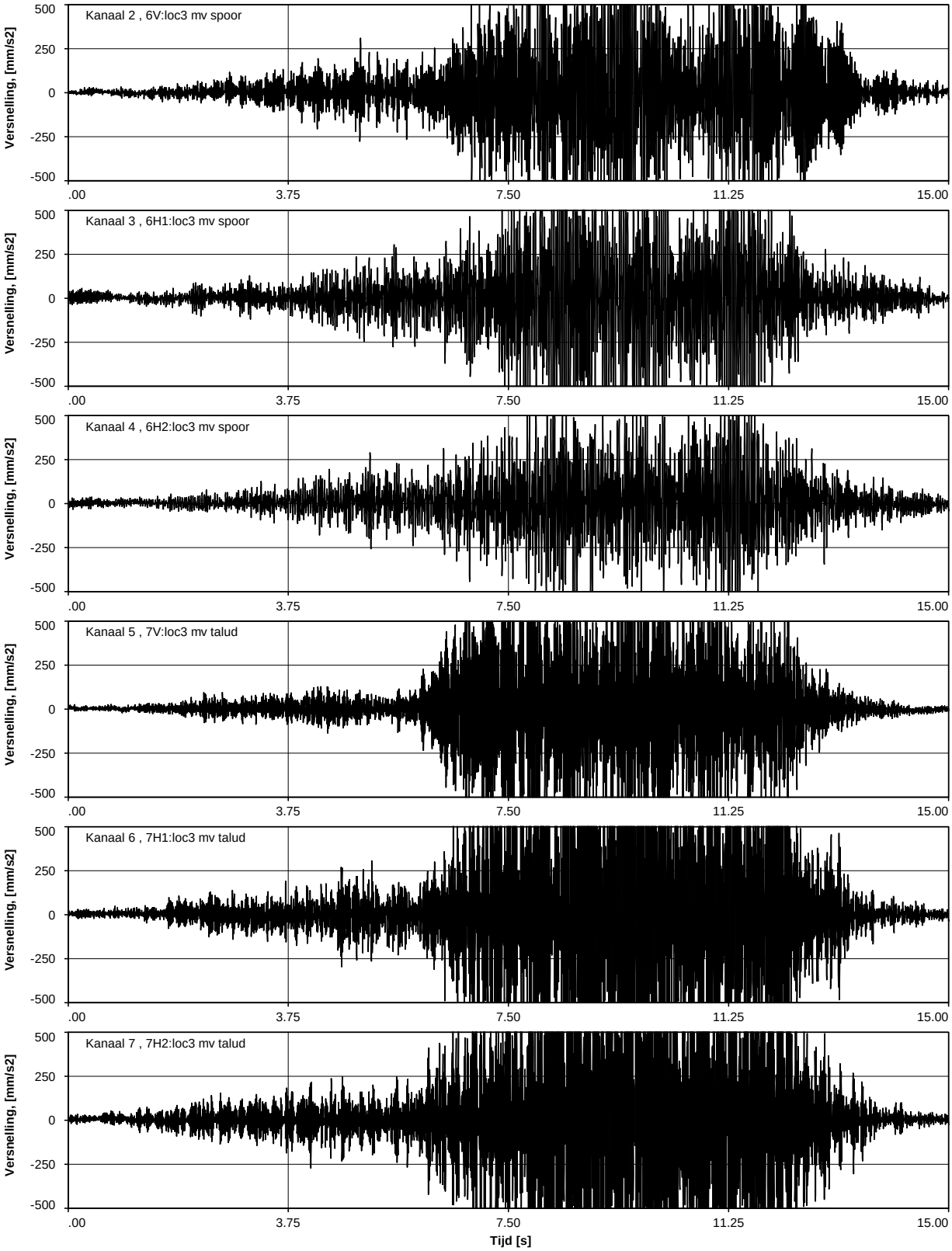


Bestand: loc2metrod.008
Opmerkingen: loc2 metro --> d
Datum: 17/06/15 12:49

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 2-C

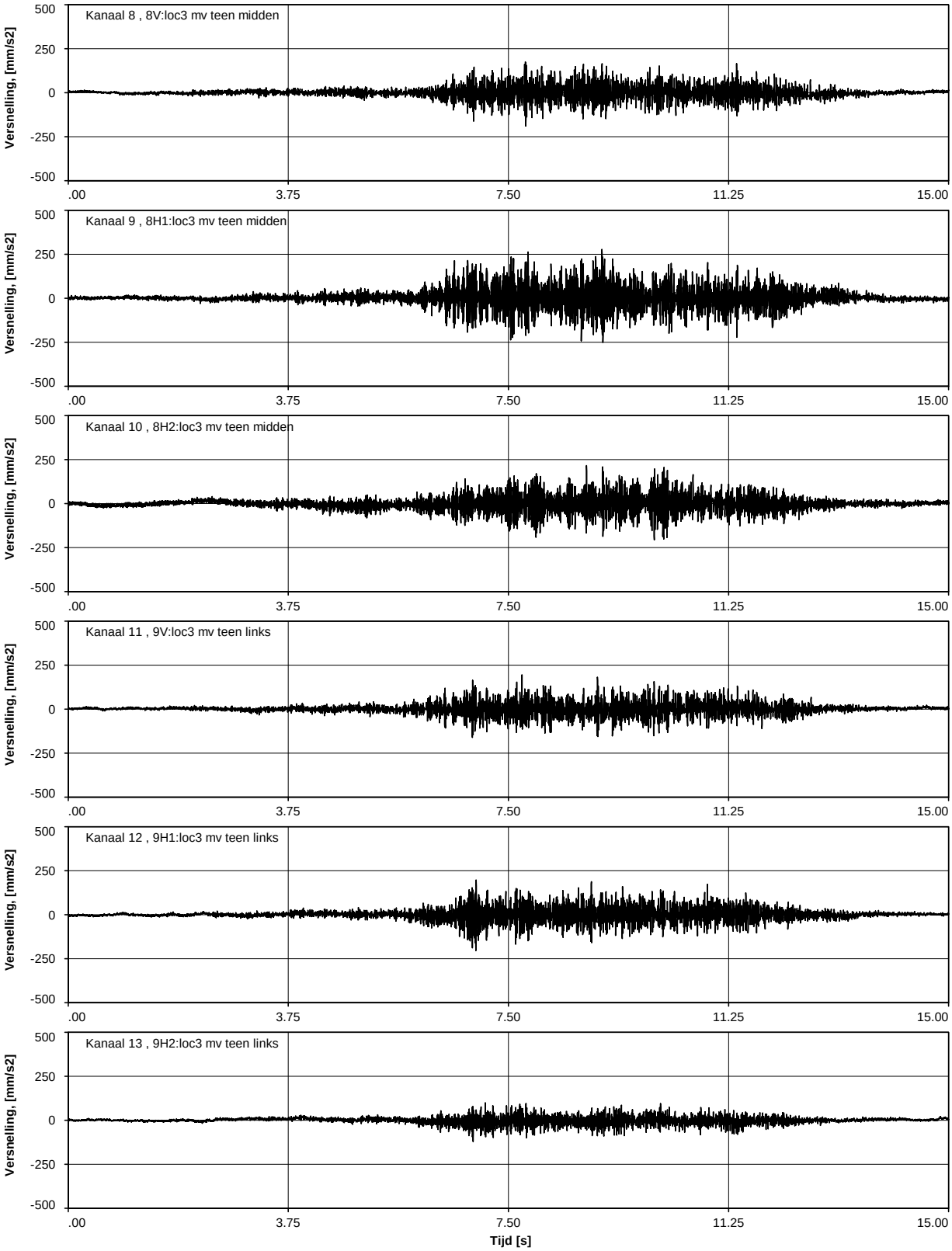


Bestand: loc3metrod.005
