



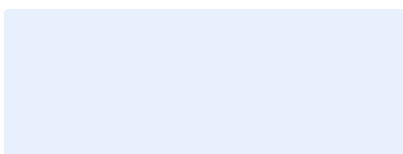
Trillingsmeting verkeer Dorpstraat / Hamerstraat Te Westervoort

Rapportage | Westervoort

1020-0016-000 | 24-07-2020

Versie: 1.1

Gemeente Westervoort



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingsmeting Dorpsstraat en Hamerstraat te Westervoort
Fugro-projectnr.	1020-0016-000
Fugro-documentnr.	1020-0016-000.R01/ASN
Versiestatus	Versie: 1.1
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Veurse Achterweg 10 Postbus 63 2260 AB Leidschendam T 070 31 11333

Klantgegevens

Klant	Gemeente Westervoort
Adres klant	Dorpsplein 1, 6931 CZ Westervoort
Contactpersoon klant	De heer J. Sikes
Klant	KPM civiel
Adres klant	Zuiderlaan 28D, 6905 AE Zevenaar
Contactpersoon klant	De heer W. Roders

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
0.1	08-06-20	Concept ter controle	Meetrapport, eerste concept ter controle	ASN	DWE	
1.0	18-06-20	Definitief	Meetrapport, definitief	ASN		
1.1	24-07-20	Definitief	Tekstuele opmerkingen	ASN		

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	ir A.J. Snethlage	Senior Consultant Geotechniek

Inhoudsopgave

Documentbeheer	ii
Documentgegevens	ii
Klantgegevens	ii
Versiebeheer	ii
Projectteam	ii
Inhoudsopgave	1
1. Inleiding	2
2. Projectomschrijving	4
2.1 Situatie	4
2.2 Mechanisme trillingen	5
2.2.1 Bron	7
2.2.2 Medium	10
2.2.3 Ontvanger	11
2.3 Uitgevoerde trillingsmeting	13
2.3.1 Meetuitvoering	13
2.3.2 Meetpuntlocaties	15
3. Beoordeling Trillingen	17
3.1 Toestingskader trillingen en toetsingsprocedure	17
3.2 SBR A grenswaarde	18
3.3 SBR B streefwaarde	20
3.4 Verwerking meetdata	21
4. Meetresultaten en toetsing	24
4.1 Dorpstraat 112	24
4.1.1 Meetresultaten	24
4.1.2 Toetsing SBR A	27
4.1.3 Toetsing SBR B	28
4.2 Hamerstraat 11	29
4.2.1 Meetresultaten	29
4.2.2 Toetsing SBR A	30
4.2.3 Toetsing SBR B	31
4.3 Resume beoordelingen SBR A en SBR B	32
5. Analyse trillingsoverdracht en effect maatregelen	33
5.1 Modellering VP-drempel en CUR 166	33

5.2	Trillingsreducerende maatregelen	35
5.3	VP-drempel	38
5.3.1	Mogelijke maatregelen	38
5.3.2	IJking	38
5.3.3	Resultaten VP-drempel	39
5.4	Prognosemodel CUR 166	40
5.4.1	Uitgangspunten	40
5.4.2	IJking en resultaten CUR166	41
5.5	Maatregel M3 Trillingscherm	43
6.	Conclusies en aanbevelingen	44
Bijlagen		0
A.	Toelichting modellering trillingen	1
B.	Toelichting SBR - Toetsingskader	5
C.	Trillingstechnische vaktermen	12
D.	Representatieve sonderingen	14
E.	Bouwkundige constructietekeningen	17
F.	Grafische weergave trilling registratie	19

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking

In opdracht van Gemeente Westervoort te Westervoort heeft Fugro Land NL een trillingenonderzoek uitgevoerd te Westervoort. Het onderzoek heeft bestaan uit bemande trillingsmetingen (uitgevoerd op 6 mei 2020, inzet versnellingenmeetsysteem) en een advies ten aanzien van reducerende maatregelen voor trillingen als gevolg van passerend verkeer.

Ten behoeve van dit project is eveneens grondonderzoek uitgevoerd (6 sonderingen en 10 handboringen), gerapporteerd onder 1020-0016-001.

Aanleiding

Na oplevering in 2016 van de reconstructie van de doorgaande weg zijn bij Gemeente Westervoort meldingen gedaan van overlast van trillingen door passerend verkeer. In april 2017 en december 2017 zijn onbemande trillingsmetingen uitgevoerd op een viertal locaties, waarbij automatisch registrerende meetsystemen zijn ingezet. Bij deze metingen is geconcludeerd dat de verkeerstrillingen tot hinder leiden en dat het risico op schade aanvaardbaar klein is.

In de periode 2015 - 2016 is de Dorpstraat o.a. voorzien van Permavoids, waarbij eveneens de wegbestrating is aangepakt. De wegsituatie is dusdanig dat met een aanvullende meting, en advies, (voorliggende rapportage) mogelijke trillingsreducerende maatregelen zijn bepaald. Bij de aanvullende meting heeft een door de gemeente ter beschikking gestelde vrachtauto de meetopstellingen diverse keren beladen en onbeladen gepasseerd.

Doelstelling

Het doel van de voorliggend trillingsonderzoek is het **nader inzicht** verkrijgen van de optredende trillingsintensiteiten ter plaatse van een tweetal woningen en de effecten analyseren van mogelijke trillingsreducerende maatregelen (advies). Dit op basis van de SBR -Meet- en beoordelingsrichtlijnen A 'Schade aan bouwwerken en richtlijn B 'Hinder voor personen. Beoordeling/toetsing op storing van apparatuur (SBR richtlijn C) is niet van toepassing.

In dit rapport wordt zowel ingegaan op de trillingsmeetresultaten (en de beoordeling / toetsing ervan) als de analyses van de meetdata en de effecten van mogelijke maatregelen. Het rapport bevat achtergrondgegevens voor beoordeling van trillingen, een korte projectbeschrijving, de meetresultaten, de toetsing van de meetresultaten en een samenvatting.

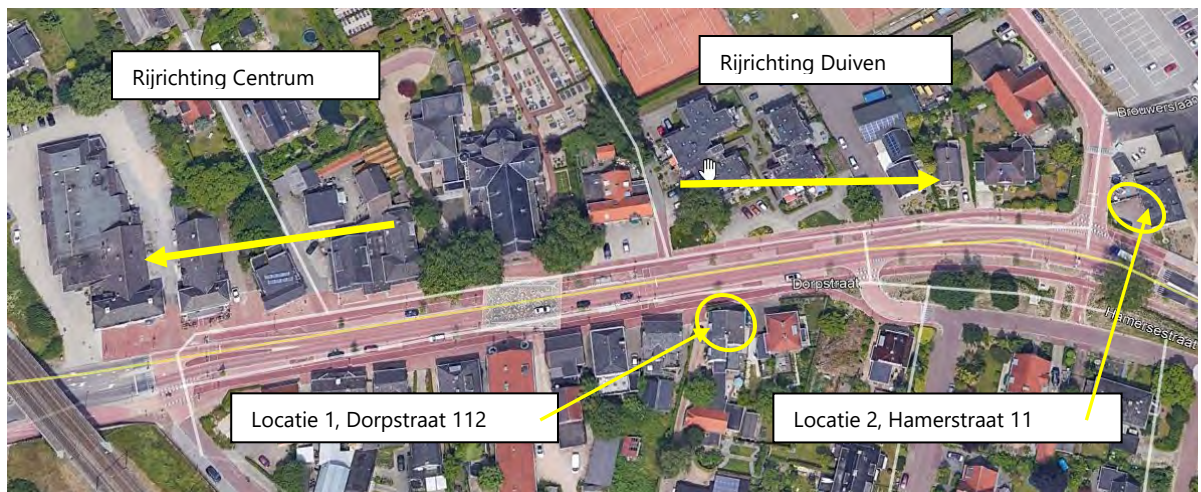
Vaktermen en definities

Ter verduidelijking is in bijlage C "Trillingstechnische vaktermen" een verklarende woordenlijst opgenomen voor de belangrijkste trillingstechnische vaktermen.

2. Projectomschrijving

2.1 Situatie

Door de Dorpstraat / Hamerstraat te Westervoort is sprake van een doorgaande verkeerssituatie. Trillingen door passerend verkeer kunnen hierdoor mogelijk tot overlast leiden bij bewoners. Met referentiemetingen uit april en december 2017 zijn op een viertal meetlocaties langs de Dorpstraat metingen uitgevoerd. De voorliggende aanvullende meting (d.d. 6 mei 2020) is op 2 locatie uitgevoerd (onderstaande figuur), Dorpstraat 112 en Hamerstraat 11.



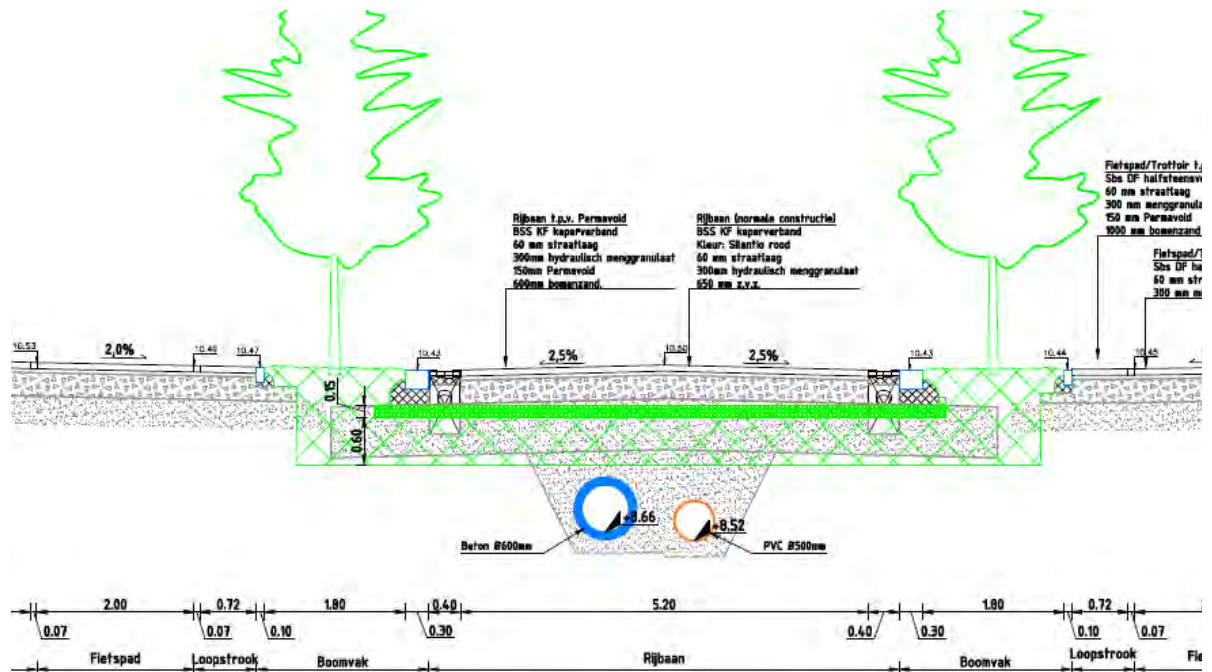
Figuur 2-1: Onderzoeklocaties: Dorpstraat 112 en Hamerstraat 11

Ter beoordeling op schade is gemeten aan de gevel en ter beoordeling op hinder is in pandig gemeten op een vloer. Om inzicht te krijgen in afdracht / overdracht van de trillingen zijn meetpunten op maaiveld ingericht.

Tijdens de meting zijn zowel signalen van regulier passerend verkeer als van een door de gemeente ter beschikking gestelde vrachtauto en grondkar opgeslagen.

Permavoids

Bij een in 2016 uitgevoerde renovatie van de doorgaande weg zijn onder de weg Permavoids aangebracht, waarmee een mogelijkheid gecreëerd is voor groeiplaatsverbetering voor bomen (tegen worteldruk). In onderstaande figuur is een principe doorsnede opgenomen.



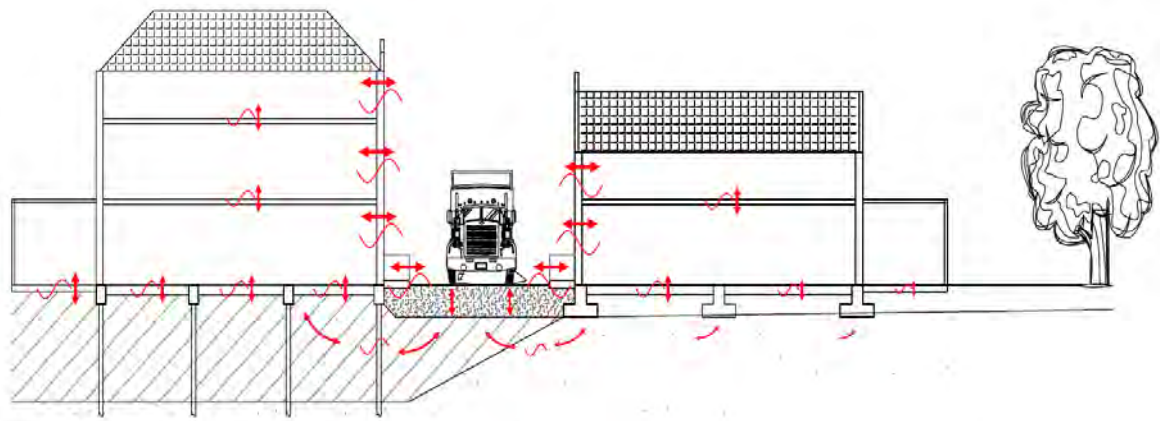
Figuur 2-2: Principe ontwerp Permavoids

Meetrapporten trillingen

- Trillingsmetingen Westervoort, VEP17.077 KPM Civiël, Vermeer expertise, d.d. 28 april 2017.
- Trillingsmetingen Westervoort, VEP17.077 KPM Civiël, Vermeer expertise, d.d. 12 december 2017.

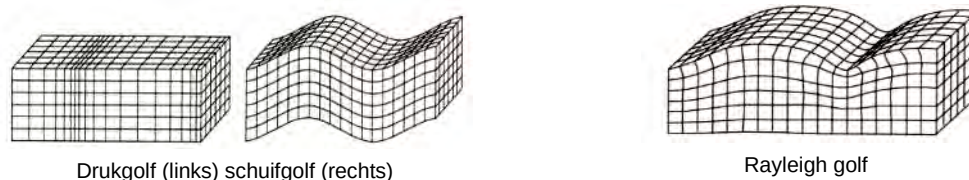
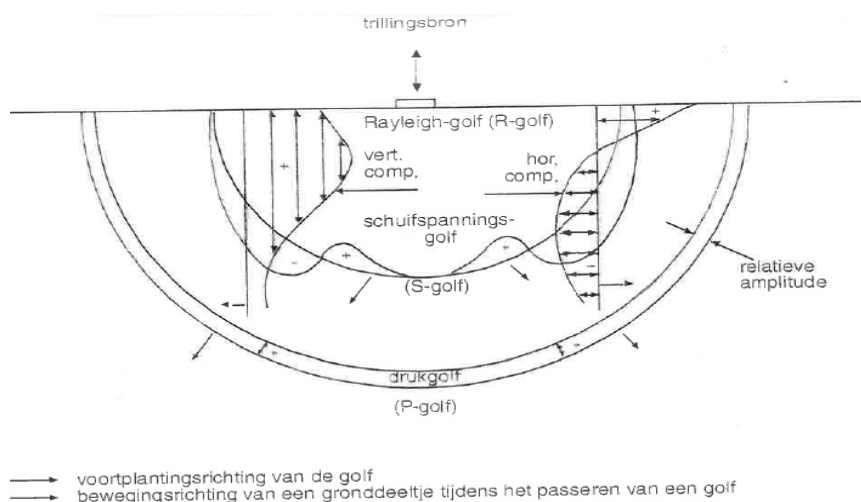
2.2 Mechanisme trillingen

Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron, een medium dat de trillingen doorgeeft (wegconstructie/grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze van funderen is dit op de funderingspalen of op de funderingselementen bij een fundering op staal. In onderstaande figuur is (schematisch) de interactie tussen trillingsbron en ontvanger weergegeven.



Figuur 2-3: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op palen (links) en op staal (rechts)

Wanneer verkeer passeert over een oneffenheid/ruw oppervlak/wegdek/drempel veroorzaakt deze trillingen in de wegconstructie en ondergrond. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur). Komen de golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillingsgolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2-4: Verspreiding van, en verschillende trillingsgolven

Ten gevolge van de afschuifgolven en compressiegolven aan het maaiveld ontstaan zogenaamde oppervlaktegolven (Rayleigh-golven). Deze golven nemen het grootste deel van de totale trillingsbronenergie 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 grootte van de (grond)beweging op het maaiveld wordt bepaald door de kracht van de bron, door de bodemopbouw en de afstand tot de bron. Doorgaans nemen de bewegingen, c.q. de maximale amplitude van de beweging (golf), af door materiaaldemping en bij toenemende afstand tot de bron (geometrische demping). De factoren die invloed hebben op de intensiteit van de trillingen bij de woning zijn:

- Eigenschappen van de ondergrond;
- Afmetingen / dimensies van de wegconstructie / vlakheid wegdek;
- Energie die het passerend verkeer in de ondergrond aanbrengt.

De optredende trillingen (bewegingen) in de ondergrond worden overgedragen naar de fundering van de nabij gelegen gebouwen / woningen. 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 overdracht van trillingen van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie treedt een zekere mate van demping op. 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 opslingerend effect op.

2.2.1 Bron

Door het passerende (zwaar)verkeer wordt een dynamische belasting (impuls of aanstoot) op de wegconstructie uitgeoefend. Van invloed op de grootte van de trilling (en beoordeling) zijn:

- het voertuigtype en de zwaarte ervan (soort voertuig);
- de rijsnelheid van het voertuig;
- de verkeersintensiteit, Het aantal passages van het voertuig (per beoordelingsperiode);
- wegconstructie met verkeersdrempel / -plateau.

Voertuigtype / regulier (zwaar) verkeer (d.d. 6 mei 2020)

Momenteel rijden de lijnbussen (buslijn 61) conform een dienstregeling waarbij deze twee keer per uur passeert (heen en terug). Daarnaast zijn naast auto's en bestelbusjes ook een aantal vrachtauto's en trekkers gepasseerd. In onderstaande figuren is een impressie van het gepasseerde reguliere verkeer opgenomen.



Figuur 2-5: Regulier gepasseerd verkeer

Ingezette vrachtauto

Naast het passerende regulier verkeer, is eveneens een door de gemeente ter beschikking gestelde vrachtauto en grondkar beladen (vrachtauto 25,5 ton, grondkar 45 ton) en onbeladen (vrachtauto 13 ton, grondkar 15 ton) de meetopstelling gepasseerd. Deze heeft met verschillende rijksnelheden gereden (maximaal 50 km/uur) waarbij deze een oneffenheden in de weg "gepakt" heeft (bv kolkenc.q. putdeksels / kuilen). In onderstaande figuren is een impressie van de ingezette voertuigen opgenomen.



Figuur 2-6: Beschikbaar gestelde voertuigen

Rijsnelheid

Voor de Dorpstraat geldt een maximale rijsnelheid van 50 km/uur. Zowel het reguliere verkeer als door de ingezette vrachtauto / grondkar werd er in het algemeen niet harder gereden dan 50 km/uur (de indruk is dat sporadisch wel harder gereden werd).

Opgemerkt wordt dat de rijsnelheid niet door Fugro gemeten is.

Verkeersintensiteiten

Doorgaans volgt uit verkeerstellingen de opbouw van het verkeer, waarbij onderscheid gemaakt wordt in lichte korte voertuigen en zware lange voertuigen en waarbij onderscheid gemaakt wordt in de periode van de dag (overdag/avond/nacht). Er zijn (nog) geen gegevens van verkeerstellingen beschikbaar. De aantallen zijn van belang indien wel de ondergrens (streefwaarde A1) maar niet de bovengrens (streefwaarde A2) wordt overschreden. Omdat de aantallen (nog) niet bekend zijn, is derhalve op basis van het aantal gepasseerde (reguliere) zware verkeer een schatting gemaakt qua intensiteit. De verwachting is dat dit aantal hoger ligt dan het daadwerkelijke aantal.

Qua toelaatbaar aantallen herhalingen van passages is bij de analyses een omgekeerde redenering aangehouden. Het aantal passages heeft alleen effect op de v_{per} -waarde (SBR B toets 2b). Verwacht wordt dat indien minder voertuigen passeren dan genoemde waarden, dan is het aannemelijk dat geen overschrijding van streefwaarde A3 optreedt (gegeven de maximale effectieve waarde).

Wegconstructie

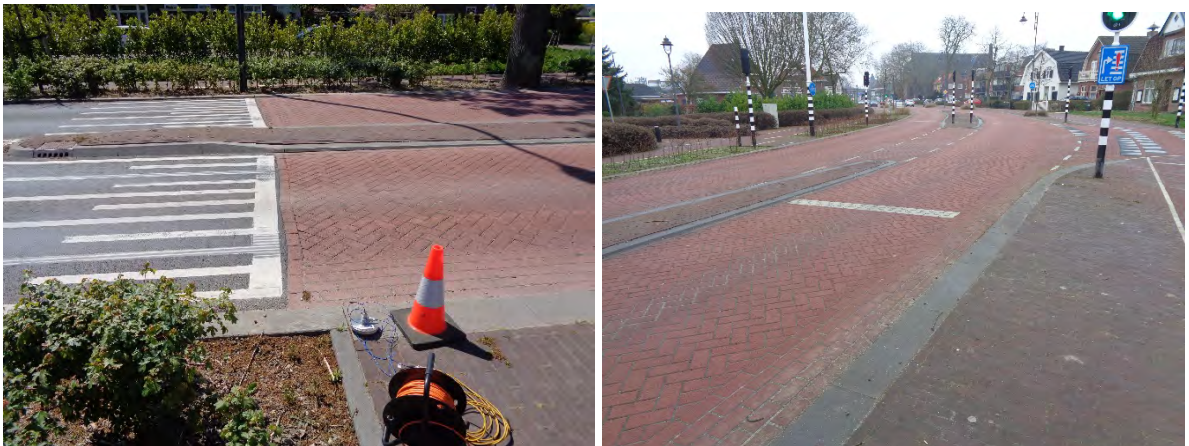
In 2015 / 2016 is de weg gereconstrueerd, waarbij een klinkerbestrating is toegepast. Her toenmalige asfalt is verwijderd. Onder een deel van de weg zijn Permavoids aangebracht. De weg is in goede staat, ondanks dat op sommige plekken lokaal verzakkingen zijn waargenomen.