Opmerkingen: metro-->D
Datum: 17/06/15 10:57

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 3-A

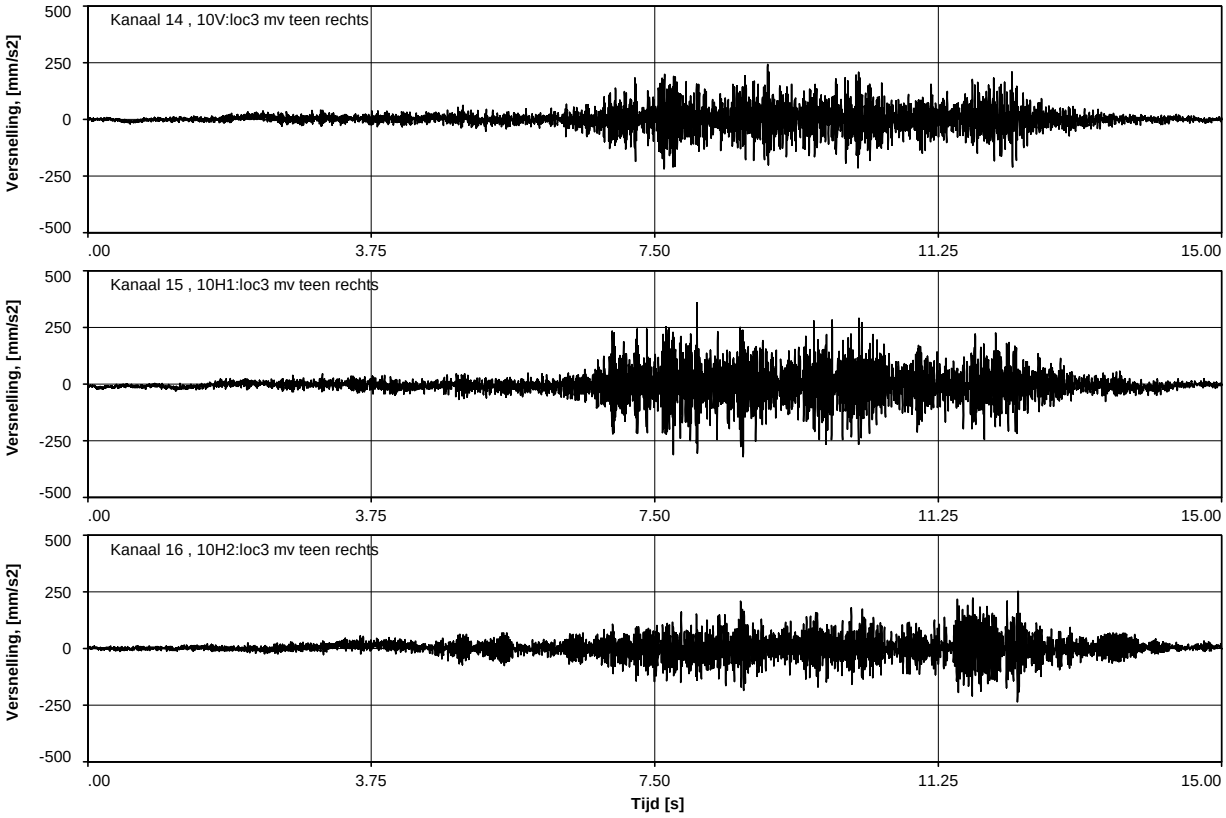


Bestand: loc3metrod.005
Opmerkingen: metro-->D
Datum: 17/06/15 10:57

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 3-B

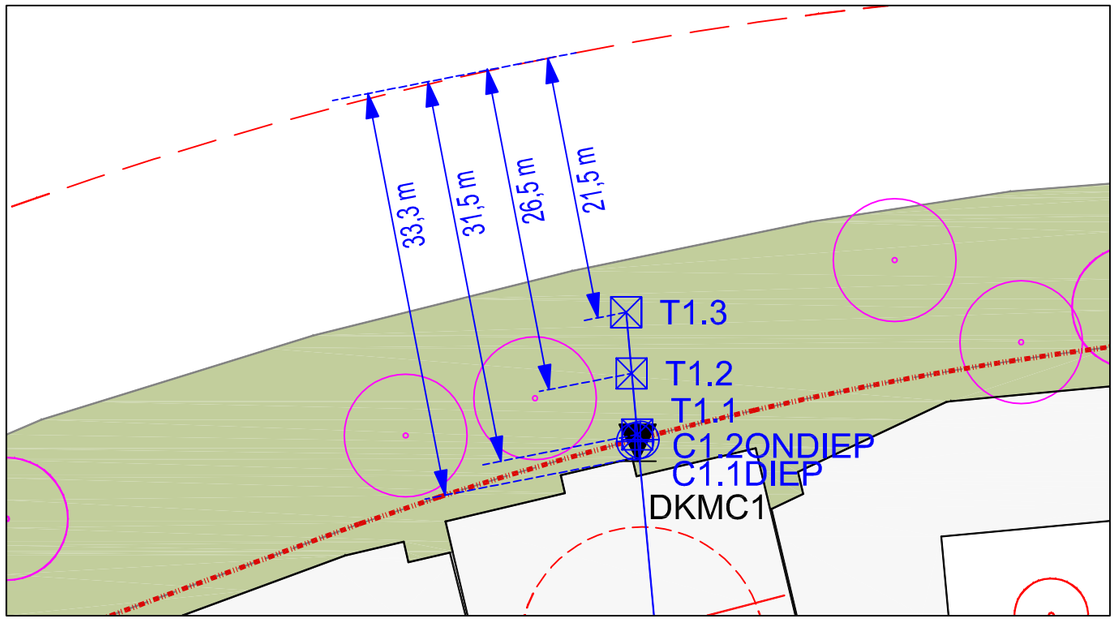


Bestand: loc3metrod.005
Opmerkingen: metro-->D
Datum: 17/06/15 10:57

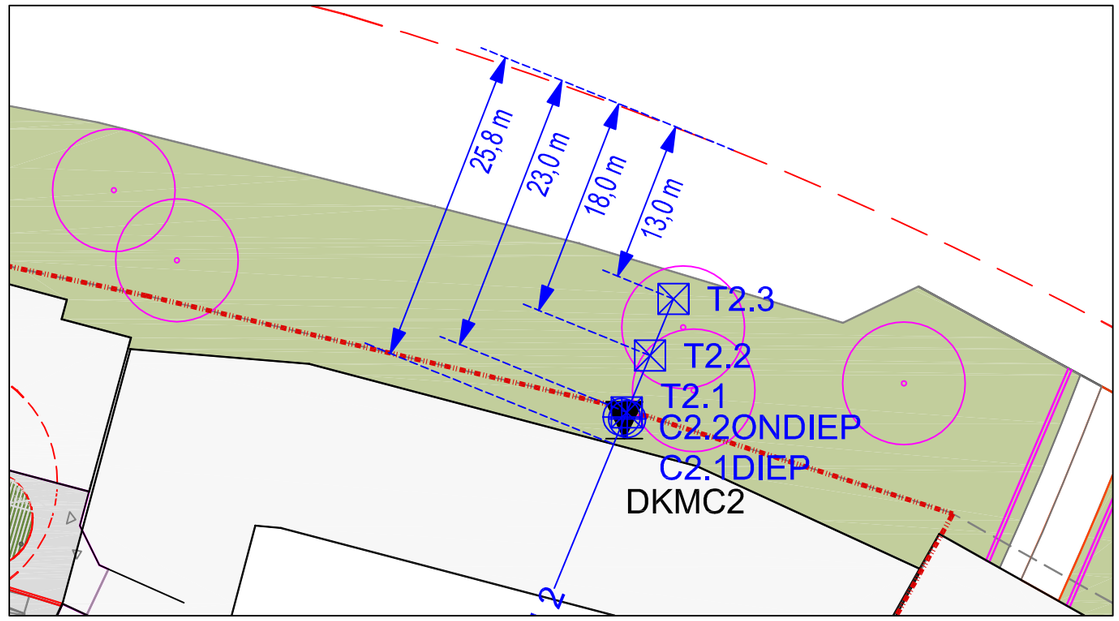
GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