Conform het ontwerp uit 2015 is onder de betonstraatstenen klinker bestrating (dikte 8 cm), 6 cm zand en 30 cm menggranulaat toegepast, totale funderingsdikte 36 cm.

In onderstaande figuren is een impressie opgenomen van de weg situatie nabij de meetlocaties.



Figuur 2-7: Wegsituatie rondom Dorpstraat 112, enkele oneffenheden en putdeksels



Figuur 2-8: Situatie rondom Hamerstraat 11, overgang asfalt --> klinkers vv



Figuur 2-9: enkele oneffenheden en putdeksels situatie rafeling / kleine gaten

2.2.2 Medium

Door de verkeerspassage wordt de wegconstructie en daarmee de omringende (onder)grond in beweging gebracht. Zowel overdracht in het wegfunderingspakket als overdracht door dieper gelegen grondlagen, hebben effect op de grootte van de trillingsintensiteiten. Stijfheidsgegevens van de grond en verhardingsconstructie hebben invloed op de overdracht van de trilling

Bodemopbouw

Recent, juni 2020, zijn door Fugro in de Dorpstraat 6 sonderingen en 10 handboringen uitgevoerd (gerapporteerd onder 1020-0016-001.R01 d.d. 12 juni 2020). Met het grondonderzoek is inzicht verkregen in de grondlagen opbouw. In onderstaande tabel is een schematisatie van de gedetecteerde grondlagen opgenomen. In de bijlage is een representatieve sondering opgenomen, alsmede de uitvoeringslocaties.

Tabel 2 1: Globale bodemgesteldheid o.b.v. sondering DKM5 (1020-0016-001)

Diepte onderkant laag t.o.v. NAP [m]	Bodembeschrijving	
+10,5		Maaiveld
+9,25	Toplaag	Verharding/stabilisatie laag
+7,5	KLEI	siltig
+6,5	ZAND	siltig
+5,75	KLEI	Siltig
+3,5	ZAND	Zeer vast gepakt
+2,0	ZAND	Vast gepakt
+0,5	ZAND	Zeer vast gepakt
+0,5		Max verkende diepte

De freatische grondwaterstand is in enkele sonderingen / boringen gepeild op circa 1,5 m tot 1,75 m onder maaiveld. Deze grondwaterstand is een incidentele waarneming en kan zeer sterk variëren als gevolg van de waterstand op de IJssel.

Op basis van de sonderingen kan tem behoeve van de prognosemodellen, de bodemopbouw het beste worden vergeleken met profiel "Rotterdam" volgens de CUR166. Dit is een van de grondprofielen in het prognose programma waarmee de bronmaatregelen doorgerekend zijn.

2.2.3 Ontvanger

De door de ondergrond doorgegeven trillingen worden ontvangen bij de woning. Bij overdracht van trillingen (direct onder maaiveld) van de bodem naar de funderingselementen en de draagconstructie, treedt een zekere mate van demping op. Bij de overdracht van de trillingintensiteit van grond naar draagconstructie treedt doorgaans enige demping op en overdracht naar vloeren en ondersteunende onderdelen treedt doorgaans enige opslingering op.

De wijze van fundering (op palen of op staal) en de constructiewijze van het pand (beton / metselwerk / overspanningen liggers / houten vloeren e.d.), hebben invloed op de grootte en de beleving van de trillingsamplitude op vloeren in de woning.

In een eerder stadium (april en december 2017) zijn verscheidene meetlocaties geselecteerd, Dorpstraat 79, Dorpstraat 116, Hamerstraat 1 en Hamerstraat 11. In vergelijking met deze woningen zijn voor voorliggende meting de woningen Dorpstraat 112

en Hamerstraat 11 geselecteerd. Deze woningen liggen relatief kort op de weg en hebben een constructiewijze die gevoelig is/kan zijn voor trillingen. In de bijlage is een bouwkundige tekening van de woning opgenomen.

In onderstaande figuren is de meetlocatie met de omgeving weergegeven.



Figuur 2-10: Woningen Dorpstraat 112 (links) en Hamerstraat 11 (rechts)

Beide woningen zijn opgetrokken uit metselwerk, waarbij houten vloeren zijn toegepast. Gezien de grondgesteldheid (samendrukbare grondlagen) en op de bouwkundige constructietekeningen (opgenomen in de bijlagen) is aangegeven dat de woningen gefundeerd zijn op staal.

Volgens het Rijksmonumentenregister is voor beide meetlocaties geen sprake van een monumentale status. Met de BAG viewer van Kadaster en Ministerie I&W is het bouwjaar van de woning achterhaald, (opgenomen in onderstaande figuur en tabel).



Figuur 2-11: Woning Dorpstraat 112 (midden onder) en Hamerstraat 11 (rechtsboven)

Tabel 2-2: Woning, bouwjaar, funderingswijze en monumentale staat

Adres	Bouwjaar	Funderingswijze	Monumentale staat
Dorpstraat 112	1936	Op staal	Geen
Hamerstraat 11	1650	Op staal	Geen

2.3 Uitgevoerde trillingsmeting

2.3.1 Meetuitvoering

Fugro heeft de beschikking over een tweetal verschillende trilling meetsystemen. Enerzijds een automatisch standalone registrerend systeem en anderzijds een meetsysteem waarbij versnellingsopnemers gehanteerd worden. Bij de meting op 6 mei 2020 is het versnellingen systeem ingezet.

De metingen zijn uitgevoerd met systemen welke voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR richtlijn A 2017 "Schade aan bouwwerken" en SBR richtlijn B "Hinder voor personen in gebouwen".

Referentie metingen (standalone meetsysteem)

Bij de eerder uitgevoerde metingen zijn standalone meetsystemen ingezet. Gedurende langere periode (1 week) zijn de trillingen gemeten en, per ingestelde sampleperiode, automatisch opgeslagen.

Deze meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon als opnemer. De geofoon van het meetpunt wordt of aan de constructie bevestigd of op de vloer geplaatst. Het systeem meet de trilling (snelheden) in de drie orthogonaal op elkaar staande richtingen (x,y,z). In de verwerkingsunit wordt de bijbehorende frequentie in dezelfde drie richtingen berekend.



Figuur 2-12: Meetpunten 5 MP piezo meetsysteem (links) en standalone meetsysteem, Vibra met opnemer (rechts)

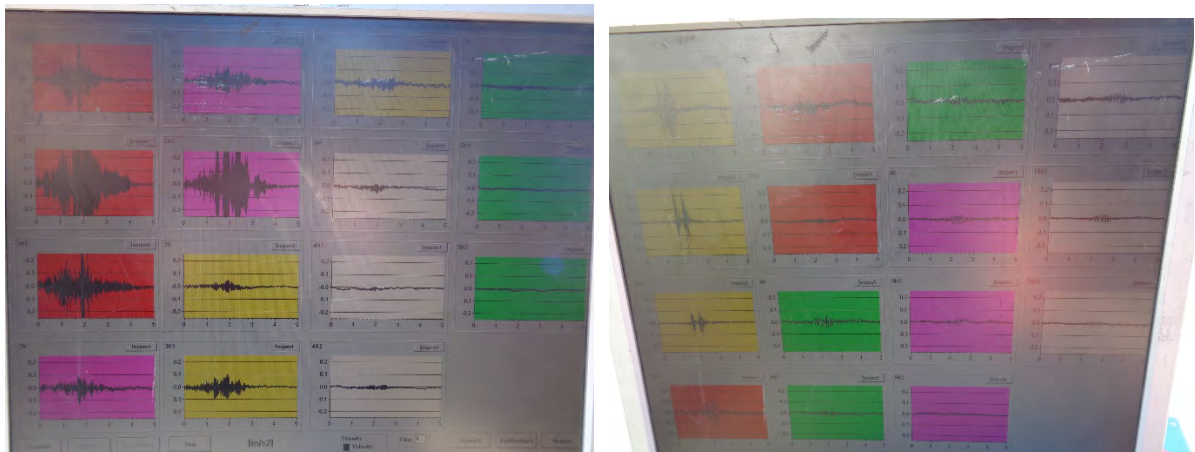
Meetuitvoering Piëzo versnellingsopnemers

Met het versnellingenmeetsysteem wordt de volledige trilling van een verkeerspassage hoog frequent gemeten. Dit soort bemande metingen worden semi-continue uitgevoerd met piëzo-elektrische versnellingsopnemers van PCB Piëzotronics Inc., type PCB 338B35, aangesloten op een PCB Piëzotronics versterker model 481.

De opnemers meten de trillingen, die worden doorgegeven via een versterker naar een PC, waarop de signalen zichtbaar worden gemaakt en opgeslagen kunnen worden. Met het systeem kan simultaan op 5 meetpuntlocaties (XYZ, 15 kanalen) gemeten worden. Per meetpunt wordt in drie orthogonaal op elkaar staande richtingen gemeten (Z-verticaal, Y-horizontaal evenwijdig aan de bron bewegingsrichting en X-horizontaal haaks op de bron bewegingsrichting). In voorstaande linker figuur is een voorbeeld van meetpunten op het maaiveld (of vloer) en aan de gevel weergegeven.

Met het meetsysteem worden continu trillingen geregistreerd. Op het moment dat een passage van het voertuig optreedt, wordt dit zichtbaar gemaakt in een uitslag van het signaal. Na het "bevriezen" van het signaal, wordt notitie gemaakt van het gepasseerde voertuig en wordt het signaal opgeslagen.

Op de meetlocatie is in een meetraai "haaks" op de woning gemeten, waarbij naast een meetpunt aan de gevel (t.b.v. beoordeling op schade SBR A) een meetpunt op de vloer (t.b.v. beoordeling op hinder SBR B) maaiveldmeetpunten (3 stuks) zijn ingericht. In onderstaande figuur is een impressie van een meetsignaal weergegeven van enkele meetpunten (per kleur 1 meetpunt XYZ). Grafische is meetresultaat (beeldscherm) van een enkele passage van een bus weergegeven.



Figuur 2.13: Beeldscherm met meetsignalen, passage voertuig (Dorpstraat 112 links, Hamerstraat 11 rechts)

(per kleur één meetpunt)

Rood (links), Geel (rechts): meetpunt naast de weg

Magenta (links), Rood (rechts): meetpunt tussen weg en gevel

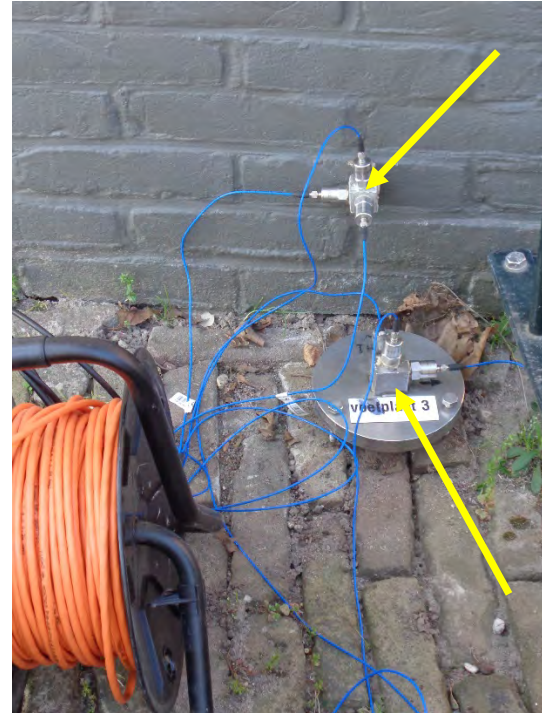
Geel (links), Lichtgroen (rechts), meetpunt naast de gevel

Wit (links), Magenta (rechts): meetpunt aan de gevel

Lichtgroen (links), Wit (rechts): meetpunt binnen op de vloer

2.3.2 Meetpuntlocaties

Buiten, ter beoordeling van de trillingen op risico op schade (SBR A), is het meetpunt aan de gevel (=draagconstructie) geplaatst. Een "indicatieve" meting is toegepast (=1 meetpunt per object). Binnen, ter beoordeling van de trillingen op hinder (SBR B), is het meetpunt op de vloer in samenspraak met de bewoners bepaald (daar waar zij de grootste hinder beleven). Opgemerkt wordt dat de foto's binnen met toestemming van de bewoners zijn genomen.



Figuur 2-14: Woning Dorpstraat 112, meetpuntlocaties op maaiveld en aan de gevel



Figuur 2-15: Hamerstraat 11, meetpuntlocaties op maaiveld en aan de gevel

Tabel 2-3: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Afstand tot bron [m]	Locatie meetpunt
Dorpstraat 112		
MP 1	1,5	Maaiveld, stoep kant van de weg
MP 2	6,0	Maaiveld, stoep tussen weg en gevel
MP 3	8,8	Maaiveld, "terras" naast gevel
MP 4	8,9	Gevel
MP 5	19,8	Binnen 1 ^e verdieping achterkamer
Hamerstraat 11		
MP 6	1,5	Maaiveld, stoep kant van de weg
MP 7	6,4	Maaiveld, stoep tussen weg en gevel
MP 8	14,5	Maaiveld, oprit naast gevel
MP 9	15,5	Gevel
MP 10	25,5	Binnen 1 ^e verdieping achterkamer

De afstand tussen de rijstroken bedraagt ter hoogte van Dorpstraat 112 2,5 m en ter hoogte van Hamerstraat 11 4,5 m.

3. Beoordeling Trillingen

3.1 Toestingskader trillingen en toetsingsprocedure

SBR richtlijnen

In Nederland worden trillingsintensiteiten getoetst aan de grens- en / of streef- en / of toetswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, 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 2017: 'Schade aan bouwwerken';
- Richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- Richtlijn C 2006: 'Storing aan apparatuur'.

SBR A 2017 Toetsingsprocedure voor constructieve schade

Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draagconstructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien de rekenwaarde van de grenswaarde (vr) groter is dan de topsnelheid aan de draagconstructie. De waarde aan de draagconstructie volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op schade luidt:

$V_r \leq V_{top}$	ja?	→ risico op schade
	Nee?	→ risico op schade aanvaardbaar klein

SBR B Toetsingsprocedure voor hinderbeleving

Voor de toetsing op hinderbeleving dient de effectieve trillingsintensiteit op vloeren bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op hinderbeleving voor personen minimaal, indien de streefwaarde groter is dan waarde op de vloer, waarbij onderstaande toetsen van toepassing zijn. De waarde op de vloer volgt uit metingen of uit prognoses.

De toetsprocedure op hinderbeleving luidt:

Toets 1	$v_{eff,max} < A1$	ja?	→ Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	→ Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{eff,max} > A2$	Ja?	→ Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	→ Toets 2b
Toets 2b	$v_{per} < A3$	Ja?	→ Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	→ Hinderbeleving aannemelijk (verwachting)

("Verwachting hinderbeleving" impliceert dat hinderbeleving aannemelijk is (of niet)).

Kort toegelicht:

- Toets 1: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A1. Indien deze onder de streefwaarde A1 blijft, mag verwacht worden dat geen hinder aanwezig is. Indien dit niet het geval is, dient toets 2 uitgevoerd te worden:
- Toets 2: De maximale effectieve waarde van de trillingssnelheid dient getoetst te worden aan streefwaarde A2. Bij overschrijding van streefwaarde A2 is hinder voor personen aannemelijk / kan niet uitgesloten worden. Indien streefwaarde A2 niet overschreden wordt, bepaald het aantal maal dat de trilling zich voordoet of sprake is van hinderbeleving. De gemiddelde periodieke waarde van de trillingssnelheid dient dan getoetst te worden aan streefwaarde A3. Bij overschrijding van streefwaarde A3 is hinderbeleving aannemelijk.

Soorten schade door trillingen

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:

- (Haar)scheurtjes in pleisterwerk, tegelwerk, metselwerk e.d.
- Naadvorming langs kozijnen, plafonds e.d.
- Slecht sluitende deuren

Constructieve schade

Bij langdurige of relatief grote overschrijdingen zal eerder constructieve schade aan de draagconstructie ontstaan. Onder constructieve schade wordt verstaan:

- Scheuren in beton-/metselwerk
- Verzakking van de constructie
- Scheuren in draagconstructie

3.2 SBR A grenswaarde

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

Kans op schade SBR A

Op basis van SBR - richtlijn A 2017 "Schade aan bouwwerken" wordt de beoordeling van de trillingssnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingssnelheid en de grenswaarde. Volgens de richtlijn is de kans op schade aanvaardbaar klein (kleiner dan 1%) indien de grenswaarde niet overschreden worden. De grenswaarde wordt bepaald door de type trillingsbron, de constructie- en funderingswijze van de bebouwing (bouwkundige staat) en de uitgebreidheid van de soort meting.

Uitgangspunten t.b.v. grenswaarde bepaling SBR A 2017

De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de grenswaarde aangehouden:

- Type trillingsbron
Passages van verkeer worden beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- Type fundering
Op basis van de grondgesteldheid tezamen met de bouwjaren van de woningen, mag verwacht worden dat de woning gefundeerd zijn op staal (ook volgens constructietekeningen).
- Categorie bebouwing
De woning is opgetrokken uit metselwerk en is in goede staat van onderhoud. Conform SBR A worden de woningen ingedeeld in categorie 2.
- Bouwkundig gevoelig
De woningen zijn niet aangemerkt als zijnde Rijksmonument of in slechte staat. Conform de checklist uit de bijlage van SBR A, worden de woningen als niet bouwkundig "gevoelig" beschouwd.
- Soort meting (uitgebreidheid)
Per woning is 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) ingericht. Dit geldt als een "indicatieve meting".

Tabel 3-1a: Grenswaarden [mm/s], draagconstructie gefundeerd op palen

Dominante frequentie [Hz]	Karakteristieke waarde Cat. 2 [Hz]	Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid ¹⁾ [mm/s]	
		Cat 2, bouwkundig niet gevoelig	Cat 2, bouwkundig gevoelig
		TB = 1,5, BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6 ²⁾	TB = 1,5, BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6 ²⁾
10	10	3,3 / 2,1	2,0 / 1,2
15	10	4,2 / 2,6	2,5 / 1,5
¹ TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting ² excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.			

Tabel 3-1b: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte [m]	Karakteristieke waarde [mm/s]	Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid ¹⁾ [mm/s]	
		bouwkundig niet gevoelig	bouwkundig gevoelig
		TB = 1,6, BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6 ²⁾	TB = 1,6, BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6 ²⁾
7	11,4	7,1 / 4,5	4,2 / 2,6
8	10,0	6,3 / 3,9	3,7 / 2,3
¹ TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting ² excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.			

De vet gemarkeerde waarden zijn van toepassing.

Grafische weergave grenswaardelij in gepresenteerde grafieken (bij meetresultaten)

Per december 2017 is een vernieuwde versie van de SBR A richtlijn van kracht. In de gepresenteerde grafieken met de meetwaarden versus de frequentie (beoordelingsgrafiek) zijn grenswaarde lijnen voor een categorie 2 en categorie 3 weergegeven (categorie volgens de oude SBR richtlijn). De vernieuwde categorie 2(M) (M = monumentaal) aanduiding is vergelijkbaar met de oude categorie 3 aanduiding. De vernieuwde SBR versie heeft voor objecten gefundeerd op staal een gewijzigde benadering ter bepaling van de grenswaarde, deze wordt afhankelijk gesteld van de dikte van het onderliggende zandpakket. Voor frequentie lager dan 30 Hz, ligt deze lijn boven de lijn voor categorie 2.

3.3 SBR B streefwaarde

In de bijlage *"Toelichting SBR - toetsingskader"* wordt nader ingegaan op de bepaling van de streefwaarde.

Risico op hinder

Op basis van SBR - richtlijn B: *"Hinder voor personen"* wordt de streefwaarde van de maximale trillingssnelheid bepaald. Indien de trillingsintensiteit beneden de streefwaarde blijft, mag verwacht worden dat er in de meeste situaties geen hinder voor personen zal optreden. Bij beoordeling op hinderbeleving wordt onderscheid gemaakt in de gebruikersfunctie van ruimten in het gebouw, in omstandigheid (type trillingsbron) en in soort situatie (bestaand / huidig of toekomstige).

Uitgangspunten t.b.v. streefwaarde bepaling SBR B 2006

De volgende onderdelen zijn voor het afleiden van de streefwaarden aangehouden:

- Type trillingsbron
Analoog aan SBR A 2017 worden passages van verkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- Situatie
Een bestaande situatie is van toepassing.
- Functie ruimte
De functie van de ruimte is wonen.
- Duur van de periode
Een dag- en avondperiode (07:00 uur – 19:00 uur – 23:00 uur) is van toepassing. In de nachtperiode wordt niet gereden met vrachtauto's.

Streefwaarden / Omrekenfactor CUR 166

De trillingsniveaus ($v_{\text{eff,max}}$ en v_{per}) worden getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3) uit SBR B. De streefwaarden zoals deze zijn opgenomen in richtlijn SBR B zijn dimensieloos. Voor de beoordeling van hinder is het praktischer om streefwaarden en trillingsniveaus uit te drukken in de eenheid mm/s. Het handboek CUR166 *"Damwandconstructies"* bevat een omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. De karakteristieken van de trillingen veroorzaakt door passerend (zwaar)verkeer

lijken op een herhaald kortdurende trilling. Hiervoor is in CUR166 (6de druk) tabel 5.23 een factor 0,42 gedefinieerd.