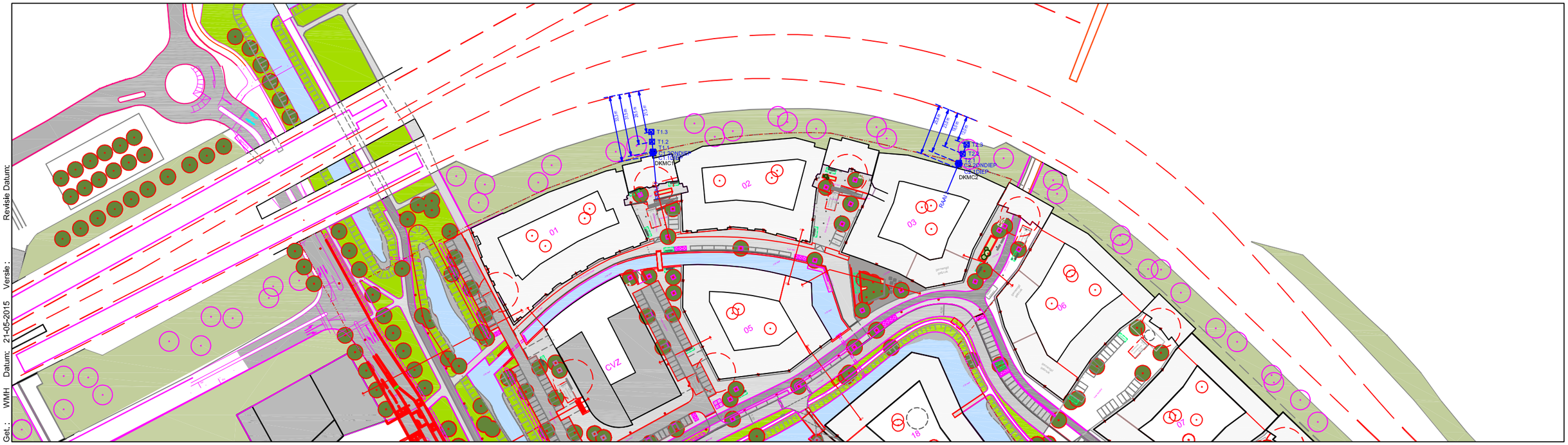
Eekholt 4, locatie 1 tm 3 representatieve passages — Opdr.: 1015-0192-001

Diemen — Bijl.: 3-C



Schaal 1:500





0 20.0 40.0 60.0 80.0 100.0 m

Schaal 1 : 2000

SITUATIE MET MEETPUNTEN

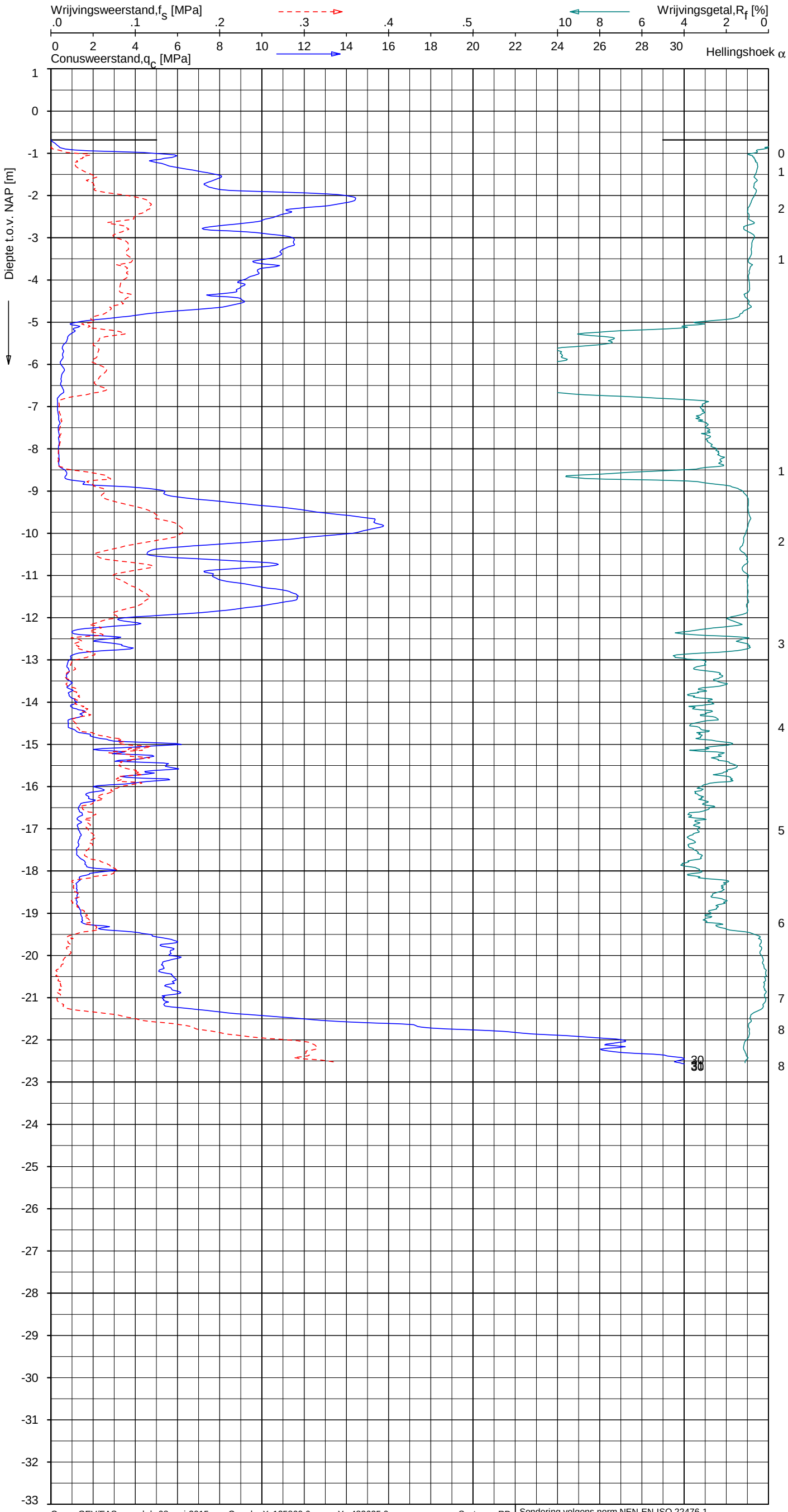
Trillingsmeting te Diemen

Opdr. : 1015-192-000

Bijl. : 1

Get.: WMH Datum: 21-05-2015 Versie: Revisie Datum:

P:\10\1015-0192-000131_Advies_geotechniek\10_Basisgegevens\1158.VO_PLN_005_fase 1+2 Bijlage 1.dwg



Indicatieve bodembeschrijving

Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

- ZAND tot ZAND, grindig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND tot ZAND, grindig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- KLEI, siltig / LEEM
- VEEN
- VEEN
- VEEN, organisch materiaal
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- VEEN
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, siltig / LEEM
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig

Opg. : GEV/FAS d.d. 08-mei-2015 Coord.: X=125860.6 m Y= 482625.0 m Systeem: RD
Get. : VALKF d.d. 18-mei-2015 MV = NAP -0.68 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2042

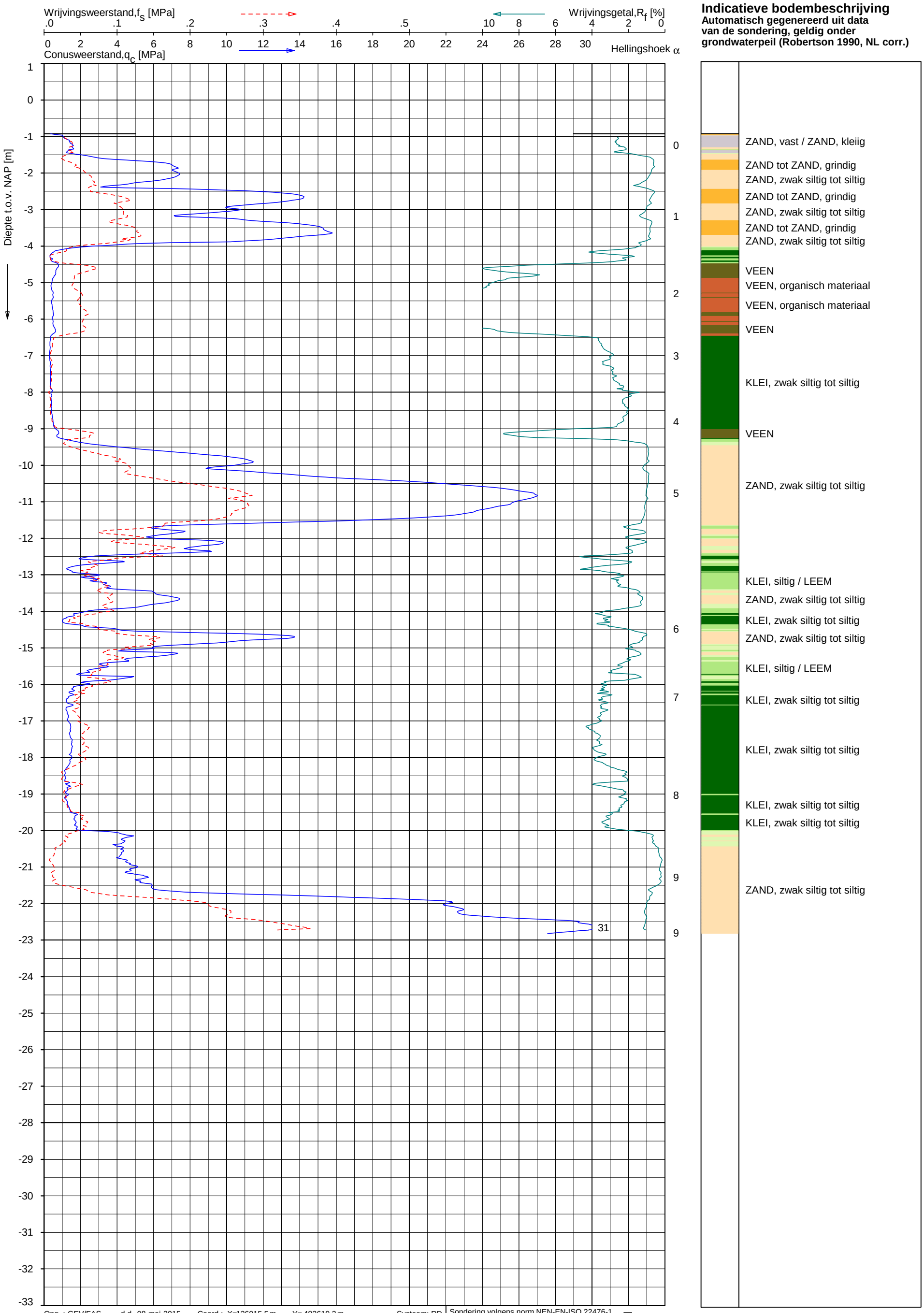
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: A_c = 1510 mm^2; A_s = 19895mm^2

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

TRILLINGSMETING TE DIEMEN

Opdr. 1015-0192-000
Sond. DKMC1

UNIPLOT 05.27.nl / QcFsClass-R3.cmd / 2015-05-18 12:11:20



Indicatieve bodembeschrijving

Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

- ZAND, vast / ZAND, kleiig
- ZAND tot ZAND, grindig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND tot ZAND, grindig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND tot ZAND, grindig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- VEEN
- VEEN, organisch materiaal
- VEEN, organisch materiaal
- VEEN
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- VEEN
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- KLEI, siltig / LEEM
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- KLEI, siltig / LEEM
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig

Opg. : GEV/FAS	d.d. 08-mei-2015	Coord.: X=126015.5 m	Y= 482619.3 m	Systeem: RD	Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : VALKF	d.d. 18-mei-2015	MV = NAP -0.93 m	Conus: CP15-CF75SN2	1701-2042	Toepassingsklasse 2. Test type TE1
					Conustype: A_c = 1510 mm^2; A_s = 19895mm^2

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

TRILLINGSMETING TE DIEMEN

Opdr. 1015-0192-000
Sond. DKMC2

UNIPLOT 05.27.nl / QcFsClass-R3.cmd / 2015-05-18 12:11:23

Trillingsintensiteiten worden beoordeeld en getoetst aan de vigerende SBR meet- en beoordelingsrichtlijnen. De Raad van State erkent de richtlijnen als uitgangspunt voor jurisprudentie. Door de Stichting Bouw Research zijn drie richtlijnen uitgegeven:

- Richtlijn A "*Schade aan gebouwen*"
- Richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*"
- Richtlijn C *"Storing aan apparatuur"*

Trillingen van objecten en gebouwen worden getoetst aan de SBR richtlijn A. De beoordeling van de invloed van de trillingssterkte valt in het frequentie bereik van 1 tot 100 Hz.