In onderstaande tabel zijn de voor een bestaande situatie de streefwaarden opgenomen.

Tabel 3-2: Streefwaarde [-] en [mm/s], bestaande situatie, functie wonen

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1 ¹⁾	Streefwaarde A2 ¹⁾	Streefwaarde A3 ¹⁾
Dag en avond	0,20 / 0,48	0,80 / 1,90	0,10 / 0,24
Nacht	0,20 / 0,48	0,40 / 0,95	0,10 / 0,24

1) Excl. / incl. omrekenfactor van 0,42

Voelbaarheid en acceptatie trillingen

Voor de afweging van de toelaatbaarheid van de trillingssterkte gedurende langere periode, stelt SBR-richtlijn B dat aanvullend gebruik gemaakt kan worden van de navolgende kwalificatie van de hinder zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3-3: Hinderkwalificatie

V _{eff.max} [-]	V _{eff.max} ¹⁾ [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	< 0,24	Geen hinder
0,1 – 0,2	0,24 – 0,48	Weinig hinder (betsaande situaties)
0,2 – 0,8	0,48 – 1,90	Matige hinder
0,8 – 3,2	1,90 – 7,62	Hinder
> 3,2	> 7,62	Ernstige hinder

1) In CUR166 is een omrekenfactor van 0,42 voor passerende voertuigen opgenomen

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."

3.4 Verwerking meetdata

Bepalen toetingsgrootheden

De metingen zijn uitgevoerd met versnellingsopnemers (amplitude in het signaal is een versnelling). Het meetsignaal is hoogfrequent (800 Hz) gesampeld. De beoordelingsgrootheden zijn in snelheden [mm/s]. Door het versnellingsignaal te integreren wordt het snelheidssignaal verkregen.

Rekenwaarde trillingssnelheid

Voor de toetsing op schade aan gebouw(onderdelen) dient de piekwaarde van de trillingssnelheid aan de draagconstructie / gevel bepaald te worden. Uit de gemeten trillingsversnelling en frequentie is de trillingssnelheid berekend volgens onderstaande formule:

$$v_{piek} = \frac{a}{2 * \pi * f}$$

waarin:

a	trillingsversnelling	[mm/s ²];
f	frequentie	[Hz];
v_{piek}	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 op hinder voor personen in woningen dient binnen de gegeven beoordelingsperiode (dag-, avond- of nachtperiode) zowel de maximale effectieve waarde ($v_{eff,max}$) als de gemiddelde (v_{per}) effectieve waarde van de trillingssnelheid op de vloer te worden bepaald. Beide waarden zijn dimensieloos.

Bepaling $v_{eff,max}$

Deze waarde wordt bepaald door een omrekening van de maximale trillingssnelheid [mm/s] op de vloer naar een gewogen momentane waarde voor de trillingssnelheid [-]. Uit de gewogen momentane waarde kan de voortschrijdende effectieve waarde worden bepaald. Het handboek CUR 116 (4e versie tabel 5.23 blz 570) geeft als benadering voor een herhaalde kortdurende trilling (heien, passerend (rail)verkeer) de factor 0,42 en voor een continue trilling (machines, trillen damwanden) de factor 0,64. Het effectieve maximum is te bepalen volgens:

$$v_{eff,max} = (0,42 \text{ à } 0,64) * v_{piek} \quad [\text{mm/s}]$$

Bepaling v_{per}

De periodiek effectieve waarde, v_{per} , van de effectieve maxima $v_{eff,max}$, wordt bepaald over het aantal tijdsintervallen van 30 seconden binnen de beoordelingsperiode, dag, avond of nacht [-]. Gegeven het aantal per tijdsinterval en de effectieve maxima, wordt voor ieder tijdsinterval van 30 sec 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	[-]
-----	--	-----

Statistische bewerking

De meetdata is statistisch bewerkt. Uitgaande van een normaal verdeelde stochast, waarvan verwachtingswaarde en variatiecoëfficiënt bekend zijn, is de 99% bovengrenswaarde uit de proefverzameling te bepalen. Hierbij neemt de onzekerheid omtrent de schatting van het exacte gemiddelde af naarmate het aantal "mee te beschouwen" waarden toeneemt. Bij een oneindig aantal waarnemingen is het gemiddelde exact te schatten. De karakteristieke bovengrenswaarde zijn te bepalen volgens:

$$\mu_{50\%,kar} = \mu_{50\%} + \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{1}{n}}$$

$$\mu_{99\%,kar} = \mu_{50\%} + \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{n+1}{n}}$$

waarin:

$\mu_{99\%,kar}$	karakteristieke 99% snelheidswaarde van de proefverzameling	[mm/s];
$\mu_{50\%,kar}$	karakteristieke 50% snelheidswaarde van de proefverzameling	[mm/s];
$\mu_{50\%}$	50% snelheidswaarde van de proefverzameling	[mm/s];
σ	standaard deviatie van de proefverzameling	[-];
t	toetsingsfactor bij betrouwbaarheid van 99% (Student t)	[-];
n	aantal waarden in de proefverzameling	[-].

4. Meetresultaten en toetsing

4.1 Dorpstraat 112

4.1.1 Meetresultaten

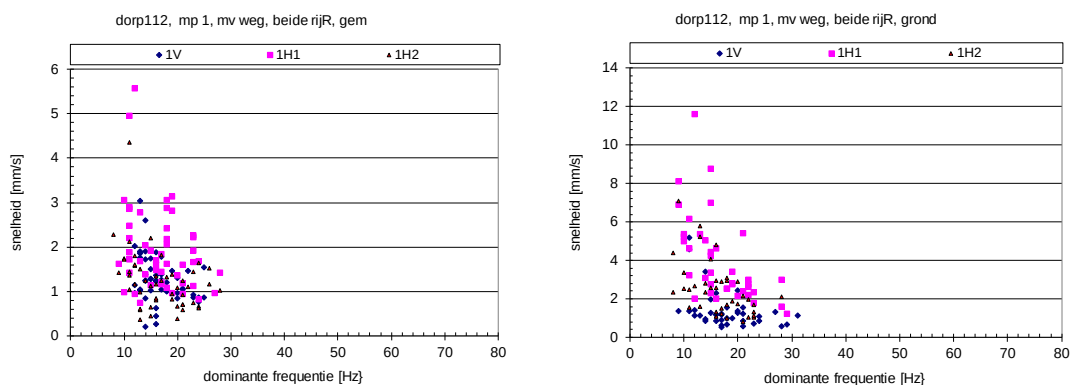
In de bijlagen is van maatgevende passages een grafische totaalweergave van de trillingsregistratie (ruwe signalen) opgenomen. In tabelvorm en grafisch in figuren is een samenvatting van de maxima opgenomen, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de passerende vrachtauto en de grondkar (ter beschikking gestelde voertuigen). De eveneens gemeten andere passerende voertuigen (auto's bussen en vrachtauto's) zijn verwerkt in de set met de vrachtauto van de gemeente. Bij "omschrijving" is het type voertuig vermeld ("Vrachtauto gem" = het ingezette voertuig van de gemeente).

Tabel 4-1: Samenvatting meetresultaten Dorpstraat 112, vrachtauto gemeente

MP	Omschrijving	Snelheid [mm/s]	Frequentie [Hz]	Versnelling [mm/s ²]	Bijlage
1V	vrachtauto gemeente vol --> Duiven	3,03	13	240,80	
	grondkar vol --> Centrum				
1H1	vrachtauto gemeente vol --> Duiven	5,56	12	426,90	
	grondkar vol --> Centrum				
1H2	vrachtauto gemeente vol --> Duiven	4,35	11	287,00	
	grondkar vol --> Centrum				
2V	vrachtauto gemeente vol --> Duiven	1,31	16	128,20	
	vrachtauto gemeente vol --> Duiven				
2H1	grondkar vol --> Centrum	1,88	10	122,60	
2H2	vrachtauto gemeente leeg --> Centrum	1,90	19	229,30	
3V	vrachtauto leeg --> Duiven	1,02	12	75,30	
3H1	vrachtauto gemeente vol --> Duiven	0,60	12	46,00	
3H2	vrachtauto gemeente --> Centrum kraatsd	0,59	5	18,70	
4V	vrachtauto gemeente leeg --> Centrum	1,10	7	46,40	1
4H1	vrachtauto gemeente leeg --> Duiven	0,37	7	16,20	
4H2	vrachtauto leeg --> Duiven	0,31	9	17,40	
5V	vrachtauto gemeente leeg --> Duiven	1,04	13	87,00	2
5H1	vrachtauto vol gemeente --> Centrum	0,81	7	33,50	
5H2	vrachtauto gemeente leeg --> Centrum	0,61	4	15,40	

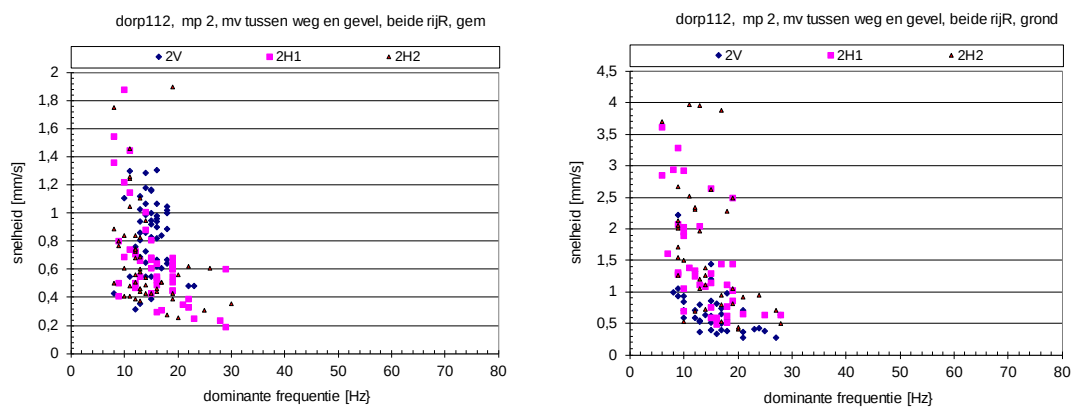
Tabel 4-2: Samenvatting meetresultaten Dorpstraat 112, grondkar

MP	Omschrijving	Snelheid [mm/s]	Frequentie [Hz]	Versnelling [mm/s ²]	Bijlage
1V	grondkar vol --> Duiven	5,15	11	341,60	
1H1	grondkar leeg --> Duiven	11,59	12	871,30	
1H2	grondkar vol ---> Duiven	7,07	9	382,70	
2V	grondkar vol ---> Duiven	2,22	9	123,80	
2H1	grondkar vol --> Centrum	3,62	6	147,20	
2H2	grondkar vol ---> Duiven	3,98	11	283,60	
3V	grondkar vol --> Duiven	0,79	10	48,10	
3H1	grondkar vol ---> Duiven	2,07	6	83,60	
3H2	grondkar vol ---> Duiven	1,66	6	66,20	
4V	grondkar vol ---> Duiven	0,97	7	41,30	3
4H1	grondkar vol --> Duiven langzaam	0,43	5	13,70	
4H2	grondkar vol ---> Duiven	0,34	8	18,00	3
5V	grondkar --> Duiven	0,79	4	20,30	4
5H1	grondkar leeg --> Duiven	0,43	7	18,00	
5H2	grondkar vol --> Duiven	0,78	9	42,70	



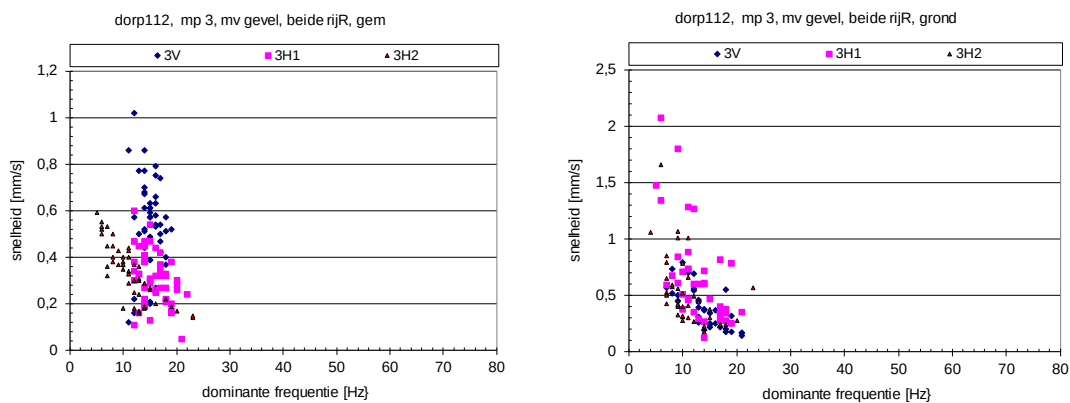
Figuur 4-1: Meetpunt naast de weg (links vrachtauto, rechts grondkar)

Woning Dorpstraat 112

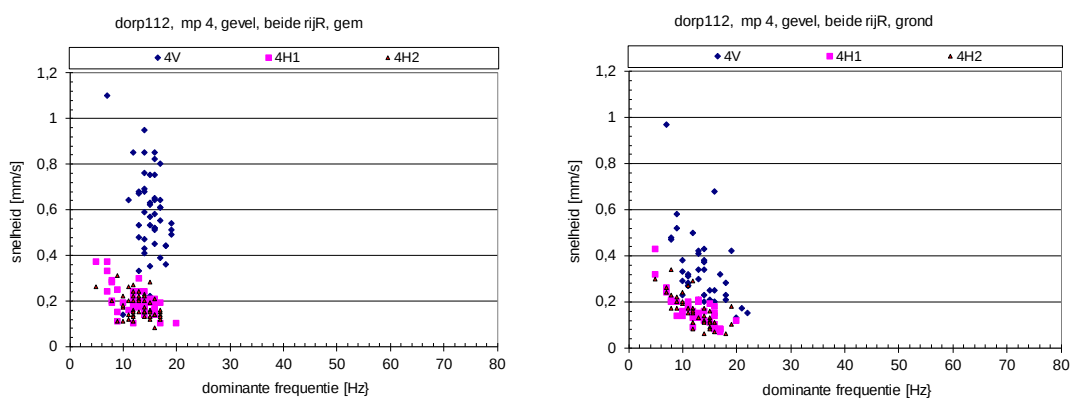


Figuur 4-2: Meetpunt tussen de weg en de gevel (links vrachtauto, rechts grondkar)

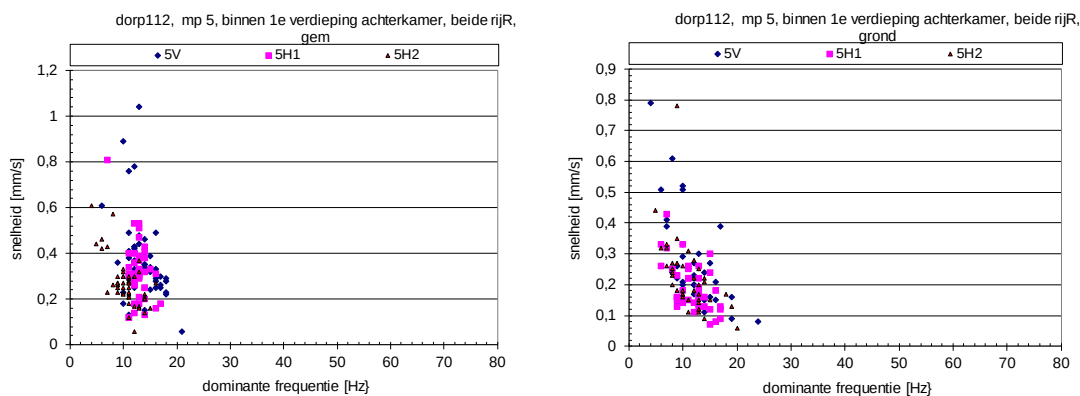
Woning Dorpstraat 112



Figuur 4-3: Meetpunt naast de gevel (links vrachtauto, rechts grondkar)
Woning Dorpstraat 112



Figuur 4-4: Meetpunt aan de gevel (links vrachtauto, rechts grondkar)
Woning Dorpstraat 112



Figuur 4-5: Meetpunt op de vloer voorkamer (links vrachtauto, rechts grondkar)
Woning Dorpstraat 112

4.1.2 Toetsing SBR A

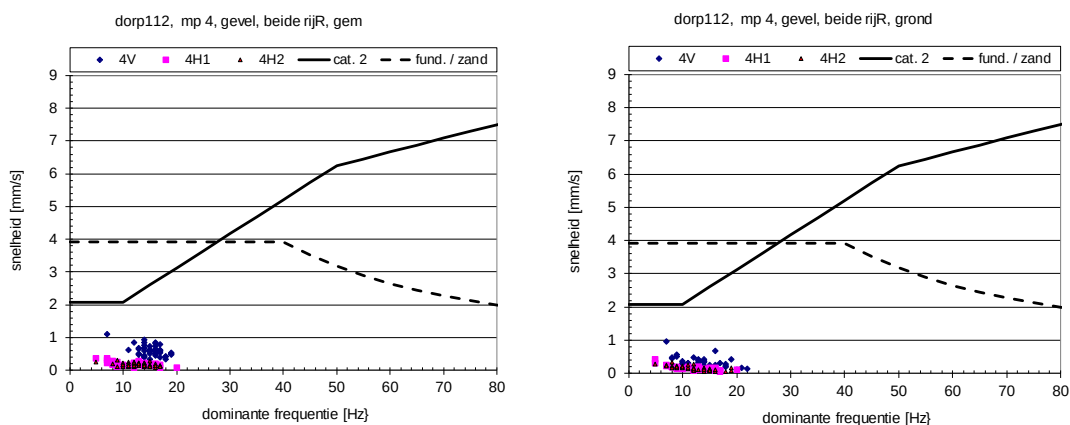
In onderstaande tabel en figuren zijn de meetresultaten van het gevelmeetpunt van de woning vergeleken met (en getoetst aan) de grenswaarde(n).

Opgemerkt wordt dat in de figuur de meetwaarden exclusief partiële factor voor de soort meting zijn weergegeven, deze factor is in de tabel in de grenswaarde verwerkt. Volledigheidshalve zijn zowel de grenswaarde lijnen voor een draagconstructie op palen als een fundering op staal weergegeven.

Tabel 4-3: Toetsing SBR A, Dorpstraat 112, MP 4, vrachtauto en grondkar

MP	Omschrijving	Freq. [Hz]	$V_{top}^{1)}$ [mm/s]	Draagconstructie		Trillingsgevoelige fundering	
				$V_r^{2)}$ [mm/s]	Toetsing ²⁾	$V_r^{2)}$ [mm/s]	Toetsing ²⁾
4V	vrachtauto gemeente leeg --> Centrum	7	1,65	3,3	Voldoet	6,3	Voldoet
4H1	vrachtauto gemeente leeg --> Duiven	5	0,56	3,3	Voldoet	6,3	Voldoet
4H2	vrachtauto leeg --> Duiven	5	0,47	3,3	Voldoet	6,3	Voldoet
4V	grondkar vol ---> Duiven	7	1,43	3,3	Voldoet	6,3	Voldoet
4H1	grondkar vol --> Duiven langzaam	5	0,64	3,3	Voldoet	6,3	Voldoet
4H2	grondkar vol ---> Duiven	5	0,51	3,3	Voldoet	6,3	Voldoet

1) V_{top} waarde incl., V_r waarde excl. Partiele factor type meting
 2) Voldoet *impliceert* geen overschrijding, voldoet niet *impliceert* een overschrijding



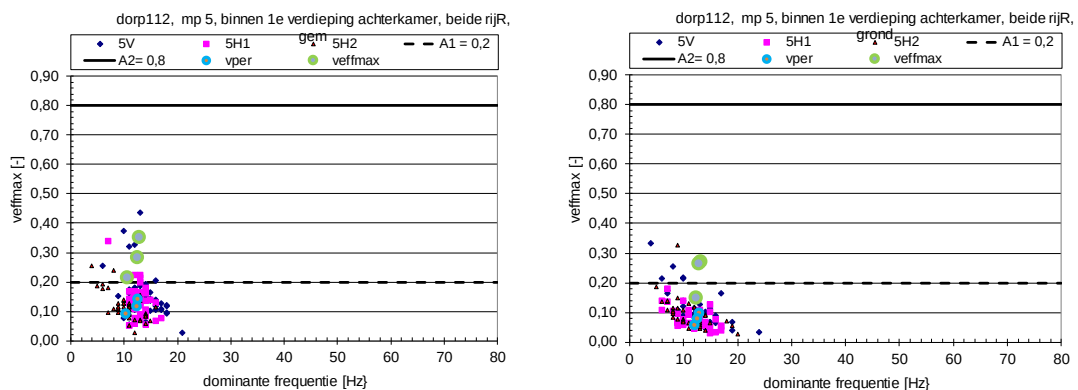
Figuur 4-6: Toetsing SBR A, meetpunt aan de gevel
MP 4, Woning Dorpstraat 112, links vrachtauto, rechts grondkar

4.1.3 Toetsing SBR B

In onderstaande tabel en figuren zijn de meetresultaten van het vloermeetpunt van de woning vergeleken met (en getoetst aan) de streefwaarde(n).