Gesteld is dat de kans op constructieve schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein is indien de gecorrigeerde snelheid van de meting (v_d) kleiner is dan de rekenwaarde van de grenswaarde (v_{reken}).

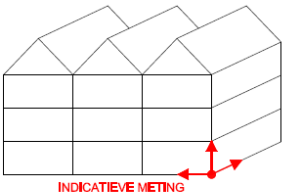
De kans op constructieve schade is aanvaardbaar klein als geldt:

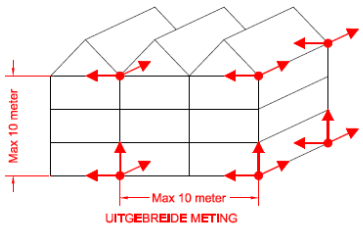
$$V_{d\ gemeten} < V_{reken\ SBR}$$

Soort meting

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Deze is afhankelijk van de uitgebreidheid van de meting (het aantal meetpuntlocaties en meetrichtingen).

- Een indicatieve meting bestaat uit 1 meetpunt aan de draagconstructie, per object
- Een beperkte meting bevat 1 meetpunt aan de draagconstructie en 1 meetpunt op de hoogste verdieping, per object
- een uitgebreide meting bestaat uit meerdere meetpunten verspreid over de draagconstructie en de verdiepingen (op "stijve" locaties), per object.





Afhankelijk van het type meting wordt een veiligheidsfactor toegepast.

Veiligheidsfactor voor type meting

Soort meting	factor	Omschrijving meting
Indicatief	1,6	1 meetpunt (x, y, z) aan draagconstructie
Beperkt	1,4	2 meetpunten (x,y,z en x, y) aan draagconstructie en circa 10 m boven mp aan draagconstructie
Uitgebreid	1,0	Meerdere meetpunten in stijve punten van constructie

$$V_{d\ gemeten} = V_{top\ gemeten} * f_{meting}$$

BIJLAGE: BEOORDELING VAN TRILLINGEN

Grenswaarde en V_{reken}
De grenswaarde voor een trilling wordt uitgedrukt in mm/s en zijn afhankelijk van de soort trillingsbron tezamen met de categorie indeling van het object.

De objecten en gebouwen zijn ingedeeld in drie verschillende categorieën. Voor objecten, gebouwen en funderingen is de $V_{grenswaarde}$ afhankelijk van de trillingsfrequentie. De onderverdeling in de categorieën is als volgt:

1. In goede staat verkerende onderdelen (van de draagconstructie) van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout
2. In goede staat verkerende onderdelen (van de draagconstructie) van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen
3. Onderdelen van oude en/ of monumentale panden met grote cultuurhistorische waarde en/ of in slechte staat verkerende gebouwen bestaande uit metselwerk

SBR richtlijn A maakt onderscheid in verschillende type trillingsbronnen variërend tussen incidenteel voorkomende kortdurende trillingen, herhaald voorkomende kortdurende trillingen of continue voorkomende trillingen. Afhankelijk van het soort trillingsbron wordt de volgende bronfactor gehanteerd.

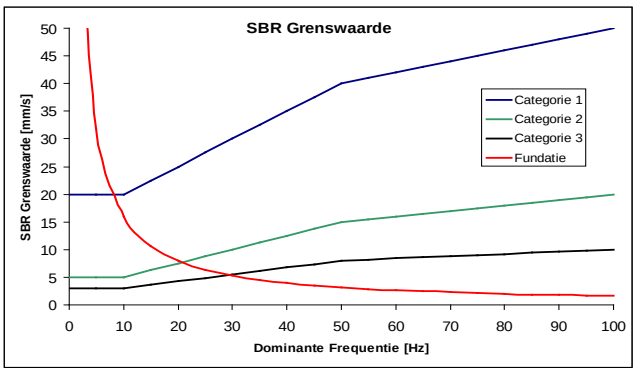
Partiële veiligheidsfactor voor type trillingsbron

Soort	f_{Bron}	bron
Kortdurend	1,0	Eenmalig explosies
Herhaald kortdurend	1,5	Heiwerk Verkeer Grondwerk
Continu	2,5	Trillen Machines

In de onderstaande tabel zijn de grenswaarden geldig van 0 Hz t/m 10 Hz aangegeven. De grenswaarden zijn aangegeven per categorie en type trilling.

		Kortdurend trillingen 1.0			Herhaald kortdurende trillingen 1.5			Continu trillingen 2.5		
		Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 1	Cat 2	Cat 3	Cat 1	Cat 2	Cat 3
Indicatief	1.6	12.5	3.1	1.9	8.3	2.1	1.3	5.0	1.3	0.8
Beperkt	1.4	14.3	3.6	2.1	9.5	2.4	1.4	5.7	1.4	0.9
Uitgebreid	1.0	20.0	5.0	3.0	13.3	3.3	2.0	8.0	2.0	1.2
hoge verdieping		40.0	15.0	8.0	26.7	10.0	5.3	16.0	6.0	3.2

In onderstaande voorbeeldgrafiek wordt de relatie tussen de karakteristieke waarden van de grenswaarde en frequentie op de draagconstructie en fundering grafisch weergegeven. Indien de meetwaarden boven de getrokken lijn liggen is er sprake van overschrijding van de grenswaarde.