Tabel 4-4: Toetsing SBR B, Dorpstraat 112, MP 5, vrachtauto en grondkar

MP	Omschrijving	$V_{kar}^{1)}$ [mm/s]	Toets 1		Toets 2	
			$V_{eff,max}^{2)}$ [-]	Toetsing $^{2)}$	$V_{per}^{2)}$ [-]	Toetsing $^{2)}$
5V	vrachtauto gemeente leeg --> Duiven	0,84	0,35	hinder ?	0,14	hinder A3
5H1	vrachtauto vol gemeente --> Centrum	0,68	0,29	hinder ?	0,11	hinder A3
5H2	vrachtauto gemeente leeg --> Centrum	0,51	0,22	hinder ?	0,09	geen hinder
5V	grondkar --> Duiven	0,65	0,27	hinder ?	0,10	geen hinder
5H1	grondkar leeg --> Duiven	0,36	0,15	geen hinder	0,05	geen hinder
5H2	grondkar vol --> Duiven	0,63	0,27	hinder ?	0,08	geen hinder
1) V_{kar} karakteristieke waarde van de effectief maxima (=95% waarde) 2) Hinder? <i>impliceert</i> een overschrijding van streefwaarde A1 en dat toets 2 uitgevoerd wordt. Geen hinder <i>impliceert</i> geen overschrijding van A2 of A3, hinder <i>impliceert</i> of overschrijding streefwaarde A2 of overschrijding streefwaarde A3 Voldoet <i>impliceert</i> geen overschrijding, voldoet niet <i>impliceert</i> een overschrijding						



Figuur 4-7: Toetsing SBR B, meetpunt op de vloer, voorkamer
MP 5, Woning Dorpstraat 112, links vrachtauto, rechts grondkar

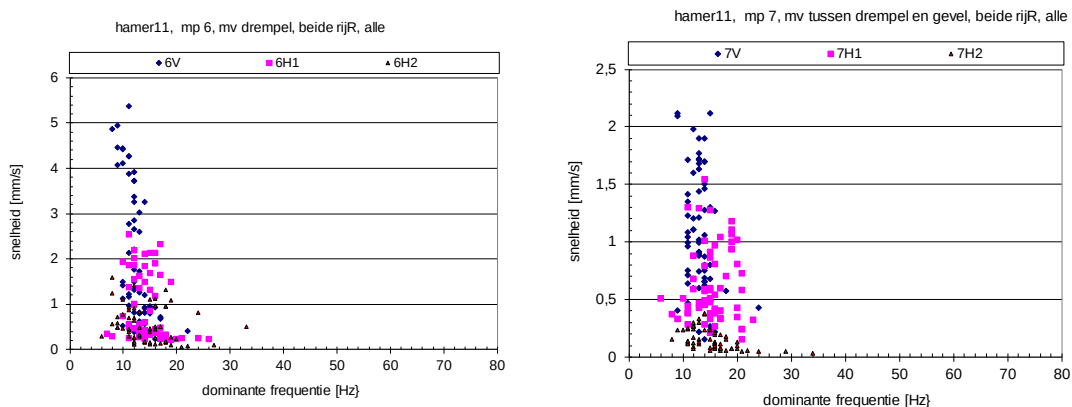
4.2 Hamerstraat 11

4.2.1 Meetresultaten

In de bijlagen is van maatgevende passages een grafische totaalweergave van de trillingsregistratie (ruwe signalen) opgenomen. In tabelvorm en grafisch in figuren) is een samenvatting van de maxima opgenomen, waarbij geen onderscheid is gemaakt tussen de vrachtauto (ter beschikking gestelde voertuig) en ander gepasseerde voertuigen. Bij "omschrijving" is het type voertuig vermeld (Vrachtauto gem = het ingezette voertuig van de gemeente).

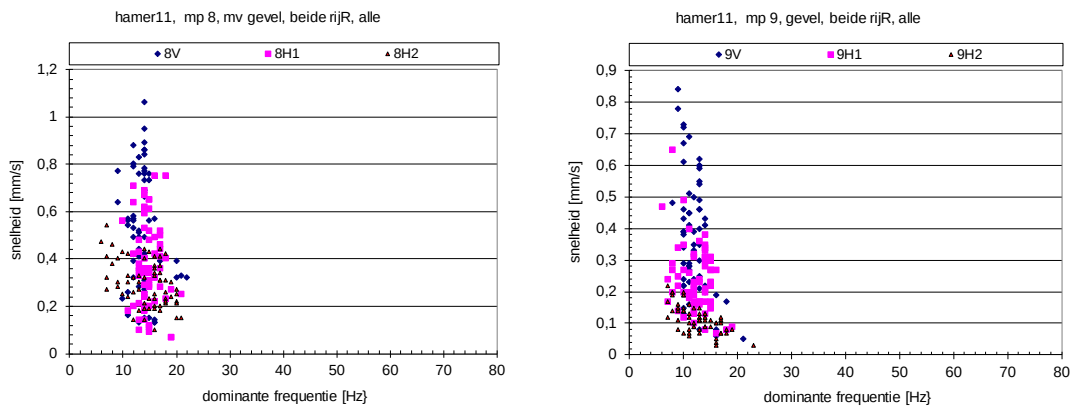
Tabel 4-5: Samenvatting meetresultaten Hamerstraat 11, alle type voertuigen

MP	Omschrijving	Snelheid [mm/s]	Frequentie [Hz]	Versnelling [mm/s ²]	Bijlage
6V	vrachtauto gem vol --> Centrum	5,37	11	371,10	
6H1	vrachtauto gem vol --> Centrum	2,55	11	171,30	
6H2	vrachtauto gem vol --> Centrum	1,60	8	76,10	
7V	vrachtauto gem leeg --> Centrum	2,12	9	125,80	
7H1	vrachtauto gem vol --> Centrum	1,54	14	136,60	
7H2	vrachtauto gem vol --> Centrum	0,38	14	33,30	
8V	vrachtauto gem vol --> Centrum	1,06	14	93,70	
8H1	vrachtauto gem vol --> Centrum	0,75	16	75,90	
8H2	vrachtauto --> Duiven	0,54	7	22,40	
9V	vrachtauto oplegger heavenbound --> Centrum	0,84	9	47,30	
9H1	vrachtauto gem vol --> Centrum	0,65	8	31,10	
9H2	vrachtauto gem leeg --> Centrum	0,22	7	10,00	
10V	vrachtauto gem leeg --> Centrum	1,33	9	79,30	6
10H1	trekker --> Duiven	0,62	8	30,00	5
10H2	bus --> Centrum	0,51	10	30,90	



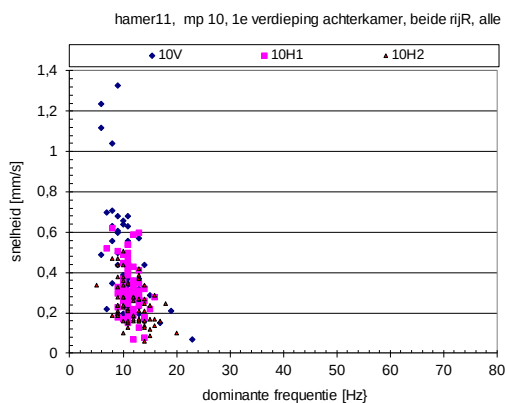
Figuur 4-8: Meetpunt naast de weg (links) en tussen weg en de gevel (rechts)

Woning Hamerstraat 11



Figuur 4-9: Meetpunt naast de gevel (links) en aan de gevel (rechts)

Woning Hamerstraat 11



Figuur 4-10: Meetpunt op de vloer

Woning Hamerstraat 11

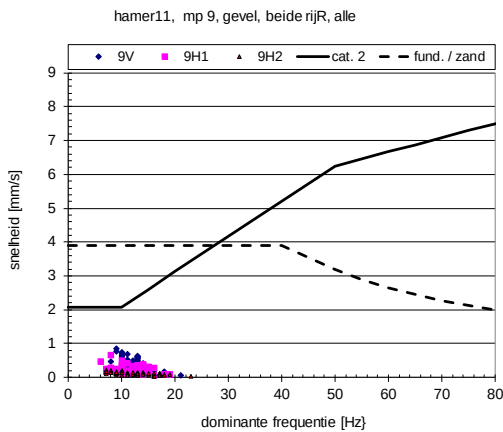
4.2.2 Toetsing SBR A

In onderstaande tabel en figuren zijn de meetresultaten van het gevelmeetpunt van de woning vergeleken met (en getoetst aan) de grenswaarde(n).

Opgemerkt wordt dat in de figuur de meetwaarden exclusief partiële factor voor de soort meting zijn weergegeven, deze factor is in de tabel in de grenswaarde verwerkt. Volledigheidshalve zijn zowel de grenswaarde lijnen voor een draagconstructie op palen als een fundering op staal weergegeven.

Tabel 4-6: Toetsing SBR A, Hamerstraat 11, MP 9 alle type voertuigen

MP	Omschrijving	Freq. [Hz]	$V_{top}^{1)}$ [mm/s]	Draagconstructie		Trillingsgevoelige fundering	
				$V_r^{2)}$ [mm/s]	Toetsing ²⁾	$V_r^{2)}$ [mm/s]	Toetsing ²⁾
9V	vrachtauto oplegger heavenbound --> Centrum	8	1,25	3,3	Voldoet	6,3	Voldoet
9H1	vrachtauto gem vol --> Centrum	6	0,96	3,3	Voldoet	6,3	Voldoet
9H2	vrachtauto gem leeg --> Centrum	7	0,33	3,3	Voldoet	6,3	Voldoet
3) V_{top} waarde incl., V_r waarde excl. Partiele factor type meting							
4) Voldoet <i>impliceert</i> geen overschrijding, voldoet niet <i>impliceert</i> een overschrijding							



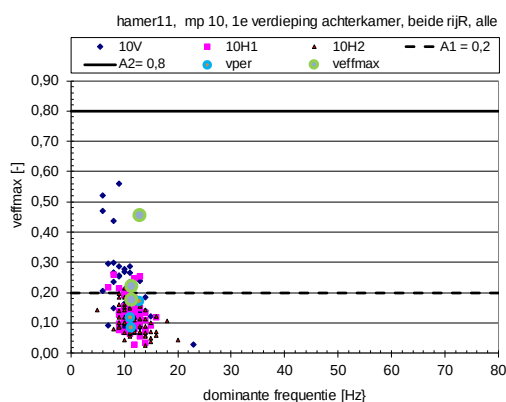
Figuur 4-11: Toetsing SBR A, meetpunt aan de gevel
MP 9, Woning Hamerstraat 11

4.2.3 Toetsing SBR B

In onderstaande tabel en figuren zijn de meetresultaten van het vloermeetpunt van de woning vergeleken met (en getoetst aan) de streefwaarde(n).

Tabel 4-7: Toetsing SBR B, Dorpstraat 112, MP 5, vrachtauto en grondkar

MP	Omschrijving	$V_{kar}^{1)}$ [mm/s]	$V_{eff,max}^{2)}$ [-]	Toets 1	Toets 2	
				Toesting ²⁾	$V_{per}^{2)}$ [-]	Toesting ²⁾
10V	vrachtauto gem leeg --> Centrum	1,08	0,46	hinder ?	0,17	hinder A3
10H1	trekker --> Duiven	0,53	0,22	hinder ?	0,12	hinder A3
10H2	bus --> Centrum	0,42	0,18	geen hinder	0,08	geen hinder
3) V_{kar} karakteristieke waarde van de effectief maxima (=95% waarde) 4) Hinder? <i>impliceert</i> een overschrijding van streefwaarde A1 en dat toets 2 uitgevoerd wordt. Geen hinder <i>impliceert</i> geen overschrijding van A2 of A3, hinder <i>impliceert</i> of overschrijding streefwaarde A2 of overschrijding streefwaarde A3 Voldoet <i>impliceert</i> geen overschrijding, voldoet niet <i>impliceert</i> een overschrijding						



Figuur 4-12: Toetsing SBR B, meetpunt op de vloer, 1^e verdieping achterkamer
MP 10, Woning Hamerstraat 11

4.3 Resume beoordelingen SBR A en SBR B

In onderstaande tabel is een samenvatting opgenomen van de meetresultaten en de beoordelingen voor het meetpunt aan de gevel (SBR A) en voor het meetpunt op de vloer (SBR B).

Tabel 4-8: Aantallen passages

Locatie	Voertuig	Rijrichting centrum	Rijrichting Duiven	Intensiteit dagperiode ¹⁾
Dorpstraat 112	Vrachtauto	20	28	15 / uur (180 dagperiode)
	Grondkar	15	15	
	Anders	13	17	
Hamerstraat 11	Vrachtauto	19	14	15 / uur (180 dagperiode)
	Anders	12	20	

1) Schatting, t.b.v. analyses hinderbeleving SBR B

Tabel 4-9: Samenvatting meetresultaten [mm/s]

Locatie	Gevel [mm/s]	Benodigde reductie ¹⁾	Vloer [mm/s]	Benodigde reductie ¹⁾
D 112, vrachtauto	MP 4 / 0,90 – 1,10	2,1 mm/s – n.v.t.	MP 5 / 0,85 – 1,15	0,48 mm/s – 30% tot 35%
D 112, grondkar	MP 4 / 0,60 – 1,00	2,1 mm/s – n.v.t.	MP 5 / 0,60 – 0,80	0,48 mm/s – 20% tot 25%
Hamerstraat 11	MP 9 / 0,70 – 0,85	2,1 mm/s – n.v.t.	MP 10 / 1,00 – 1,35	0,48 mm/s – 45% tot 55%
1) Om te kunnen voldoen aan de grenswaarde (SBR A) en / of streefwaarde A1 (SBR B)				

Tabel 4-10: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A		SBR B ¹⁾	
	indeling ¹⁾	risico ^{2) 4)}	indeling ¹⁾	risico ^{3) 4)}
Dorpstraat 112, vrachtauto	Cat. 2, NBS	GR	B, W	MH, A3, ST
Dorpstraat 112, grondkar	Cat. 2, NBS	GR	B, W	MH, A3, N
Hamerstraat 11	Cat. 2, NBS	GR	B, W	MH, A3, SP
1) SBR A, BS – bouwkundige staat (N – niet) SBR B, B = bestaande situatie, N = nieuwe situatie SBR B, W = wonen, K = kantoor 2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot 3) WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (= voelbaar), H = hinder (goed voelbaar) 4) SP = sporadisch, ST = structureel, N = net, F = fors				

5. Analyse trillingsoverdracht en effect maatregelen

5.1 Modellerings VP-drempel en CUR 166

Onderscheid wordt gemaakt in analyses met maatregelen bij de bron, welke zijn geanalyseerd met het rekenprogramma VP-drempel, en analyses met maatregelen in het medium, welke zijn geanalyseerd met de prognosemethodiek conform het handboek CUR 166 "Damwandconstructies".

Rekenprogramma VP-drempel

In het door TNO ontwikkelde computerprogramma Vibra Prediction is de module VP-drempel opgenomen. Met deze module is de invloed van verkeerstrillingen op aangrenzende panden voor zowel de huidige als een toekomstige situatie te analyseren. De module berekent de trillingsinvloed van verkeerspassages rijdend over (verkeers)drempels en wegoneffenheden.

Met het prognosemodel VP-drempel wordt een indicatie verkregen van de effecten van het toepassen van een van de genoemde maatregelen, eventueel in combinatie met elkaar.

Invoer parameters VP drempel

In het programma VP-drempel dienen parameters met betrekking tot de trillingsbron, het medium (de ondergrond en de wegconstructie) en de bebouwing te worden ingevoerd. Daarnaast dient te worden aangegeven of er sprake is van een "bestaande" dan wel "toekomstige" situatie. Omdat in dit geval geen sprake is van een drempel (huidig dan wel toekomst) zijn hiervoor fictieve waarden aangehouden. Zonder invoer hiervan werkt het programma niet.

In het programma vraagt parameters met betrekking tot:

- De trillingsbron (type voertuig, verkeersintensiteiten en snelheid). Bepalend voor de dynamische belasting op het wegdek zijn de massa en rotatietraagheid van de bovenbouw van het voertuig, de massa, veer- en demperkarakteristieken van de assen. In het programma zijn een aantal typen voertuigen (meest voorkomend) geïmplementeerd.
- Het medium (de ondergrond en de wegconstructie). Het programma kent een 7-tal voor Nederland kenmerkende bodemprofielen (vergelijkbaar met de bodemprofielen uit CUR 166 "Damwandconstructies").
- De ontvanger / bebouwing (categorie indeling, constructiewijze, vloeren e.d). De opslingering van de trillingsintensiteit bij / binnen het pand is afhankelijk van onder andere de constructiewijze van het pand (houten / betonvloer), de overspanningen van de vloer, de wandconstructie en van de stijfheid van het pand.

Prognosemethodiek CUR 166

In de bijlage "Toelichting Modelleren Trillingen" wordt nader ingegaan op de theoretische achtergrond over een modellering van trillingen.

In het handboek CUR publicatie 166 'Damwandconstructies' is een prognose methodiek voor trillingen opgenomen. Voor 7 "standaard" bodemprofielen zijn waarden voor de bronintensiteit van de trillingsintensiteit voor een trillingsbron als heien van palen of trillen van damwanden opgenomen. Door de bronwaarde van het "standaardprofiel" te correleren / te fitten naar de grondcondities / meetresultaten van de projectlocatie, is met lokale omstandigheden rekening gehouden. Het model is vooral opgezet voor analyses van trillingssnelheden.

Omdat de karakteristieken van de trilling als gevolg van een voertuigpassage vergelijkbaar is met die van een herhaald kortdurende trilling (hei-activiteit), is in het prognosemodel de module voor heien gehanteerd (geen module voor een continu trilling die voor trillen van damwanden geldt).

De belangrijkste parameters die tot een fit leiden zijn:

- De gemiddelde bronsnelheid op referentie afstand 5 m (u5m).
- De variatiecoëfficiënt.
- De dempingsconstante grond.
- Het effectieve "energieniveau" vanuit de bron.

In tegenstelling tot de in CUR 166 (6e druk) gehanteerde "vereenvoudigde" lognormale verdeling voor de bronwaarde, wordt in de analyses, uitgegaan van een normale verdeling. Op basis van praktijkervaring waarbij prognosewaarden vergeleken zijn met meetwaarden is gebleken dat een "normale verdeling" beter aansluit.

Reductie percentages

Voor beide modellen (VP-drempel en CUR166) geldt dat om het model te fitten dat de trillingsmeetresultaten van de uitgevoerde trillingsmetingen zijn gebruikt.

Uit de analyses van de meetdata van het meetpunt aan de draagconstructie dan wel op de vloer, volgt een benodigd percentage voor de trillingsreductie om aan de grenswaarde c.q. streefwaarde te kunnen voldoen. Verwacht mag worden dat, indien de optredende trillingsintensiteiten met dit percentage gereduceerd zijn (worden), aan de grenswaarde (SBR A) dan wel aan streefwaarde A1 (SBR B) kan worden voldaan.

5.2 Trillingsreducerende maatregelen

Mogelijke trillingsreducerende maatregelen (algemeen gesteld)

Voor trillingen veroorzaakt door passages van (zwaar)verkeer zouden in algemene zin de in onderstaande tabel opgenomen maatregelen kunnen worden toegepast.

Tabel 5-1: Mogelijke trillingsreducerende maatregelen

Nr	Maatregel	Hoe ?	Toepasbaar (of wenselijk) 1)	
	<u>Bij de bron</u>		D112	H11
B1	• Snelheidsreductie	Rijsnelheid verlagen	(Ja)	(Ja)
B2	• Verlaging verkeersintensiteit	Verkeer weren	Nee	Nee
B3	• Beperken tonnage	Inzet ander rijdend materieel	Nee	Nee
B4	• Geometrie drempel / plateau	Lagere hoogte, op-/afrit verlengen	Nee	Ja
	<u>In het medium</u>			
M1	• Afstand vergroten		(Ja)	(Ja)
M2	• Wegconstructie aanpassen		-	-
M2.1	o Funderingsdikte	Dikker	Nee	Nee
M2.2	o Wegvlakheid	Gladder c.q. vlakker	Ja	Ja
M2.3	o Wegbreedte	Doorvoeropening smal (vernauwing)	(Ja)	(Ja)
M2.4	o Isoleren	Afschermen / opsluiten	Ja	Ja
M3	Transmissie doorbreken	Trillings scherm, naast weg of naast woning	Ja	Ja
	<u>Bij de ontvanger ²⁾</u>			
O1	Fundering	Zwaarder uitvoeren / onderstijven	Nee	Nee
O2	Skelet	Verstijvingen / verzwaring onderdelen	Nee	Nee
1)	tussen haakjes geplaatste optie zijn mogelijk maar minder wenselijk			
2)	Maatregelen zouden wel genomen kunnen worden, maar zijn in dit geval niet beschouwd			

(B1) Reductie maximum snelheid

De invloed van de rijnsnelheid is kwadratisch op de gegenereerde trillingen ten gevolge van het passerende voertuig. Er geldt momenteel een maximale snelheid van 50 km/uur. Gepland is deze maximumsnelheid te handhaven.

(B3) Beperken tonnage

De invloed van de zwaarte van het voertuig (en de as-afstanden van het voertuig) hebben grote invloed bij de aanstoot van de trillingen. Op moment dat de rijnsnelheid in relatie tot de as-afstand dusdanig is dat deze vergelijkbaar is met de "eigen frequentie" van de ondergrond, zal een passage een hogere trillingsintensiteit leveren dan als deze ver uit elkaar liggen.

(M2) Aanpassen wegconstructie

Ten aanzien van een aanpassing van de wegconstructie zijn een aantal opties beschikbaar:

Constructiedikte weg (M2.1)

De dikte van het funderingspakket is een niet-zichtbare belangrijke factor voor trillingsoverdracht. Rekentechnisch (VP-drempel) is aangenomen dat in de huidige weg een funderingsconstructie van circa 0,5 m onder de elementenverharding / BSS met straatzand en menggranulaat aanwezig is. Het aanbrengen van een extra pakket van meer dan 0,25 m

zal een belangrijke bijdrage leveren in de afname van trillingshinder. Opgemerkt wordt dat het programma VP-drempel enkel de variaties van 0,25 m, 0,5 m en 1,0 m kent, zodat geen analyses met tussenliggende waarden kunnen worden geanalyseerd.

Wegverharding (M2.2)

Door onvlakheden, zoals slecht wegdek, putdeksels, overgangen e.d. wordt in grote mate de dynamische stootbelasting van het voertuig op de weg / ondergrond vergroot. De trillingsintensiteit in de bodem (en omgeving) wordt daarmee eveneens verhoogd. De wegruwheid en wegvlakheid zijn belangrijke parameters voor de trillingsintensiteit. De door het wegverkeer gegenereerde trillingen zijn evenredig met de wortel van de wegonvlakheid (zolang de mate van de trillingsdemping door de wegverharding gering is).

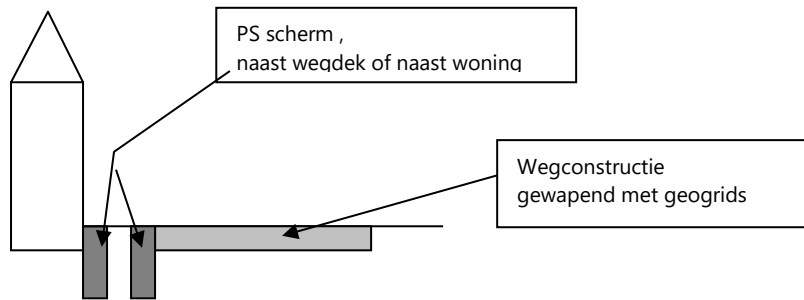
Afschermen / opsluiten wegconstructie (M2.4)

Met het toepassen van een geogrid/geotextiel wordt ervoor gezorgd dat de funderingslaag onder de bestrating bij elkaar blijft en niet gaat leunen tegen de stoepbanden. Directe aanstoot wordt daarmee enigszins voorkomen. Op het moment dat een stoep direct tegen de gevel van de woning is aangelegd, kan het zo zijn dat daarmee een directe doorgave van trillingen in de verhardingslaag kan optreden.

Trillingsscherm (M3)

Met het doorbreken van de transmissie (trillingsscherm) dient gedacht te worden aan het doorbreken van de verharding tussen de weg en de gevel van de woning. Gepoogd wordt de transmissie van de trillingen vanuit de wegverharding naar de gevel te verhinderen, zodat de trillingsintensiteit aan of in de woning geringer wordt. De doorbreking van de grondlagen wordt gerealiseerd door een stijfheidsverschil (over enige dikte) tussen de verharding en de woningen te creëren. Bijvoorbeeld door een sleuf op te vullen met licht materiaal en deze af te dekken met een stoepband of iets dergelijks (dit is een PolyStyreen trillingsscherm). Er bestaat geen eenvoudige analytische rekenmethodiek om de invloed van sleuven kwantitatief te bepalen. Met geavanceerde rekenmodellen (b.v. Eindige Elementen Methode PLAXIS) zijn dergelijke dynamische aspecten wel te beschouwen.

Uit de literatuur is bekend dat indien voldoende stijfheidsverschil over voldoende dikte tussen bron en ontvanger aangebracht wordt, een redelijke reductie van de trillingsintensiteiten optreedt direct achter het "scherm". Het scherm is dicht tegen het pand dan wel direct naast de weg (bron) aan te brengen. Het scherm dient beschermd te worden tegen milieutechnische invloeden (bijvoorbeeld oliën) en afgedekt te worden met een beschermlaag (tegels). In onderstaande figuur is schematisch aangegeven wat bedoeld wordt.



Figuur 5.1: Voorbeeld plaatsing scherm tussen weg en pand

Een breed ondiep scherm levert een grotere reductie op dan een smal diep scherm. Omdat de golflengte van de oppervlakte golven van verkeerstrillingen erg lang kan zijn (> 10 m), zal bij een ondiep scherm een substantieel deel van de golfenergie (Rayleigh golven) onder het scherm, ongestoord passeren. De invloed van de dikte van het scherm is minder naarmate het scherm dieper is aangebracht. Voor iedere combinatie van dikte (d) en diepte (h) van het scherm is een optimum van de trillingsreductie te bepalen.

Naarmate het scherm op grotere afstand tot de bron staat, zal de trillingsreductie minder zijn. Daarnaast spelen de gelaagdheid van de ondergrond en de stijfheidsverschillen tussen de grond, waarin het scherm wordt aangebracht en het scherm zelf, een rol.

De dimensies van het scherm zijn mede afhankelijk van het benodigde reductiepercentage om aan de grenswaarde (of streefwaarde) te voldoen. Het benodigde reductiepercentage volgt uit een analyse van de meetdata en de grens- c.q. streefwaarde A1.

In algemene zin wordt enig gunstig effect pas verwacht indien de het EPS circa 1 m tot 1,5 m diep is aangebracht en een dikte heeft van circa 0,3 m tot 0,5 m. Meestal is ter plekke van de woningen de ruimte voor het aanbrengen van een dergelijke sleuf te beperkt. Daarnaast kunnen geotechnische draagkracht problemen optreden (stabiliteit fundering op staal). Praktisch gezien kunnen de EPS blokken dusdanig gezaagd / gesneden worden dat kabels en leidingen hier niet door gehinderd worden.

Ervaringen Fugro trillingschermen

In het verleden is door Fugro met een Eindig Elementen Model (PLAXIS) het effect beschouwd van een trillingsscherm c.q. het onderbreken van de vaste toplaag. Uit deze beschouwing volgt dat voor woningen gefundeerd op staal het onderbreken van een vaste toplaag een trillingsreducerend effect heeft van 40% tot 60%.

Door Fugro zijn voor een aantal vergelijkbare projecten trillingsmetingen (voorafgaand en na aanbrengen van het scherm) en adviezen voor toepassen van trillingsschermen uitgebracht. In Voorhout / Uithoorn zijn reducties van circa 70% tot 80% verwezenlijkt, in Uithoorn circa 60% tot 75%. In Vlaardingen en Breda reducties van circa 50% tot 60%.

Opgemerkt wordt dat alleen op basis van het ontwerp van een trillingsscherm (dat van diverse factoren afhankelijk is), geen garantie kan worden afgegeven op een te realiseren

reductiefactor. Geadviseerd wordt om na het aanbrengen van een trillingsscherm een herhalingsmeting te laten uitvoeren naar de effectiviteit van het scherm.

5.3 VP-drempel

5.3.1 Mogelijke maatregelen

Ten aanzien van het toepassen van een mogelijke maatregel geldt dat bij de ontvanger (particulier) geen maatregelen uitvoerbaar geacht / gewenst zijn. Bij de bron (het verkeer en de wegconstructie) zou een aanpassing mogelijk kunnen zijn.

In onderstaande tabel zijn de mogelijk te nemen maatregelen tezamen met een invulling ervan opgenomen.

Tabel 5-2: Mogelijke trillingsreducerende maatregelen m.b.v. VP-drempel

Nr	Maatregel	Hoe ?	
	<u>Bij de bron</u>		
B1 B4	• Snelheidsreductie • Geometrie drempel / plateau	Van 50 km/uur naar 30 km/uur Vormgeving	
	<u>In het medium</u>		
M1 M2 M2.2	• Afstand vergroten • Wegconstructie aanpassen - o Wegvlakheid ¹⁾	Circa 2,5 m opschuiven (slingerende weg) Van goed naar zeergoed	
1) De huidige toestand van de klinkers is goed (afgezien van enkele puitdeksels /oneffenheden)			

5.3.2 IJking

Voordat een prognose van het effect van de maatregel gemaakt kan worden, dient het model gefit / geijkt te worden aan een huidige situatie. Opgemerkt wordt dat het programma vraagt om geometrische gegevens van een verkeersdrempel. Omdat echte drempels er in werkelijkheid niet zijn, zijn hier fictieve gegevens voor ingevuld, zodanig dat de verkregen waarden vergelijkbaar zijn met de meetwaarden.

Het ijken van het model geschiedt eerder op "hinderbeleving" dan op "schade". De situatie voor schade wordt daarmee impliciet meegenomen. Doorgaans is het zo dat indien geen hinderbeleving aanwezig is, er ook geen schade optreedt. Wat inhoudt dat de geprognosticeerde waarden voor schade sterk kunnen afwijken van de meetwaarden voor schade aan de draagconstructie. Bij het analyseren van de effecten van maatregelen gaat het immers om het reduceren van de schade EN hinderbeleving.

Het rekenprogramma kent verschillende type voertuigen waaronder vrachtauto's en bussen en kent verschillende grondprofielen. Het grondprofiel op locatie is geschematiseerd op basis van in de omgeving uitgevoerd grondonderzoek. Dit profiel is vergeleken met de in het programma aanwezige grondprofielen.

Opgemerkt wordt dat de geometrische gegevens van de drempel als ijkvariabelen zijn gehanteerd. Zonder invoer ervan rekent het programma niet. Bij de analyses van de effecten van een maatregel, zijn na ijkking deze dimensies geen variabele meer.

In onderstaande tabel zijn de voor verdere analyses bijbehorende invoerwaarden voor het programma opgenomen.

Tabel 5-3: Invoerparameters VP-drempel, IJking

	omschrijving	Dorpstraat 112	Hamerstraat 11
<u>Bron</u>	Type voertuig	vrachtauto (13 en 20 ton Bus 200MB (vol en leeg)	Idem
	Rijsnelheid	50 km/uur	Idem
	Intensiteit (dag / avond / nacht)	180 / 90 / 45	Idem
	Wegfundering	0,5 m	Idem
	wegvalkheid	Goed	idem
Drempel ²⁾	Hoogte drempel / plateau [m]	0,18	0,30
	Lengte drempel / plateau [m]	0,1	0,1
	Lengte op- / afrit [m]	0,5 m	0,5
	Vorm op- / afrit	Sinus	Sinus
Medium	Bodemprofiel	Rotterdam	Idem
Ontvanger	SBR A, categorie	Cat. 2, niet bouwkundig gevoelig	Idem
	Fundering (op palen/op staal)	Op staal (geen palen)	Idem
	Stijheid (horizontaal / verticaal)	Laag / Laag	Idem
	Type vloer	hout	Idem
	Vloeroverspanning	5,0 m	Idem
	Gebouwdiepte	10,0 m	Idem
	SBR B, functie ruimte	Wonen	Idem
Afstand ¹⁾	Meetpunt aan de gevel	9,0	15
	Meetpunt op de vloer	20,0	25
1)Vanaf hart rijstrook			
2)Drempel gegevens zijn fictief (zonder invoer rekent het programma niet)			

5.3.3 Resultaten VP-drempel

In onderstaande tabel is een samenvatting van de analysesresultaten opgenomen. Vermeld zijn percentages ten opzichte van het geijkte profiel. Zowel het effect van een enkele maatregel als het effect van een combinatie van maatregelen is beschouwd.

Tabel 5-4: Effect (combinatie van) maatregel, Dorpstraat 112

Nr	Maatregel	B1 (v = 30 km/uur)	M1 (X = X + 2,5)	M2.2 (zeer goed)
B1	30 km/uur	30%	35%	35%
M1	<u>afstand.</u>		5%	5%
M2.2	<u>Weg.vlak "zeer goed"</u>			5%

Tabel 5-4: Effect (combinatie van) maatregel, Hamerstraat 11

Nr	Maatregel	B1 (v = 30 km/uur)	M1 (X = X + 2,5)	M2.2 (zeer goed)
B1	30 km/uur	10%	10%	10%
M1	<u>afstand.</u>		5%	5%
M2.2	<u>Weg.vlak "zeer goed"</u>			5%

Maatregel B4. Vormgeving "drempel"

In Westervoort is geen sprake van een drempel, echter zijn in de rijstroken vele putdeksels en "naden" van oneffenheden aanwezig. Met het programma zijn hiervan de effecten niet te berekenen.

Maatregel M2.4. Opsluiten funderingsconstructie

Met VP-drempel is niet het effect van het opsluiten van de funderingsconstructie (maatregel M2.4) te berekenen. De verwachting is dat een met het toepassen van een geotextiel als bindmiddel van het menggranulaat onder de klinkers doorgaans een reductie verkregen kan worden van 5% tot 10%.

5.4 Prognosemodel CUR 166

5.4.1 Uitgangspunten

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

De prognoses methodiek uit het handboek CUR 166 "Damwandconstructies" bevat bronwaarden als input voor het model, waarbij een tweetal modules gelden (module heien en module trillen). De bronwaarden gelden voor een standaard grondprofiel van Nederland. Door de grondcondities van de projectlocatie te relateren aan een van de standaardprofielen wordt rekening gehouden met lokale omstandigheden.

Omdat de karakteristieken van de trilling als gevolg van een voertuigpassage vergelijkbaar is met die van een herhaald kortdurende trilling (hei-activiteit), is van het prognosemodel de module voor heien gehanteerd (geen module voor een continu trilling die voor trillen van damwanden geldt).

Gezien de grondlagen opbouw is een grondprofiel "Rotterdam" van toepassing.

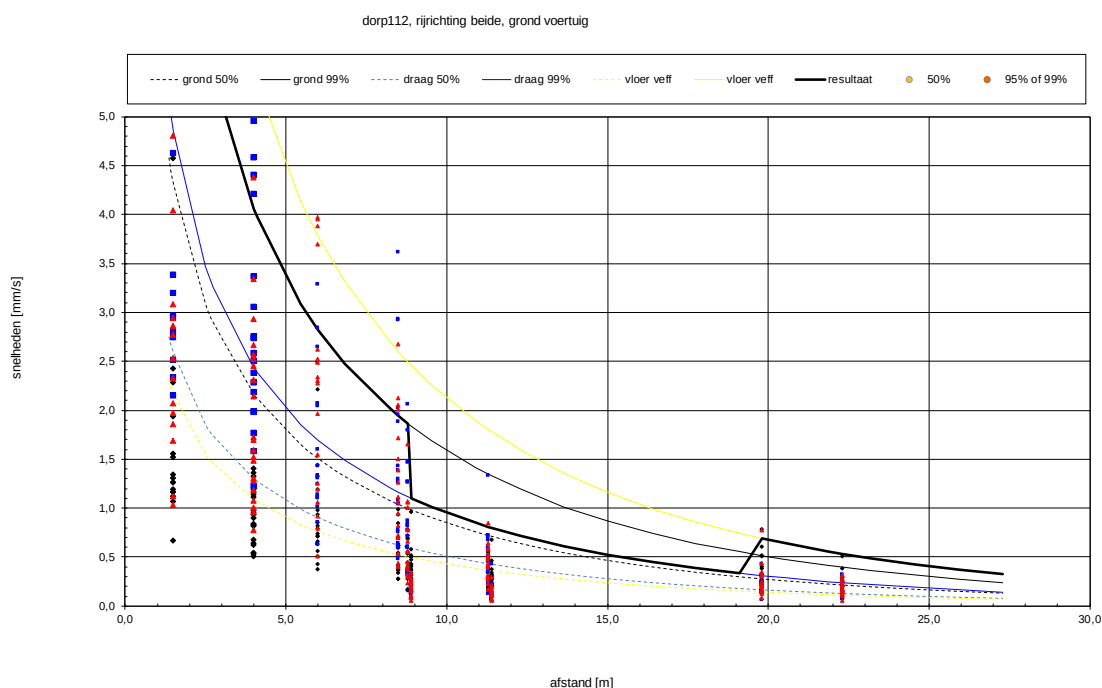
5.4.2 IJking en resultaten CUR166

Bij de meting zijn verschillende meetpunten op maaiveld en meetpunten aan de gevel / op vloeren ingericht. De afstand van de meetpunten is genoteerd. Door de meetresultaten versus de afstand te plotten, kunnen vervolgens de prognoselijnen geldig voor "grond" voor "aan de draagconstructie" en "vloeren" op de meetwaarden geijkt / gefit worden.

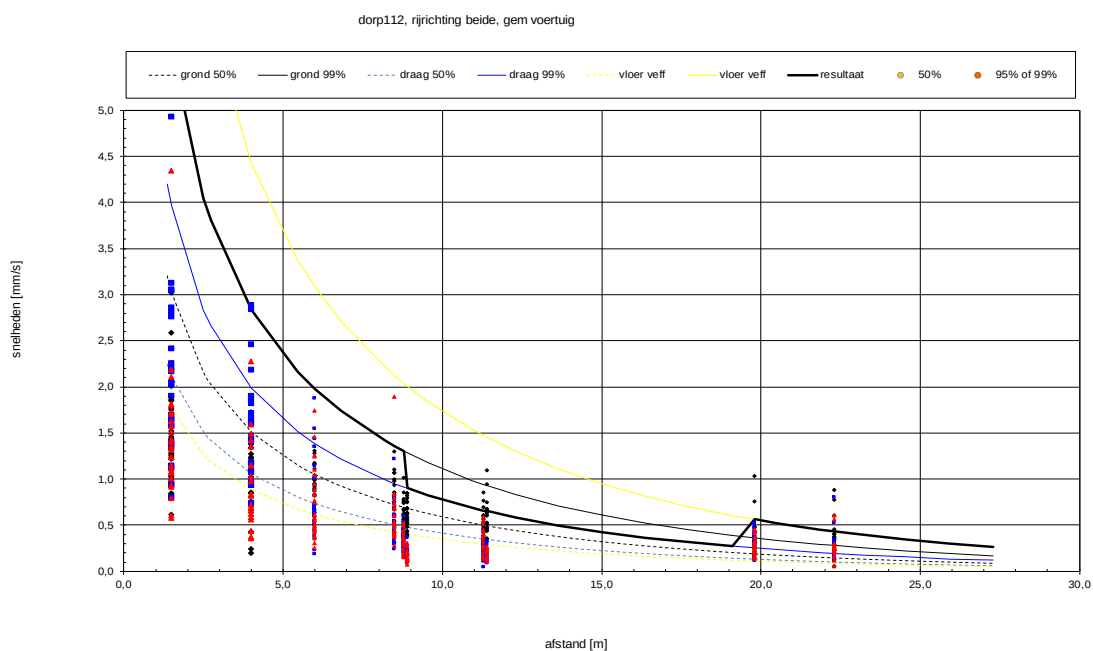
In onderstaande figuren zijn een "best fit" van de prognose lijnen weergegeven. De meetwaarden (X, Y, Z) zijn per meetpunt weergegeven met puntjes/symbolen. Voor de grond geldt de dunne donkere lijn, de blauwe lijn geldt voor de draagconstructie en de gele lijn is geldig voor de vloeren. De dikke donkere lijn is de resultante, waarbij deze bij de gevel overgaat van "grond" naar "draagconstructie" om daarna over te gaan naar "vloeren".

Tabel 5-5: Invoerparameters model CUR166, IJking, Dorpstraat 112

	Omschrijving	Grondkar	Vrachtauto
Bronwaarde v_{5m} "heien"	[mm/s]	0,040	0,028
Variatiecoëfficiënt	[%]	0,4	0,4
"Energieniveau heiblok"	[kNm]	2	2
Dempingsconstante grond $1/\alpha$	[m ⁻¹]	0,08	0,08
Factor grond --> draag ¹⁾	[kNm]	0,6	0,7
Factor draag --> vloer	[kNm]	2,0	2,0
1) Draag = draagconstructie			



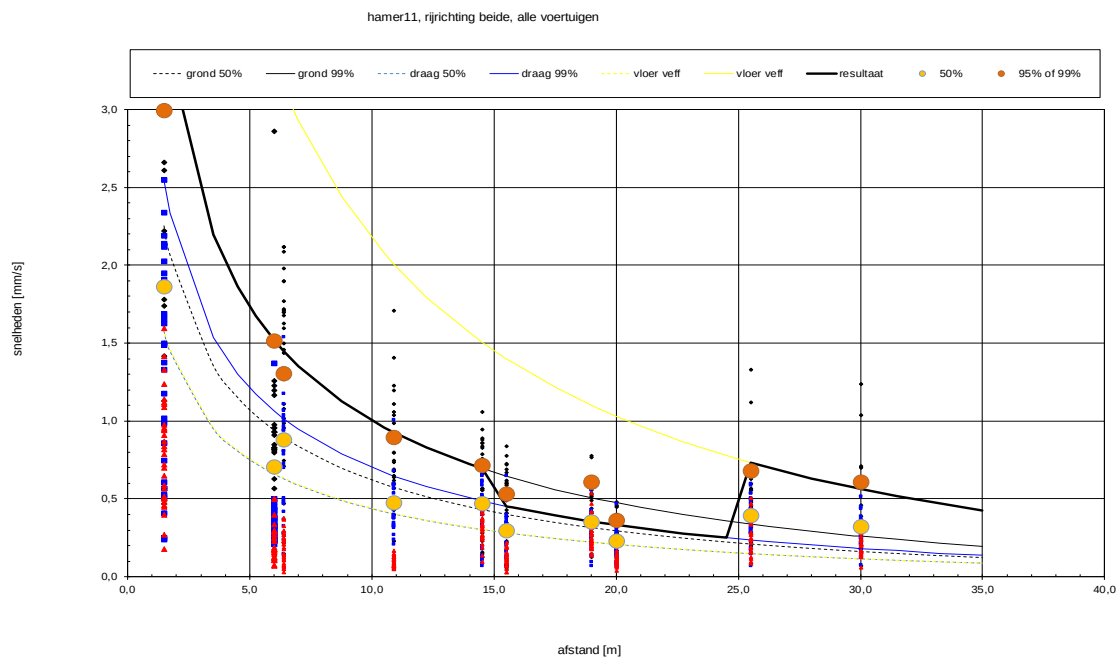
Figuur 5.1a: Postdictie, Dorpstraat 112, Grondkar



Figuur 5.2b: Postdictie, Dorpstraat 112, vrachtauto

Tabel 5-6: Invoerparameters model CUR166, IJking, Hamerstraat 11

Grootheid	Eenheid	Waarde	
Bronwaarde v_{5m} "heien"	[mm/s]	0,024	
Variatiecoefficient	[%]	0,3	
"Energieniveau heiblok"	[kNm]	2	
Dempingsconstante grond $1/\alpha$	[m ⁻¹]	0,04	
Factor grond --> draag ¹⁾	[kNm]	0,7	
Factor draag --> vloer	[kNm]	2,4	
1) Draag = draagconstructie			

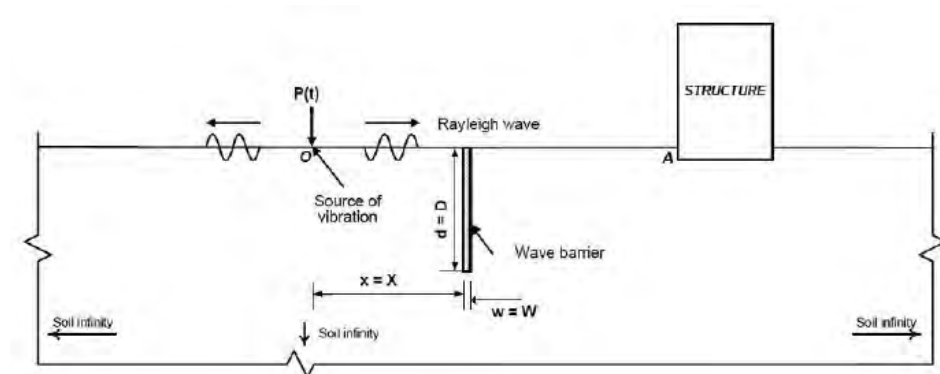


Figuur 5.3: Postdictie, Hamerstraat 11

5.5 Maatregel M3 Trillingscherm

Uit de grafische CUR 166 weergave volgt dat bij passerend zwaar verkeer sprake is van een demping naar het pand (overdracht van grond naar gevel laat een afname zien) en dat intern in het pand een opslingingering optreedt (overdracht van gevel naar vloer laat een toename zien). Geconcludeerd kan worden dat de bebouwing gevoelig is voor trillingen, enige aanstoot aan de gevel leidt al tot voelbare trillingen op de vloer.