De rekenwaarde van de grenswaarde (v_{reken}) is de karakteristieke grenswaarde gedeeld door de bron factor (f_{Bron}).

$$V_{reken\ SBR} = \frac{V_{grenswaarde}}{f_{Bron}}$$

Streefwaarden conform SBR - richtlijn B

Conform SBR richtlijn B is de streefwaarde afhankelijk van:

- de functie van een ruimte in een gebouw;
- de omstandigheden van de trillingsbron;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Functie van een ruimte

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in functies als gezondheidszorg, wonen, kantoor en onderwijs, bijeenkomstgebouwen (bv bioscoop) en kritische werkruimten (bv laboratoria).

Omstandigheid van de trillingsbron

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines), die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer), die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden) en die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies).

Tijdstip van voorkomen op de dag

In SBR richtlijn B wordt onderscheid gemaakt in een dag- (van 07:00 uur tot 19:00 uur), avond- (van 19:00 uur tot 23:00 uur) en een nachtperiode (van 23:00 uur tot 07:00 uur).

Streefwaarden

De streefwaarden zijn erop gericht hinderbeleving te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van de streefwaarden dient aanleiding te zijn tot overleg tussen betrokken partijen. Er is geen sprake van harde grenzen.

De streefwaarden worden aangegeven door de waarden A1, A2 en A3 en zijn dimensieloos. Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien de maximale trillingswaarde in de ruimte

gemeten op de vloer kleiner is dan A1, of indien voldaan wordt aan de maximale trillingswaarde in de ruimte op de vloer kleiner is dan A2 waarbij de waarde van de trillingssterkte over de beoordelingsperiode kleiner is dan A3.

Modellering conform CUR 166
De modellering en het opstellen van de trillingsrisicoanalyse vindt plaats op basis van CUR - publicatie 166 '*Damwandconstructies*". In genoemde CUR - publicatie wordt onderscheid gemaakt in verschillende bodemkarakteristieken en verschillende palen en planken alsmede de verschillende wijzen van inbrengen.

Wanneer een paal of plank in een grondmassief doordringt, veroorzaakt deze langs en aan de onderzijde van de paal plastische en elastische vervormingen. Door de snelle introductie van deze vervormingen ontstaan golfverschijnselen in de grond. De plastische golfverschijnselen blijven beperkt tot een gebied rondom de paal/plankpunt met een doorsnede van ongeveer 1,5 tot 2,5 maal de equivalente paal/plankdiameter.

Voor de trillingen in de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Wanneer de paal/plank enige meters diep in de grond is doorgedrongen, ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten. Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk, dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat. Gezien de complexiteit van dit interferentiepatroon kan de bodembeweging slechts in benaderende zin beschreven worden.

De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen die door installatie van de palen / planken aan de bodem worden afgegeven zijn:
- eigenschappen van de ondergrond;
- afmetingen van de paal/plank;
- energie / slagkracht die nodig is om de paal / plank op diepte te krijgen.

Bronsterkte
CUR 166 hanteert voor Nederland enkele karakteristieke bodemprofielen. Voor deze karakteristieke bodemprofielen is voor de verschillende wijzen van inbrengen van palen en planken, een bronintensiteit gegeven op een referentie afstand van 5 m tot de bron. De bronsterkten zijn gerelateerd aan een lognormaal verdeling. In de analyse wordt gebruik gemaakt van een normale verdeling. Op basis van praktijkervaringen, waarbij prognoses met metingen vergeleken zijn, is gebleken dat prognose waarden, waarbij een normale verdeling is gehanteerd, beter aansluit op de meetwaarden.

Voor de karakteristieke bodemprofielen zijn indicatiewaarden gegeven voor de demping, de referentiesnelheid (u_0) op 5 m en de variatiecoëfficiënt van de trillingsbron voor het in- en uitrillen van damwandplanken of het heien van stalen buispalen. Voor de meeste situaties zijn geen indicatiewaarden gegeven en dient de referentiesnelheid geschat te worden. Voor het trillingsniveau zijn het noodzakelijke inheiniveau en de grondopbouw van grotere invloed dan het paal/planktype of –lengte. Deze factoren worden in rekening gebracht.

Bepaling bronsterkte heien
De referentie trillingsintensiteit wordt bepaald met een empirische formule, welke afhankelijk is van het vermogen van het heiblok:

$$v_{o,(x=5m)} = u_0 \cdot \sqrt{\psi * E}$$

Waarin:

$v_{0(x=5m)}$	trillingsnelheid op referentieafstand van 5 meter	[mm/s];
u_0	referentie trillingsnelheid	[mm/s];
E	inhei-energieniveau	[Nm];
ψ	stootrendement	[-].

Op basis van deze relatie is de bronsterkte van de trillingssnelheid bepaald.

Bepaling bronsterkte trillen
De bronsterkte van het intrillen van stalen damwandelementen wordt bepaald met de volgende empirische relatie:

$$v_0(x = 5m) = u_0 + 0{,}002(F - 350)$$

Waarin:

v_0	bronsterkte van de trillingsintensiteit op 5 m afstand van de bron	[mm/s];
u_0	referentie trillingsnelheid op 5 m afstand	[mm/s];
F	slagkracht trilblok	[kN].

Bij uittrillen wordt voor de referentiesnelheid op 5 m afstand 1,5 maal de waarde voor intrillen gehanteerd.