De werking van een trillingscherm is gebaseerd op reflectie / refractie van een trillingsgolf. Van invloed zijn de karakteristieken van de inkomende trilling (amplitude en frequentie), de locatie van het scherm in relatie tot de golflengte en de dimensies ervan (dikte en diepte). In onderstaande figuur is het principe weergegeven.



Figuur 5.3: Principe trillingscherm

In onderstaande tabel zijn de analyses resultaten voor een mogelijk trillingsscherm weergegeven.

Tabel 5-6: Maatregel M3, trillingscherm

		Dorpstraat 112 Vrachtauto / grondkar	Hamerstraat 11 vrachtauto
Benodigde reductie (SBR B, A1) (o.b.v. metingen tabel 4.9)	[%]	20% tot 35%	45% tot 55%
Gemeten frequenties	[Hz]	10 – 15 / 10 – 22,5	Circa 10
Afstand bron tot scherm (locatie naast weg)	[m]	2,5	2,5
Afmetingen PS scherm (dikte en hoogte)	[m x m]	0,15 x 1,25	0,20 x 1,35
Reductie (verwachting) ¹⁾	[%]	45% tot 55%	65% tot 75%

6. Conclusies en aanbevelingen

Opdrachtverstrekking

In opdracht van Gemeente Westervoort te Westervoort heeft Fugro Land NL een trillingenonderzoek uitgevoerd. Het onderzoek heeft bestaan uit bemande trillingsmetingen (uitgevoerd op 6 mei 2020, inzet versnellingenmeetsysteem) en een advies ten aanzien van trillingen als gevolg van passerend verkeer.

In een eerder van het project zijn door derden onbemande trillingsmetingen uitgevoerd (periode april 2017 en november 2017), waarbij automatisch registrerende systemen zijn ingezet.

Situatie

Na oplevering van de renoveerde Dorpstraat te Westervoort zijn bij de gemeente klachten gemeld over voelbare trillingen. Met een aanvullende meting, uitgevoerd op 6 mei 2020) heeft een door de gemeente ter beschikking gestelde vrachtauto en grondkar de meetopstellingen diverse keren beladen en onbeladen gepasseerd.

De bemande trillingsmetingen zijn uitgevoerd bij woningen Dorpstraat 112 en Hamerstraat 11, waarbij naast meetpunten op maaiveld tussen de weg en de woning, meetpunten aan de draagconstructie (SBR A) en op een vloer (SBR B) zijn geplaatst.

Belendingen

De (vrijstaande) woningen aan de Dorpstraat / Hamerstraat zijn opgetrokken uit metselwerk. Een groot deel van de bebouwing bestaat uit 2 bouwlagen, waarbij houten vloeren zijn toegepast (verwachting). De afstand van de woningen varieert van circa 10 m tot 15 m.

Wegsituatie

Voor de weg geldt het volgende (situatie 2016):

- Wegdek beton straatstenen klinkers in goede staat, kolken /(blinde) putdeksels in rijbaan, enkele (lokale) verzakkingen
- Fundering zand met menggranulaat (dikte circa 30 cm);
- Maximale rijsnelheid 50 km/uur

Toetsingskader

Van toepassing zijn richtlijn SBR A 2017 "*Schade aan bouwwerken*" en richtlijn SBR B "*Hinder voor personen*". Conform SBR A, zijn de woningen aan de Dorpstraat / Hamerstraat ingedeeld in categorie 2, waarbij deze als niet bouwkundig gevoelig zijn aangemerkt (ondanks de aanzienlijke ouderdom van enkele woningen). Er is geen sprake van een monumentale status. Conform SBR B, zijn voor de woningen de functie wonen en een bestaande situatie van toepassing.

Meetresultaten en reductiepercentages

De benodigde reductiepercentages volgend uit een vergelijking tussen de meetresultaten van de meetpunten aan de draagconstructie c.q. op de vloer, met de grens- en streefwaarden. Met een postdictie (model CUR 166) zijn de opslinger (of damping) factoren bepaald. In onderstaande tabel is o.a. een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 6.1: Samenvatting reductiepercentages en opslingeringsfactoren

Locatie	Dorpstraat 112	Hamerstraat 11
Meetresultaat aan de draagconstructie	MP 4 / 0,6 – 1,1 mm/s	MP 9 / 0,70 – 0,85 mm/s
Meetresultaat op de vloer	MP 4 / 0,6 – 1,1 mm/s MP 5 / 0,6 – 1,15 mm/s MP 5 / 0,6 – 0,8 mm/s	MP 10 / 1,0 – 1,35 mm/s
SBR A, Grenswaarde / reductie ¹⁾	2,1 mm/s – n.v.t.	2,1 mm/s – n.v.t.
SBR B, Streefwaarde A1 / reductie ¹⁾	0,48 mm/s – 30% tot 35%	0,48 mm/s – 45% tot 55%
Opslengeringsfactor		
- van grond naar draagconstructie	60% / 70%	70%
- van draagconstructie naar vloer	200%	240%
1) Om te kunnen voldoen aan de grenswaarde (SBR A) en / of streefwaarde A1 (SBR B)		

Conclusies en beoordeling meetresultaten

In onderstaande tabel (=tabel 4.10) is een samenvatting opgenomen van de beoordelingen voor het meetpunt aan de gevel (SBR A) en voor het meetpunt op de vloer (SBR B).

Tabel 4-10: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A		SBR B ¹⁾	
	indeling ¹⁾	risico ^{2) 4)}	indeling ¹⁾	risico ^{3) 4)}
Dorpstraat 112, vrachtauto	Cat. 2, NBS	GR	B, W	MH, A3, ST
Dorpstraat 112, grondkar	Cat. 2, NBS	GR	B, W	MH, A3, N
Hamerstraat 11	Cat. 2, NBS	GR	B, W	MH, A3, SP
1) SBR A, BS – bouwkundige staat (N – niet) SBR B, B = bestaande situatie, N = nieuwe situatie SBR B, W = wonen, K = kantoor 2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot 3) WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (= voelbaar), H = hinder (goed voelbaar) 4) SP = sporadisch, ST = structureel, N = net, F = fors				

(SBR A): Omdat de verhoogde waarden aan de gevel dusdanig zijn dat deze onder de grenswaarde liggen, wordt geconcludeerd dat het passerende (zwaar)verkeer niet tot risico op constructieve schade heeft geleid (= aanvaardbaar klein).

(SBR B): Omdat de verhoogde waarden op de vloer dusdanig zijn dat deze (ruim) boven streefwaarde A1 overschrijden, maar niet streefwaarde A2, is de hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet. Gezien het aantal passages per beoordelingsperiode en mede gezien de gemeten grootte van de effectieve waarde (veff,max), is hinderbeleving aan de orde (kan niet uitgesloten worden). De trillingen zijn voelbaar tot goed voelbaar.

In onderlinge vergelijking (Dorpstraat 112, vrachtauto en grondkar, met Hamerstraat 11, vrachtauto), wordt geconcludeerd dat de situatie met een vrachtauto maatgevend is, waarbij de trillingen bij Hamerstraat 11 meer gevoeld worden dan bij op Dorpstraat 112.

Reducerende maatregelen en prognosemodellen

Trillingen kunnen gereduceerd worden door aanpassen bij de trillingsbron (het verkeer zelf of wegconstructie), door aanpassen / doorbreken van de transmissie (de wegverharding en / of in de ondergrond, met een trillingsscherm) of door aanpassen bij de ontvanger (de woning). Maatregelen bij de ontvanger zouden genomen kunnen worden, echter in dit geval worden deze als niet toepasbaar geacht.

Om het effect van mogelijke trillingsreducerende maatregelen bij de bron te analyseren is het door TNO ontwikkelde rekenprogramma VP-drempel gehanteerd. Voor de maatregel Trillingsscherm in het medium is de o.a. prognosesystematiek zoals deze is opgenomen in CUR 166 "Damwandconstructies" gehanteerd. De meetresultaten zijn ter ijking van de modellen gehanteerd.

Effect beschouwde trillingsreducerende maatregelen

In onderstaande tabel is het effect van een maatregel (of combinatie ervan) opgenomen.'

Tabel 6-2: samenvatting berekende reductiepercentages maatregelen

Nr	Maatregel	Methode	Dorpstraat 112	Hamerstraat 11
	<u>Bij de bron</u>			
B1 B4	• Snelheidsreductie • Geometrie "drempel / plateau"	Van 50 km/uur naar 30 km/uur Putdeksels / oneffenheden	30% -	5% -
	<u>In het medium</u>			
M1 M2 M2.2	• Afstand vergroten • Wegconstructie aanpassen o Wegvlakheid	Circa 2,5 m opschuiven ¹⁾ Van goed naar zeer goed	10% 5%	5% 10%
		Combinatie van maatregelen	25% tot 30%	5% tot 10%
M3	• Trillingsscherm	Polystyreenscherm naast de weg dimensies [m x m]	45% tot 55% 0,15 x 1,25 m	65% tot 75% 0,20 x 1,35 m
1) Effect van de maatregel is beschouwd, onafhankelijk of het toepasbaar is				

Advies

Ten aanzien van het aspect trillingen is geconcludeerd dat er geen risico op constructieve schade aanwezig is en dat hinderbeleving aan de orde is (kan niet uitgesloten worden). Op beide adressen zijn de trillingen goed voelbaar. Met het minimaliseren op hinder wordt impliciet het risico op schade geminimaliseerd. Om het risico op hinderbeleving (en schade) in de toekomst te minimaliseren, zouden de volgende trillingsreducerende maatregelen overwogen kunnen worden (in afnemend effect):

1. M3 Trillingsscherm direct naast de weg aanbrengen.
2. (B1) Een rijsnelheidsbeperking opleggen van 30 km/uur i.p.v. 50 km/uur.
3. B4 Aanstoot "verkeersplateau's" verminderen, d.i. putdeksels/overgangen.
4. (M2.2) De wegvlakheid verhogen door de klinkerbestrating in zeer goede conditie te houden.
5. Een combinatie van de opties is mogelijk.

De verwachting is dat met het toepassen van de enkele maatregel zoals een trillingscherm, dat dat afdoende is om geen overschrijdingen van streefwaarde A1 meer te krijgen. De verwachting is dat indien de combinatie van maatregelen B4 (aanstoot verminderen), in mindere mate in combinatie met B1 (rijksnelheidsverlaging) niet resulteert in een afdoende reductie van de trillingen.

Kolken

Momenteel zijn in de kant van de weg een goot met inlaatdeksels aanwezig (onderstaande figuren). Op moment dat het verkeer drukker wordt, wordt meer aan de zijkant van de weg gereden en worden deze kolken "aangereden". Daarmee is er een grote aanstoot voor trillingen.



Figuur 6-1: Kolken in rijbaan

In vermindering van deze aanstoot is te verkrijgen door de putdeksels deels in de stoepband te verwerken (voorbeeld in onderstaande figuur).



Figuur 6-2: Kolk deels in stoepband

Situatie nabij Hamerstraat 11

Tijdens de meting uitgevoerd op 6 mei 2020 op locatie Hamerstraat 11 is gebleken dat door de aanstoot van de overgang asphalt naar klinkers (en v.v.) dat inpendig een grote opslinging van trillingen waarneembaar is.



Figuur 6.1: Overgang nabij Hamerstraat 11

Bij nadere beschouwing van de overgang, zijn hoogteverschillen en (lichte) spoorvorming zichtbaar. Geadviseerd wordt de overgang aan te passen, waarbij:

- De overgang niet haaks, maar diagonaal (of in V-vorm) wordt aangebracht;
- Ervoor gezorgd wordt dat geen hoogteverschillen aanwezig zijn;
- De doorgang vernauwen, psychologisch wordt automatisch afgeremd als de doorgang nauw is. Omdat de rijnsnelheid dan lager is, is de aanstoot eveneens lager.

Opmerking ten aanzien van rijnsnelheid en discomfort

Het toepassen van drempels / plateaus heeft als doel de rijnsnelheid te verlagen, nadeel is dat trillingen daarbij geïntroduceerd worden. Met een uitvoering waarbij de drempel niet haaks/recht in de weg wordt aangelegd maar onder een hoek (aanrijhoek) wordt verwacht dat het passeren dusdanig veel discomfort teweeg brengt dat automatisch minder snel gereden wordt.

Een haakse overgang van klinkers naar asphalt (of vice versa) is doorgaans eveneens een aanstoot bron. Door de naad niet haaks maar onder een hoek aan te brengen wordt de aanstoot (of: reeks aanstoten) verdeeld en daarmee de introductie van trillingen eveneens.

Monitoring trillingen

Geadviseerd wordt nadat de maatregelen zijn doorgevoerd een herhaling van de trillingsmetingen uit te (laten) voeren. De trillingsmetingen geven vernieuwd inzicht in de

optredende trillingsintensiteiten. Met de trillingsmeetresultaten is het verkregen reducerende effect nader te bepalen.

Bijlagen

A. Toelichting modellering trillingen

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 inheinniveau 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:

$$V_{0,(x=5m)} = u_0 \cdot \sqrt{\psi * E}$$

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:

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

waarin:

$v(x)$	= trillingsnelheid 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];
a	= karakteristieke dempingsconstante ten gevolge van materiaaldemping	[m ⁻¹].

Verwijzend naar CUR-166 wordt in de tabellen een indicatieve waarde voor de dempingsconstante a 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 a te bepalen met:

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

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:

$$v_{eff,max} [-] = (0,42 \text{ à } 0,64) \times v_{piek} [mm/s]$$

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 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 [-]

B. Toelichting SBR - Toetsingskader

Inleiding

In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, 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 2017: 'Schade aan bouwwerken;
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: '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 losgepakt zand.

Grenswaarden conform SBR richtlijn A

De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron

In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidfactor γ_t voor het type trillingsbron in rekening gebracht (conform onderstaande tabel).

Tabel B 1: partiële veiligheidsfactoren γ_t type trillingsbron

Type bron	Fundering op palen	Fundering trillingsgevoelig
Kortdurend	1,0	1,0
Herhaald kortdurend	1,5	1,6
Continue	2,5	2,0

Constructiewijze van gebouwen (categorie indeling)

In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en van onderdelen daarvan wordt aangehouden:

- categorie 1: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- categorie 2: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk of uit brosse steenachtige materialen;

Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren de bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (oude categorie 3). De bijlage "Checklist bouwkundige staat" opgenomen in SBR A geeft een handvat ter bepalen of een object bouwkundig gevoelig is. Afhankelijk van de bouwkundige staat / monumentale status wordt een partiële veiligheidsfactor γ_s in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Funderingswijze

SBR-richtlijn A maakt onderscheid in trillingsgevoelige en niet-trillingsgevoelige funderingen. Funderingen op staal worden over het algemeen als trillingsgevoelig aangemerkt waarbij rekening dient te worden gehouden met schade door (ongelijkmatige) zettingen.

Bij trillingsgevoelige funderingen geldt een extra grenswaarde bepaald conform $V_{kar} = 10 \cdot (1 + (8 - H)/7)$ waarbij H de dikte van het zandpakket is onder de fundering. Bij laagdikten kleiner dan 1 m geldt voor de karakteristieke waarde een maximum van 20 mm/s, bij laagdikten groter dan 8 m geldt een minimum van 10 mm/s.

Rekenwaarde van de grenswaarde

De rekenwaarde van de grenswaarde wordt bepaald volgens onderstaande relatie:

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t * \gamma_s}$$

waarin:

V_r	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
V_{kar}	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γ_t	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γ_s	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].

Veiligheidsfactoren type bron en bouwkundige staat

Voor de afleiding van de grenswaarde zijn de in onderstaande tabel vermelde factoren van toepassing. Opgemerkt wordt dat door middel van partiële factoren een gevoelige bouwkundige staat / monumentale status in rekening gebracht wordt (voorheen categorie 3).

Rekenwaarde gemeten topsnelheid

SBR Richtlijn A maakt onderscheid tussen een indicatieve, een beperkte en een uitgebreide meting. Afhankelijk van de soort meting dient de meetwaarde vermenigvuldigd te worden met een partiële veiligheidsfactor volgens onderstaande tabel.

Inleiding

In Nederland worden trillingen getoetst aan de grenswaarden uit de SBR richtlijnen uit september 2006 / december 2017, 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 2017: 'Schade aan bouwwerken';
- richtlijn B 2006: 'Hinder voor personen in gebouwen';
- richtlijn C 2006: '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 losgepakt zand.

Tabel B.1: Veiligheidsfactoren ter bepaling van de grenswaarde

Type trillingsbron		funderingstype	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
Type trillingsbron	continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat en / of monumentale status ¹⁾	Normaal	1,0	1,0
Bouwkundige staat en / of monumentale status ¹⁾	Gevoelig	1,7	1,7
Verdichtingsgevoelige ondergrond	$V_{kar} = 10 C_d$	nvt	1,0 tot 2,0 ²⁾
¹⁾ in geval van EN een monumentale status EN in "gevoelige staat", wordt 1x de factor gehanteerd (niet 1,7 * 1,7) ²⁾ afhankelijk van dikte laag			

Grenswaarden conform SBR richtlijn A

De hoogte van de grenswaarden waarbij volgens de SBR richtlijn A de kans op schade aanvaardbaar klein is (minder dan 1%), is afhankelijk van:

- type trillingsbron;
- constructiewijze van de gebouwen;
- funderingswijze van de gebouwen.

Type trillingsbron

In SBR richtlijn A wordt onderscheid gemaakt in trillingsbronnen, die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken, herhaald kortdurende trillingen veroorzaken of continue trillingen veroorzaken.

Het heien van palen wordt beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Het in en uittrillen van damwandplanken wordt beschouwd als een trillingsbron die continue trillingen veroorzaakt, waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Afhankelijk van de funderingswijze van de belending wordt een partiele veiligheidsfactor γ_t voor het type trillingsbron in rekening gebracht (conform onderstaande tabel).

Tabel B-2: Partiele veiligheidsfactoren γ_s 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

Dominante frequentie

Voor de toe te passen rekenwaarde van de grenswaarde is de dominante frequentie van de trilling een maatgevende factor. Op basis van meetwaarden (praktijkervaring) gelden:

- heien van prefab betonpalen 10 Hz tot 15 Hz
- heien van vibro palen 20 Hz tot 25 Hz
- inwendig geheide buispalen 5 Hz tot 15 Hz
- hoog frequent trillen van damwandplanken 30 tot 40 Hz
- laag frequent trillen van damwandplanken 20 tot 25 Hz
- sloopwerkzaamheden (snelslaghamer) 20 Hz tot 25 Hz.
- Passages van verkeer 5 Hz tot 15 Hz;
- Passages van railverkeer 10 Hz tot 20 Hz

Grenswaarde SBR A

In onderstaande tabellen zijn, voor objecten gefundeerd op palen, de rekenwaarden van de grenswaarden opgenomen.

Tabel B.3A: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig ongevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiële veiligheidsfactor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid ²⁾	
Freq.	Cat. 1	Cat. 2	TB ¹⁾	BS ¹⁾	TM ¹⁾	Cat. 1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1
25	27,5	8,8	1,5	1,0	1,0 / 1,6	18,3 / 11,5	5,8 / 3,6
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1
¹ TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting ² excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.							

Tabel B.3B: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiële veiligheidsfactor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid ²⁾	
Freq.	Cat. 1	Cat. 2	TB ¹⁾	BS ¹⁾	TM ¹⁾	Cat. 1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,7	1,0 / 1,6	7,8 / 4,9	2,0 / 1,2
15	22,5	6,3	1,5	1,7	1,0 / 1,6	8,8 / 5,5	2,5 / 1,5
20	25,0	7,5	1,5	1,7	1,0 / 1,6	9,8 / 6,1	2,9 / 1,8
25	27,5	8,8	1,5	1,7	1,0 / 1,6	10,8 / 6,7	3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,1 / 4,4	2,4 / 1,5
35	32,5	11,3	2,5	1,7	1,0 / 1,6	7,6 / 4,8	2,7 / 1,7
40	35,0	12,5	2,5	1,7	1,0 / 1,6	8,2 / 5,1	2,9 / 1,8
¹ TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting ² excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.							

Voor objecten gefundeerd op staal (trillingsgevoelige fundering), zijn naast de rekenwaarde voor de **versnelling van 1 m/s²** in de grond onder de fundering eveneens de rekenwaarden van de grenswaarden aan de draagconstructie zoals opgenomen in onderstaande tabel geldig. Deze zijn afhankelijk van de laagdikte van de trillingsgevoelige laag onder de fundering.

Tabel B.4: Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid ²⁾		Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid ²⁾	
		Heien ²⁾ (TB = 1,6)	Trillen ²⁾ (BS = 2,0)	Heien ²⁾ (TB = 1,6)	Trillen ²⁾ (BS = 2,0)
		BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6 ¹⁾	BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6 ¹⁾	BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6 ¹⁾	BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6 ¹⁾
[m]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]	[mm/s]
1	20,0	12,5 / 7,8	10,0 / 6,3	7,4 / 4,6	5,9 / 3,7
2	18,6	11,6 / 7,3	9,3 / 5,8	6,8 / 4,3	5,5 / 3,4
3	17,1	10,7 / 6,7	8,6 / 5,3	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1
4	15,7	9,8 / 6,1	7,9 / 4,9	5,8 / 3,6	4,6 / 2,9
5	14,3	8,9 / 5,6	7,2 / 4,5	5,3 / 3,3	4,2 / 2,6
6	12,9	8,1 / 5,0	6,5 / 4,0	4,7 / 3,0	3,8 / 2,4
7	11,4	7,1 / 4,5	5,7 / 3,6	4,2 / 2,6	3,4 / 2,1
8	10,0	6,3 / 3,9	5,0 / 3,1	3,7 / 2,3	2,9 / 1,8
¹⁾ TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting ²⁾ excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.					

Hiaat SBR A richtlijn

De SBR-richtlijnen doen geen uitspraak bij trillingsintensiteiten die lager zijn dan de gestelde grenswaarde en / of die veelvuldig voorkomen gedurende langere tijd (maanden tot jaren). Er is sprake van **cosmetische schade** die uiteindelijk tot constructieve schade kan leiden. Vanuit de praktijk is bekend dat schade (scheurvorming in metselwerk) ontstaat bij objecten die een langdurige trillingsbelasting (hebben) ondergaan. Dergelijke schade treedt eerder op bij objecten gefundeerd op staal dan bij objecten gefundeerd op palen.

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.

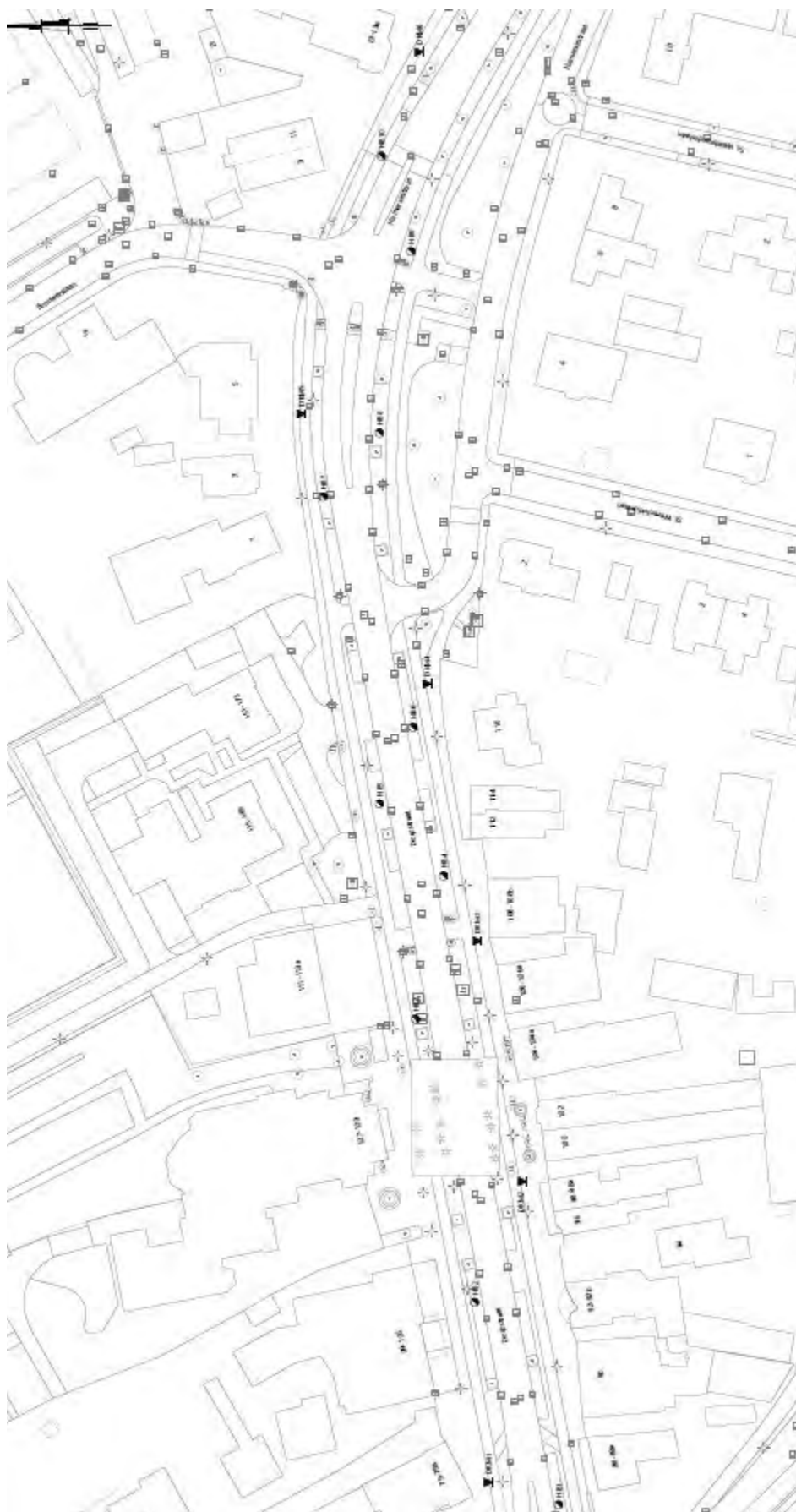
De streefwaarden worden aangegeven door de waarden A1, A2 en A3 en zijn dimensie loos. Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien de maximale trillingswaarde in de ruimte gemeten op de vloer kleiner is dan A1, of indien voldaan wordt aan de maximale trillingswaarde in de ruimte op de vloer kleiner is dan A2 waarbij de waarde van de trillingssterkte over de beoordelingsperiode kleiner is dan A3.

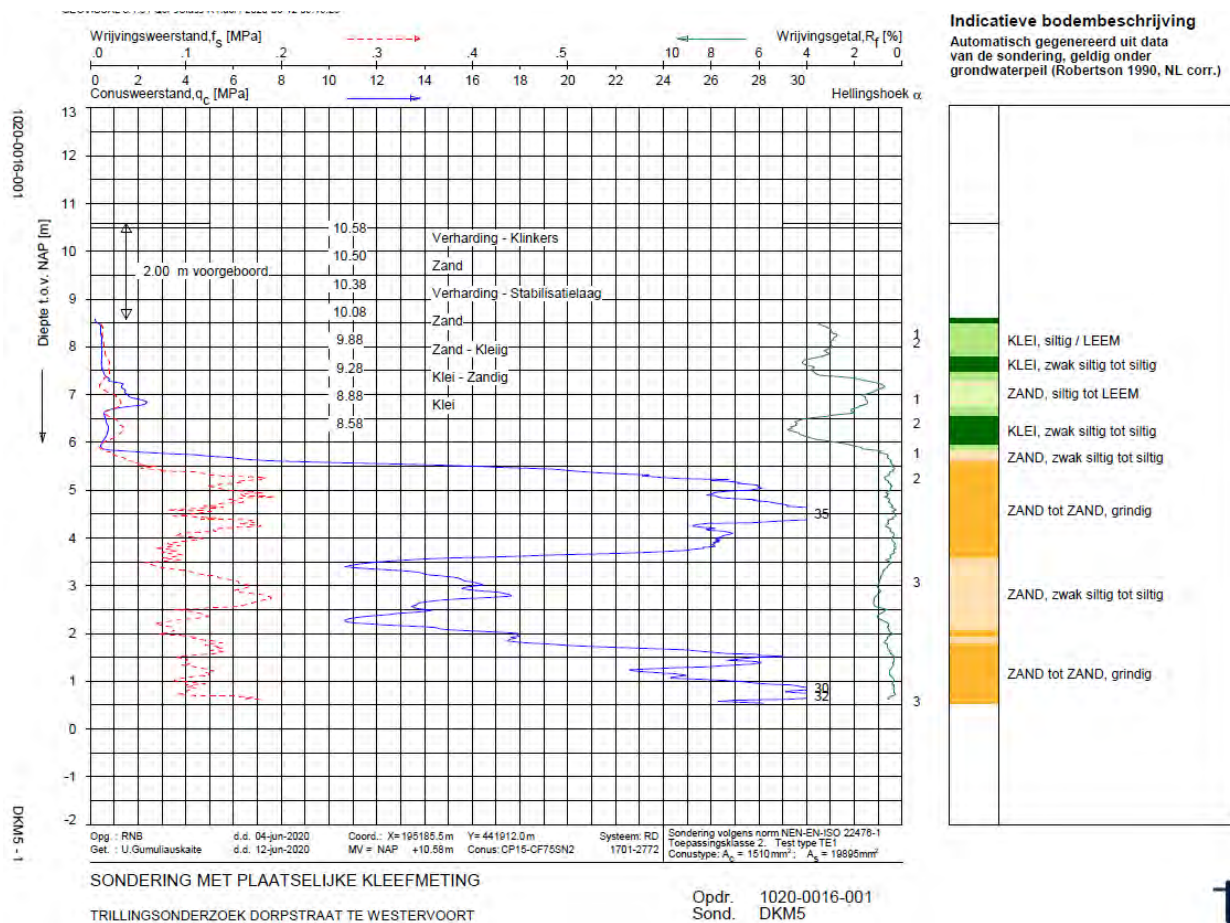
C. Trillingstechnische vaktermen

Trilling:	een periodieke beweging van een grootheid (verplaatsing, snelheid, versnelling) om een evenwichtsstand als functie van de tijd.
Trillingstijd:	de kleinste verschuiving in de tijd waarbij een periodieke tijdsfunctie met zichzelf samenvalt.
Topwaarde	de in absolute zin grootste afwijking van de momentane waarde van een grootheid ten opzichte van de gemiddelde waarde.
Frequentie	de reciproque van de trillingstijd.
Dominante frequentie:	de overheersende frequentie in dat deel van het signaal waar de topwaarde optreedt.
Verplaatsing:	een vectoriële grootheid die de verandering van een positie van een lichaam of van een punt aanduidt ten opzichte van een zekere referentie.
Snelheid:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de verplaatsing representeert.
Versnelling:	een vectoriële grootheid die de tijdsafgeleide van de snelheid representeert.
Trillingssterkte:	de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect; in het geval van schade wordt onder de trillingssterkte verstaan de topwaarde van een trillingsgrootheid in combinatie met de dominante frequentie.
Draagconstructie:	het deel van een gebouw dat ervoor zorgt dat het gebouw als geheel en in het bijzonder de vloeren hun dragende functie kunnen blijven vervullen.
Grenswaarde schade:	waarde voor de toelaatbare trillingssterkte waarbij de kans op schade aan de draagconstructie (en overige onderdelen) van een bouwwerk aanvaardbaar klein is (minder dan 1%); schade kan de veiligheid en/ of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden, of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk.
Continue trilling:	een trilling die zodanige tijd continu aanwezig is, dat resonanties en/ of vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. machines, intrillen damwanden).
Kortdurende trilling:	een door een stootvormige excitatie veroorzaakte trilling met een kortdurend, uitdempend karakter (bv. explosies, botsingen).
Herhaald kortdurende trilling:	een kortdurende trilling die meermalen voorkomt, steeds gescheiden door een tijdsinterval waarin een rustsituatie heerst, waarbij vermoeiingseffecten aan de draagconstructie van een bouwwerk kunnen optreden (bv. heikwerkzaamheden, weg- en railverkeer).
Indicatieve meting:	meting waarbij slechts met één meetpunt ter plaatse van de begane grond trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.1 SBR-richtlijn A).
Beperkte meting:	meting waarbij met tenminste één meetpunt op de begane grond en met tenminste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw trillingen worden gemeten (conform § 8.4.2.2 SBR-richtlijn A).
Uitgebreide meting:	meting waarbij met een groot aantal meetpunten wordt gemeten, dit in aanvulling op de meetpunten volgens de beperkte meting (conform § 8.4.2.3 SBR-richtlijn A).
Beoordelingsperiode:	een tijdsinterval waarin een dag wordt verdeeld voor de toetsing van de trillingsterkte aan de streefwaarden in: dagperiode: van 7:00 tot 19:00; avondperiode: van 19:00 tot 23:00; nachtperiode: van 23:00 tot 7:00.
Effectieve trillingssnelheid:	voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen momentane trillingsgrootheid.
Maximale effectieve trillingssnelheid:	grootste optredende waarde van de voortschrijdende effectieve waarde.

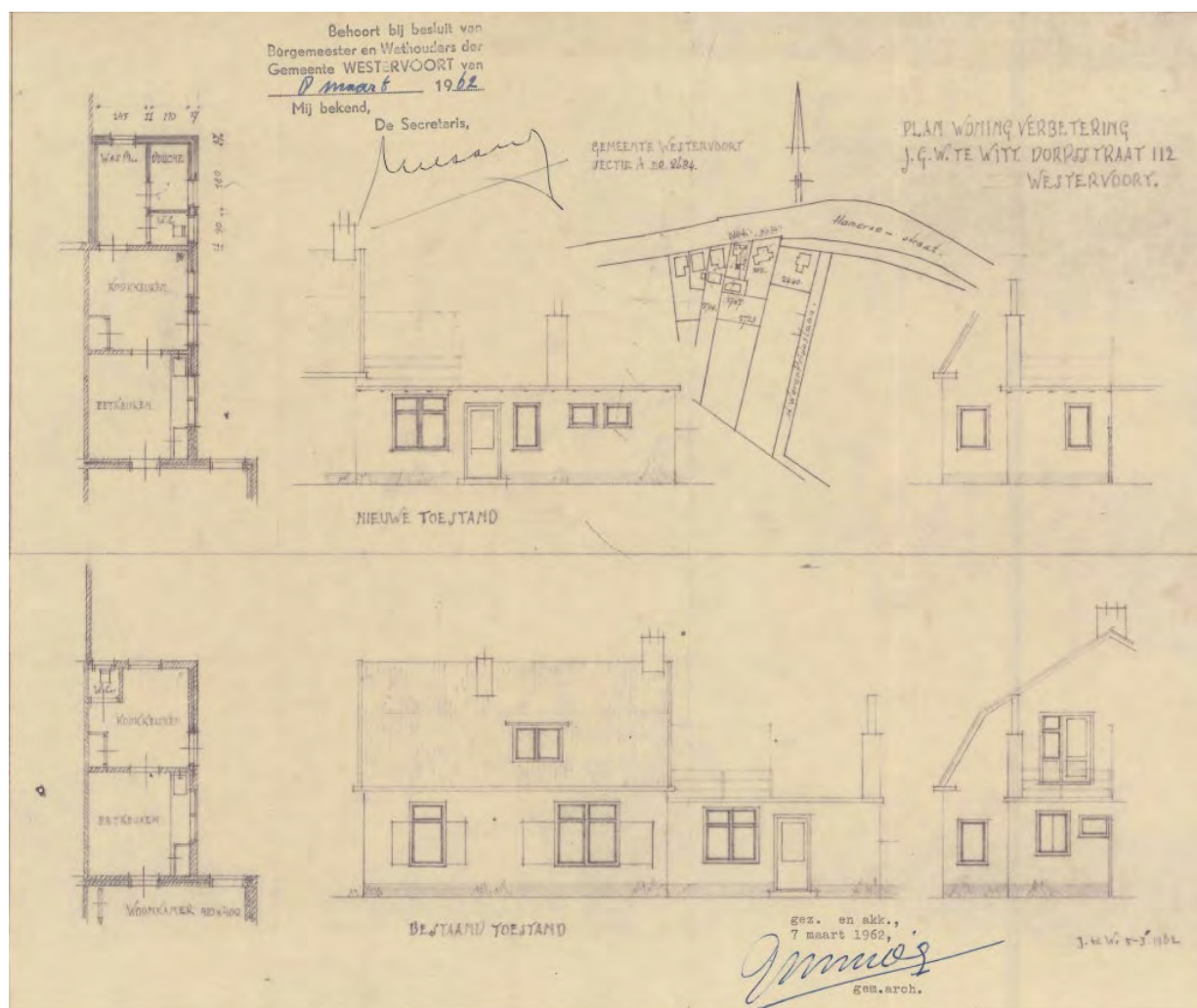
Trillingssterkte over beoordelingsperiode:	het kwadratisch gemiddelde van de grootste effectieve waarde per interval van 30 seconden in de desbetreffende beoordelingsperiode.
Streefwaarde hinder:	waarde voor de trillingssterkte waarbij verwacht wordt dat er nog net geen hinder voor personen optreedt; onder hinder wordt verstaan de verstoring en/ of belemmering van (fysieke) activiteiten en/ of processen die rust en/ of concentratie behoeven.
Streefwaarde A1:	onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde .
Streefwaarde A2:	bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte van de voortschrijdende effectieve waarde.
Streefwaarde A3:	streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordelingsperiode dag, avond en nacht.