Trillingsoverdracht in de ondergrond
Tijdens de installatie van de palen / planken wordt de omringende grond in beweging gebracht. Hierdoor ontstaan trillingen. Deze trillingen planten zich als golven door de ondergrond voort. Te onderscheiden zijn compressie-, afschuif- en Rayleigh-golven.

Bij compressiegolven (drukgolven) bewegen de gronddeeltjes zich in dezelfde richting als de voortplantingsrichting van de drukgolf. Ten gevolge van de afschuifgolf worden de gronddeeltjes zijdelings bewogen, loodrecht op de voortplantingsrichting van de golf. Aangezien zowel de compressie- als afschuifgolven zich bolvormig voortplanten wordt de trillingsenergie over een steeds groter volume verdeeld en zal dus vrij snel afnemen.

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsenergie op en kenmerken zich door een geringe dieptewerking, waardoor deze golven op grotere afstand van de bron nog steeds een behoorlijke trillingssterkte kunnen bezitten.

De afname van de amplitude van de golven wordt veroorzaakt door geometrische demping. Tevens vertoont de grond door inwendige wrijving een dissipatief gedrag (energieverlies) bij vervormingen, wat materiaaldemping wordt genoemd. Dit energieverlies wordt gemodelleerd door hysteretische demping.

Indien de geometrische verzwakking en de materiaaldemping worden samengenomen kan met onderstaande relatie de amplitude van een trilling op een afstand x van de bron bepaald worden:

$$v(x) = v_0 \sqrt{\frac{x_0}{x}}\, e^{-\alpha(x-x_0)}$$

Waarin:

v(x)	trillingssnelheid op afstand x van de bron [mm/s];
v_0	bronsterkte van de trillingsintensiteit op 5 m afstand van de bron [mm/s];
x_0	referentieafstand van 5 m tot de bron [m];
x	afstand tot de bron [m];
α	karakteristieke dempingsconstante ten gevolge van materiaaldemping [m^{-1}].

Verwijzend naar CUR-166 wordt in de tabellen een indicatieve waarde voor de dempingsconstante α gepresenteerd van 0,00 à 0,03 m^{-1}. Afhankelijk van de grootte van de golfsnelheden (oppervlakte golf) is een nadere indicatie voor de karakteristieke bodemdemping α te bepalen met:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \zeta}{c}$$

Waarin:

f	dominante frequentie [Hz];
ζ	dempingsmaat als functie van de vervormingshoek [-];
c	voortplantingssnelheid van de trilling in de bodem [m/s].

Ter indicatie zijn in CUR 166 voor zand snelheden van 100 tot 200 m/s, voor klei snelheden van 50 tot 100 m/s en voor veen snelheden van 75 tot 125 m/s aangegeven.

Trillingsoverdracht naar bebouwing

De optredende trillingen in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabij gelegen gebouwen. De overdracht vindt plaats op verschillende manieren, zoals:

- overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

Bij de overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. Voor de overdrachtsfunctie van de trillingsintensiteit van de ondergrond naar de fundering en draagconstructie is een schatting gemaakt, gebaseerd op CUR 166.

Trillingsoverdracht naar vloeren

Voor het bepalen van de hinderbeleving en bij beoordeling van trillingsgevoelige apparatuur zijn de trillingsintensiteiten op de vloeren van belang. Bij de overdracht van de trillingsintensiteit aan de draagconstructie naar die op vloeren en ondersteunende onderdelen treedt enig opslinger effect op. Het opslinger effect wordt met factoren in rekening gebracht. De maximale trillingsintensiteit in het midden van de vloer volgt door de trillingsintensiteit aan de draagconstructie te vermenigvuldigen met dynamische vergrotingsfactoren C_{fc}. De vergrotingsfactoren berusten grotendeels op praktijkervaringen.

Bij trillingshinder zijn de maximale voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff,max}$) en de, per 30 sec, periodieke waarde (v_{per}) op vloeren van belang.

Bepaling $v_{eff,max}$
De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheden op de vloeren wordt bepaald voor de toetsingsprocedure voor hinder voor personen in gebouwen. De effectieve waarde van de trillingssnelheid is dimensieloos. De waarde wordt bepaald door een omrekening van de maximale trillingssnelheid naar een gewogen momentane waarde voor de trillingssnelheid. Uit de gewogen momentane waarde kan de voortschrijdende effectieve waarde worden bepaald.

Binnen de gegeven beoordelingsperiode, dag, avond of nacht, is de maximale waarde $v_{eff,max}$ te bepalen als het maximum van de grootste effectieve waarden in de betreffende beoordelingsperiode. CUR-166 geeft als richtlijn voor het uit te voeren procedé, dat:

$v_{eff,max}$ [-] = 0,42 à 0,64 x v_{piek} [mm/s]

In geval van trillen van damwanden (continue trillingen) geldt een factor van 0,64. In geval van heien van palen (of passages van verkeer) geldt een factor van 0,42. Bij hinderbeleving is eerder het meest waarschijnlijke trillingsniveau (50% waarde) van toepassing dan de incidentele extreme waarde. Derhalve wordt de factor bij de verwachtingswaarden gebruikt.

Bepaling v_{per}
De effectieve waarde, v_{per}, van de maxima $v_{eff,max}$, wordt bepaald over het aantal tijds-intervallen van 30 seconden binnen een beoordelingsperiode, dag, avond of nacht [-]. Uit de gegeven aantallen per tijdsinterval en de maxima $v_{eff,max}$, voor ieder tijdsinterval van 30 sec wordt v_{per} bepaald volgens:

$$v_{per} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{n} v_{eff,\max,30,i}^{2}}$$

Waarin:
N aantal tijdsintervallen van 30 seconden, waarin gemeten is binnen een beoordelingsperiode [-]