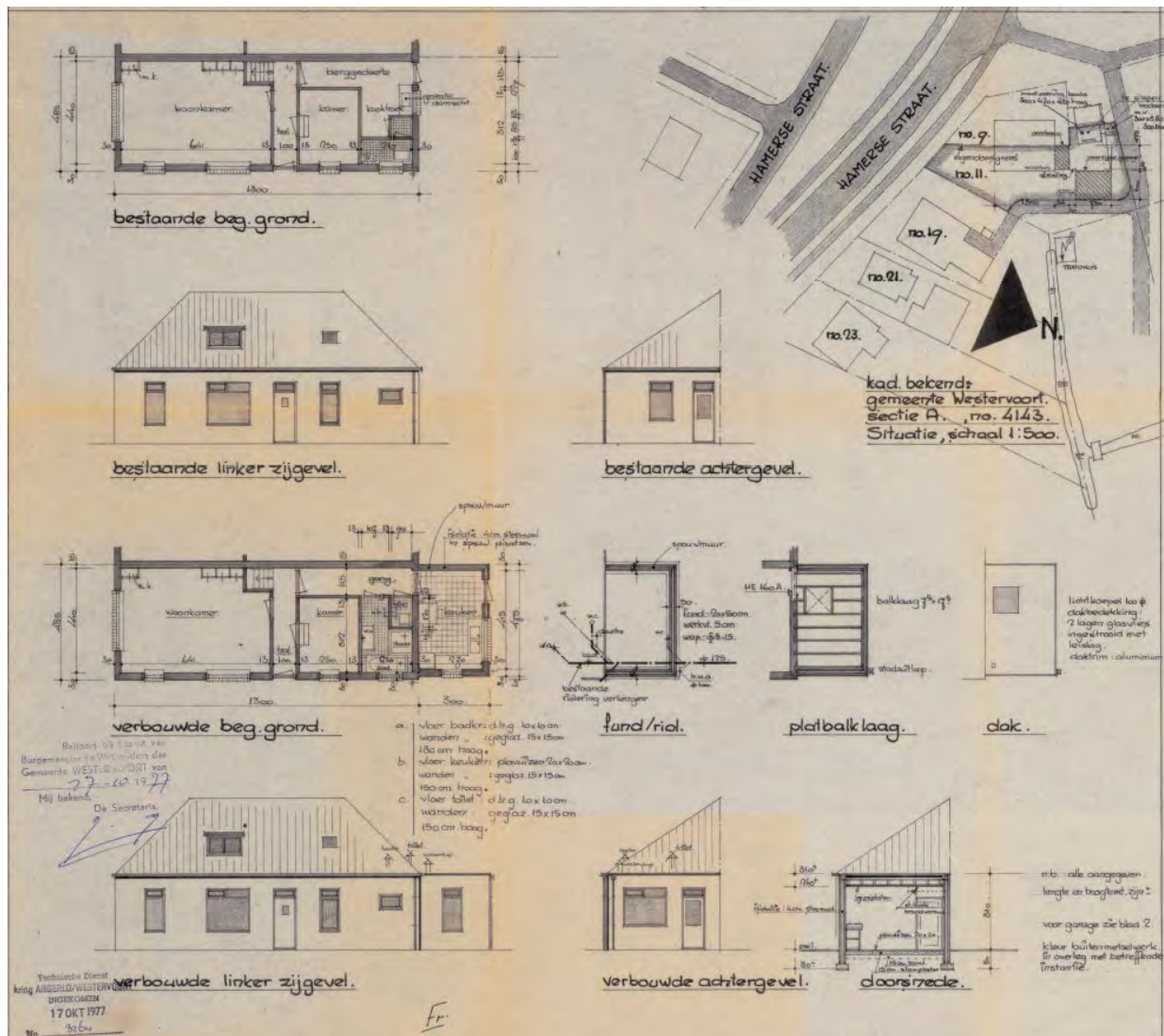
D. Representatieve sonderingen



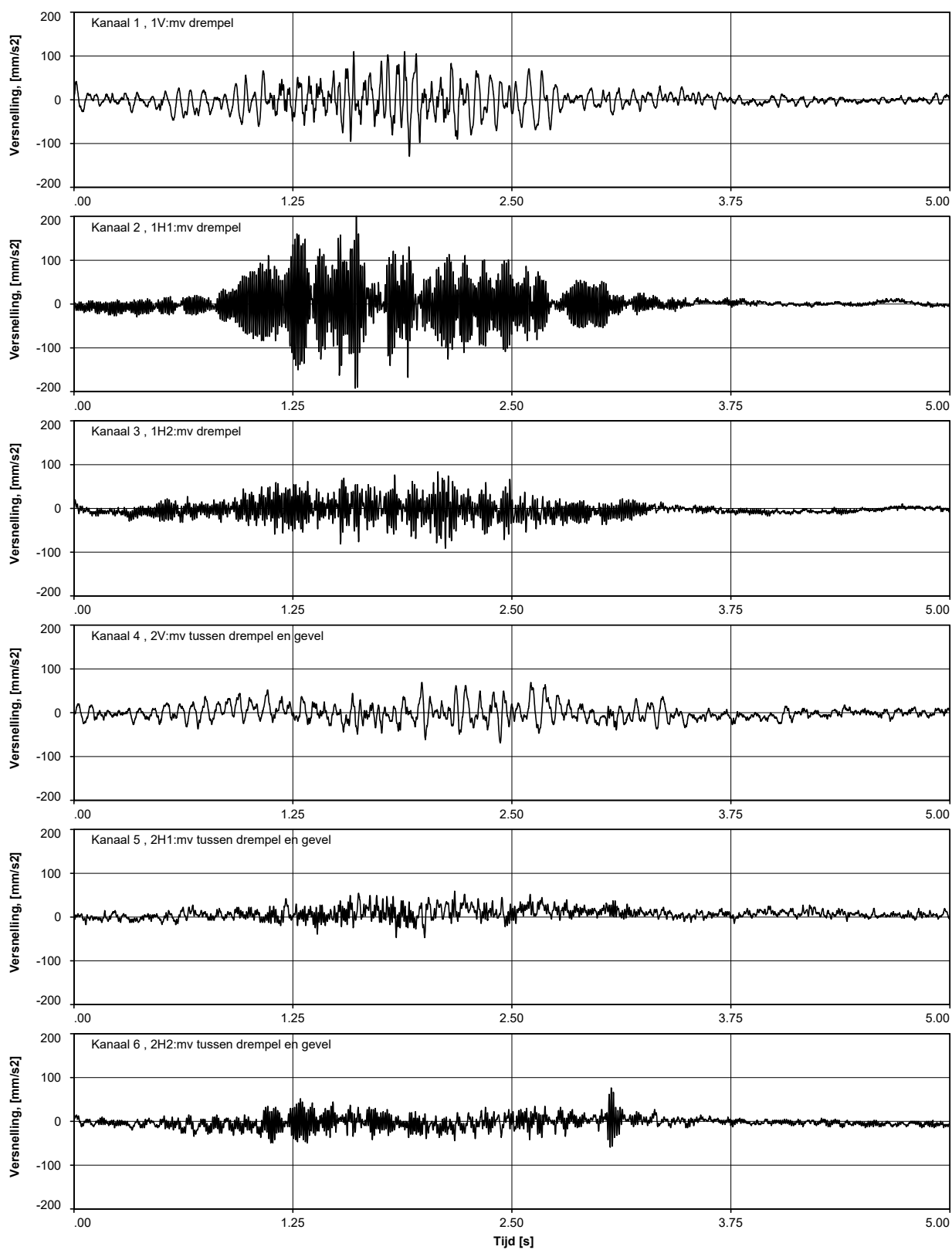


E. Bouwkundige constructietekeningen





F. Grafische weergave trilling registratie



Bestand: vauc.075

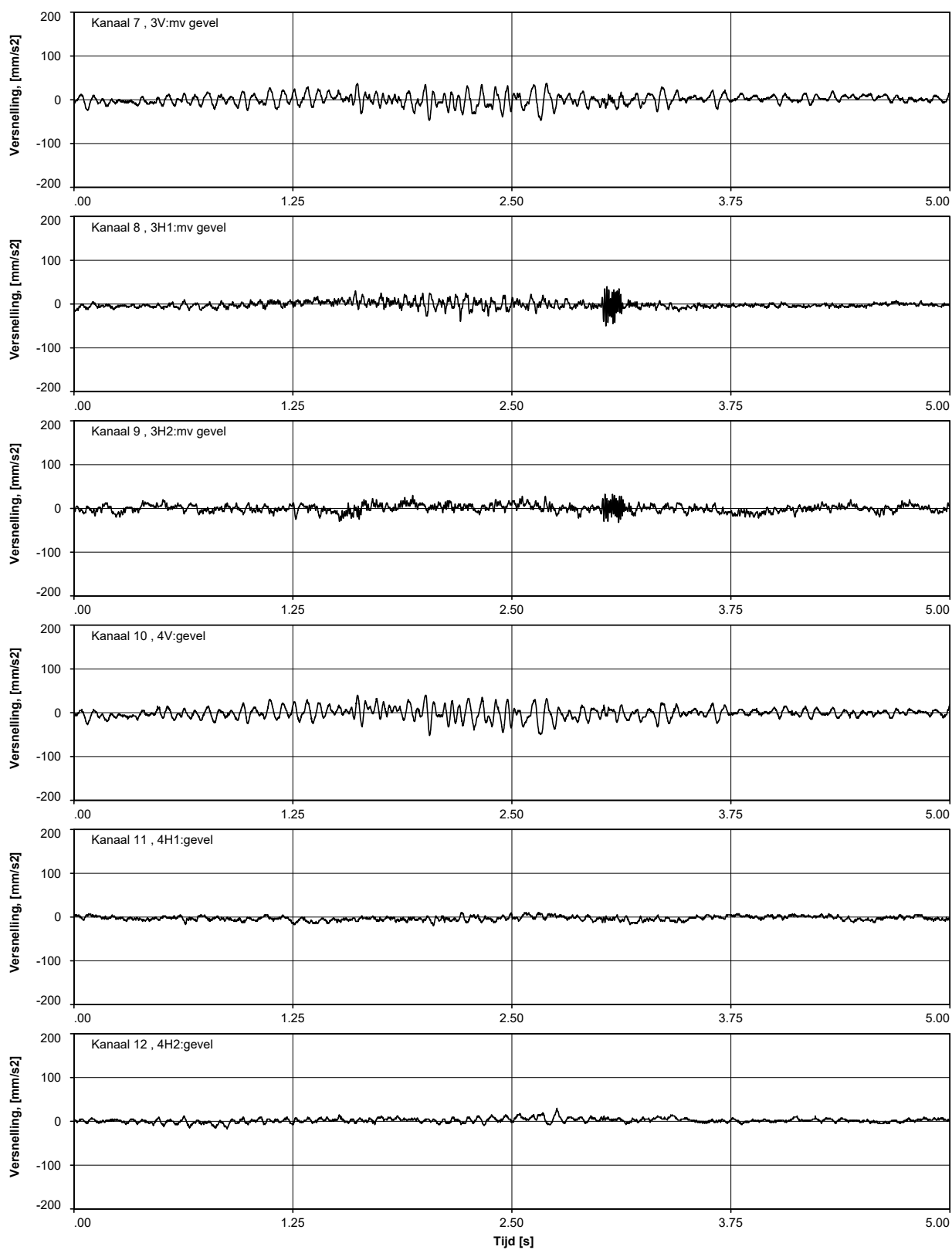
Opmerkingen: gem leeg --> c

Datum: 06/05/20 09:17

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 1-A



Bestand: vauc.075

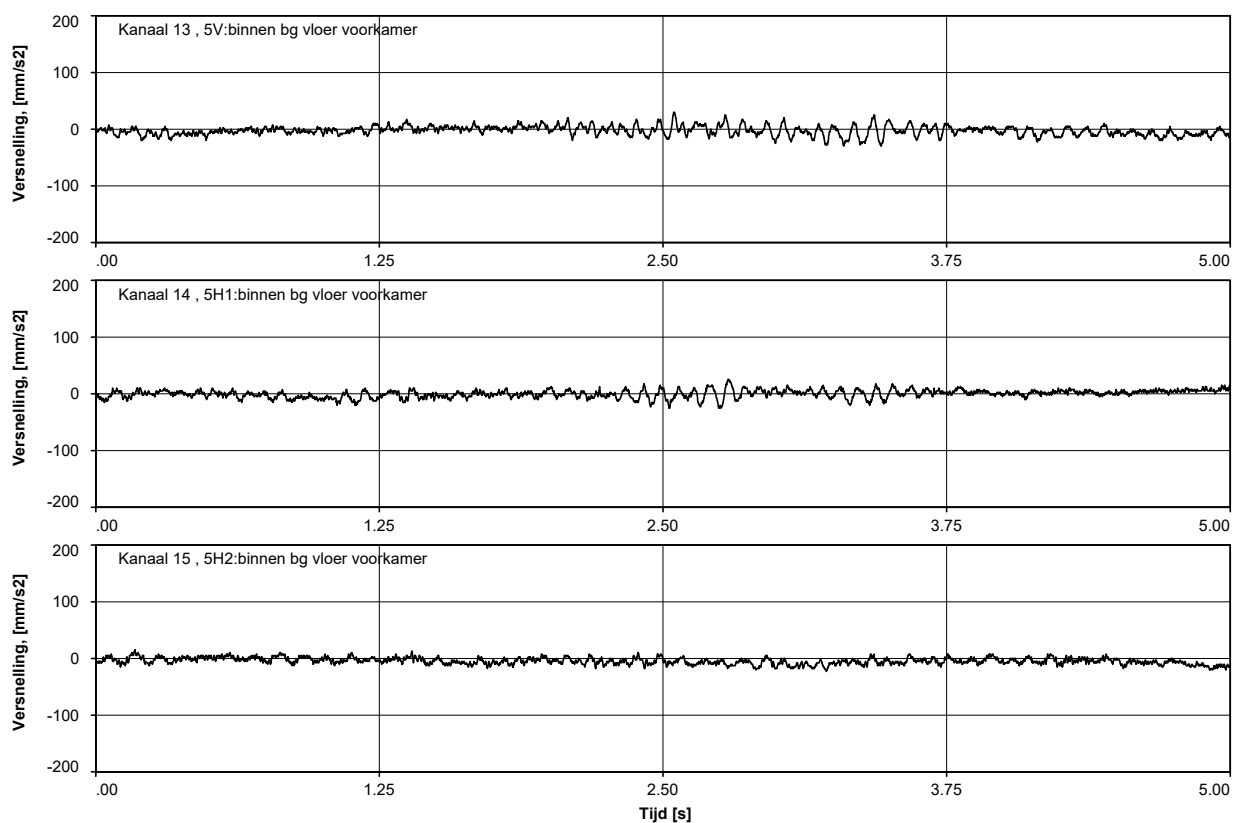
Opmerkingen: gem leeg --> c

Datum: 06/05/20 09:17

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 1-B

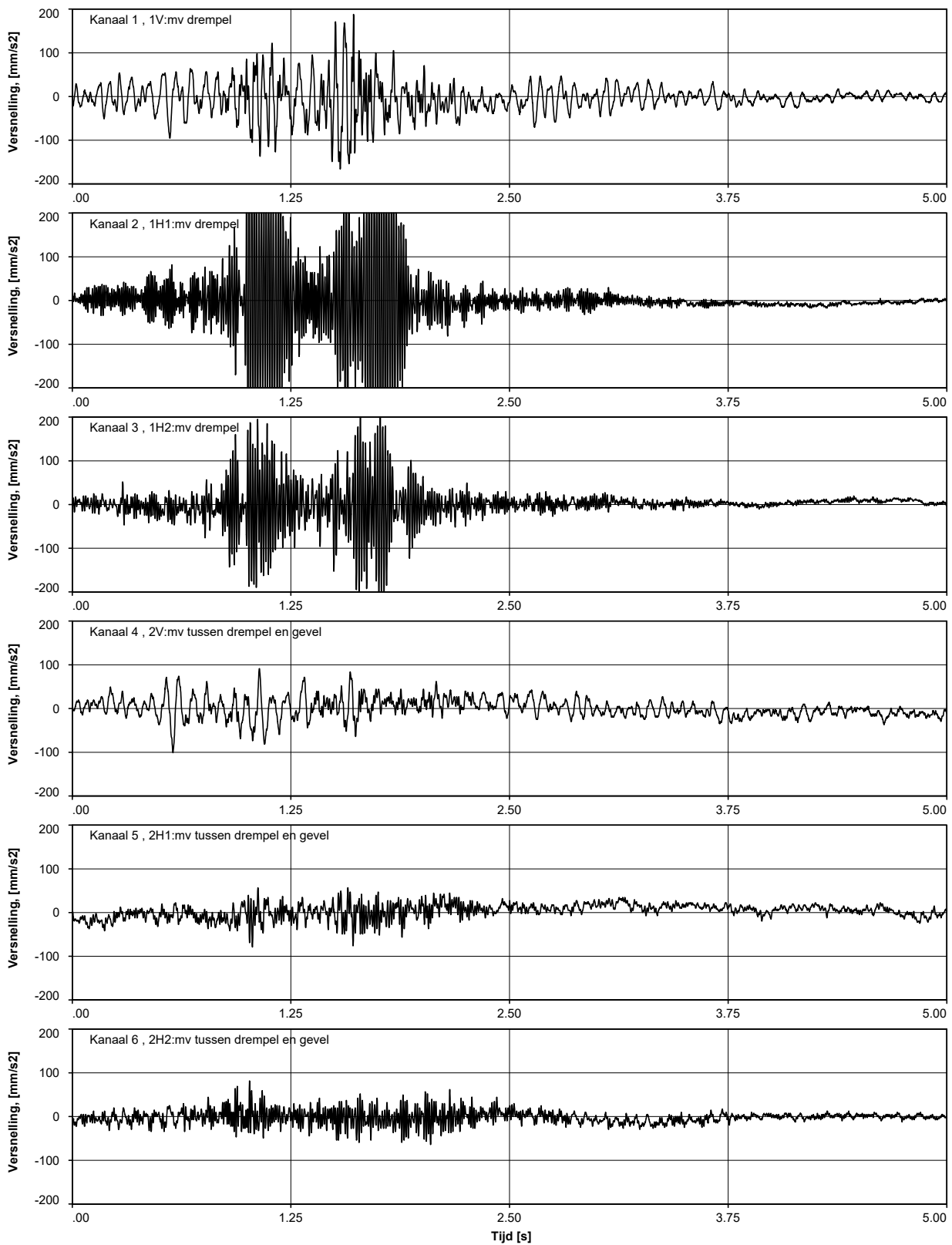


Bestand: vauc.075
Opmerkingen: gem leeg --> c
Datum: 06/05/20 09:17

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 1-C



Bestand: vauc.069

Opmerkingen: gem leeg --> d

Datum: 06/05/20 09:10

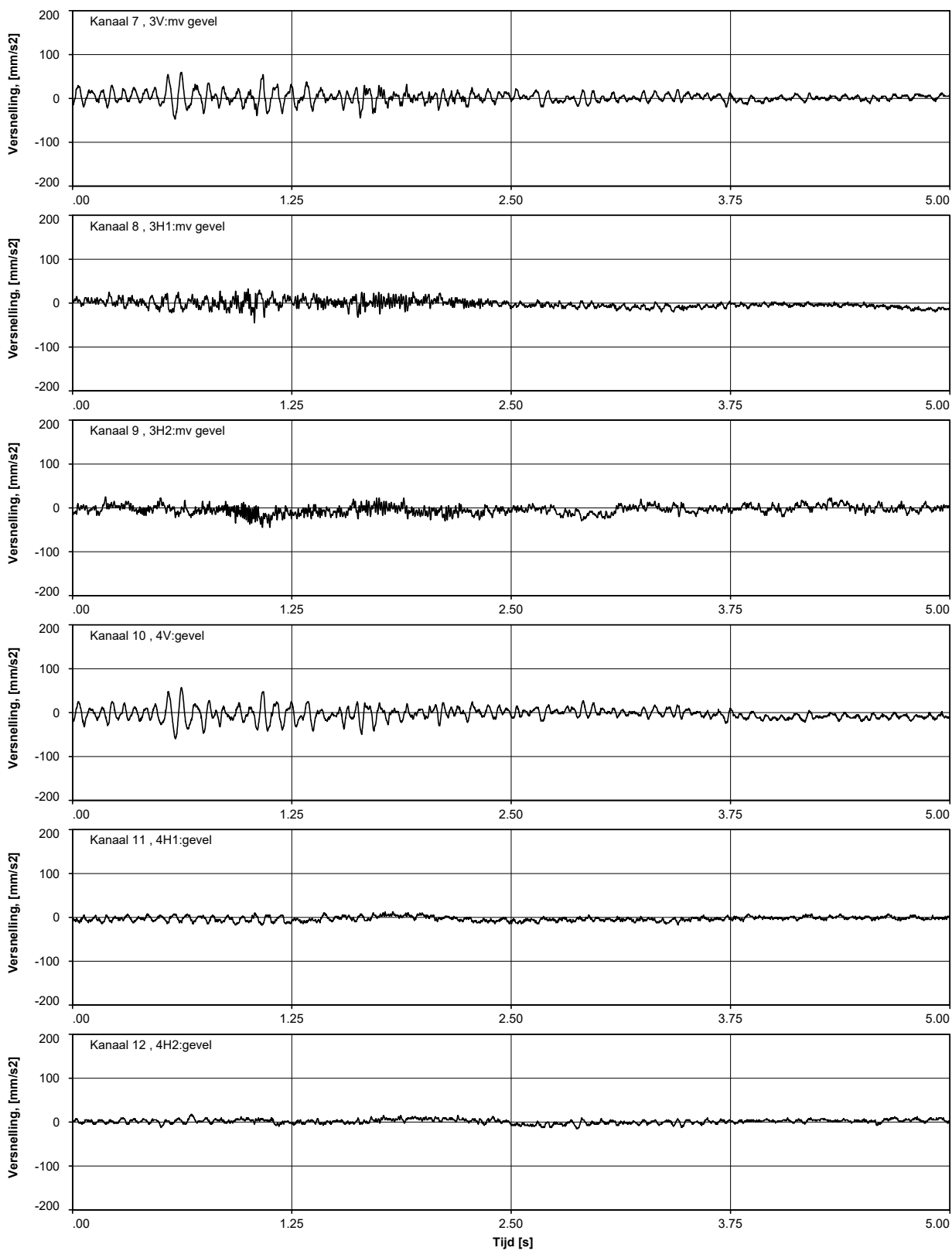
GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort

Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000

Bijl.: 2-A



Bestand: vauc.069

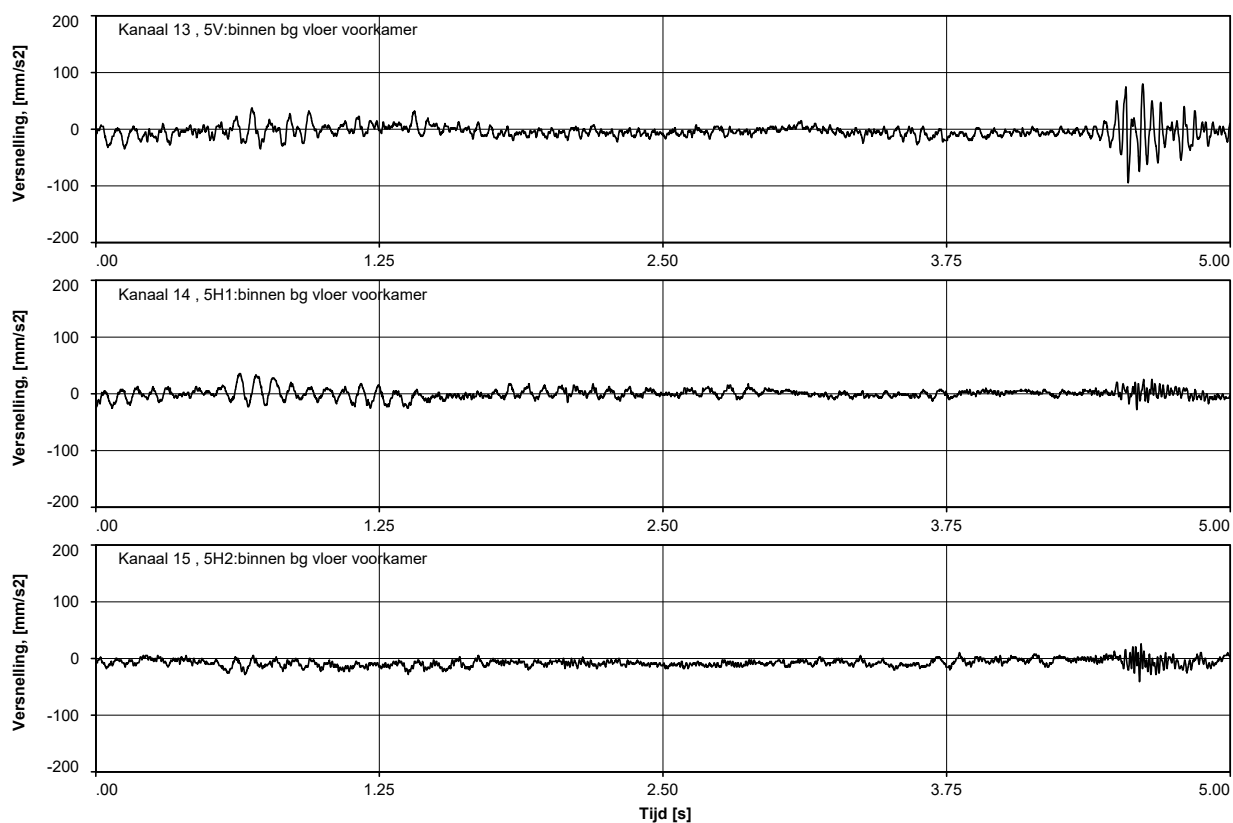
Opmerkingen: gem leeg --> d

Datum: 06/05/20 09:10

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 2-B

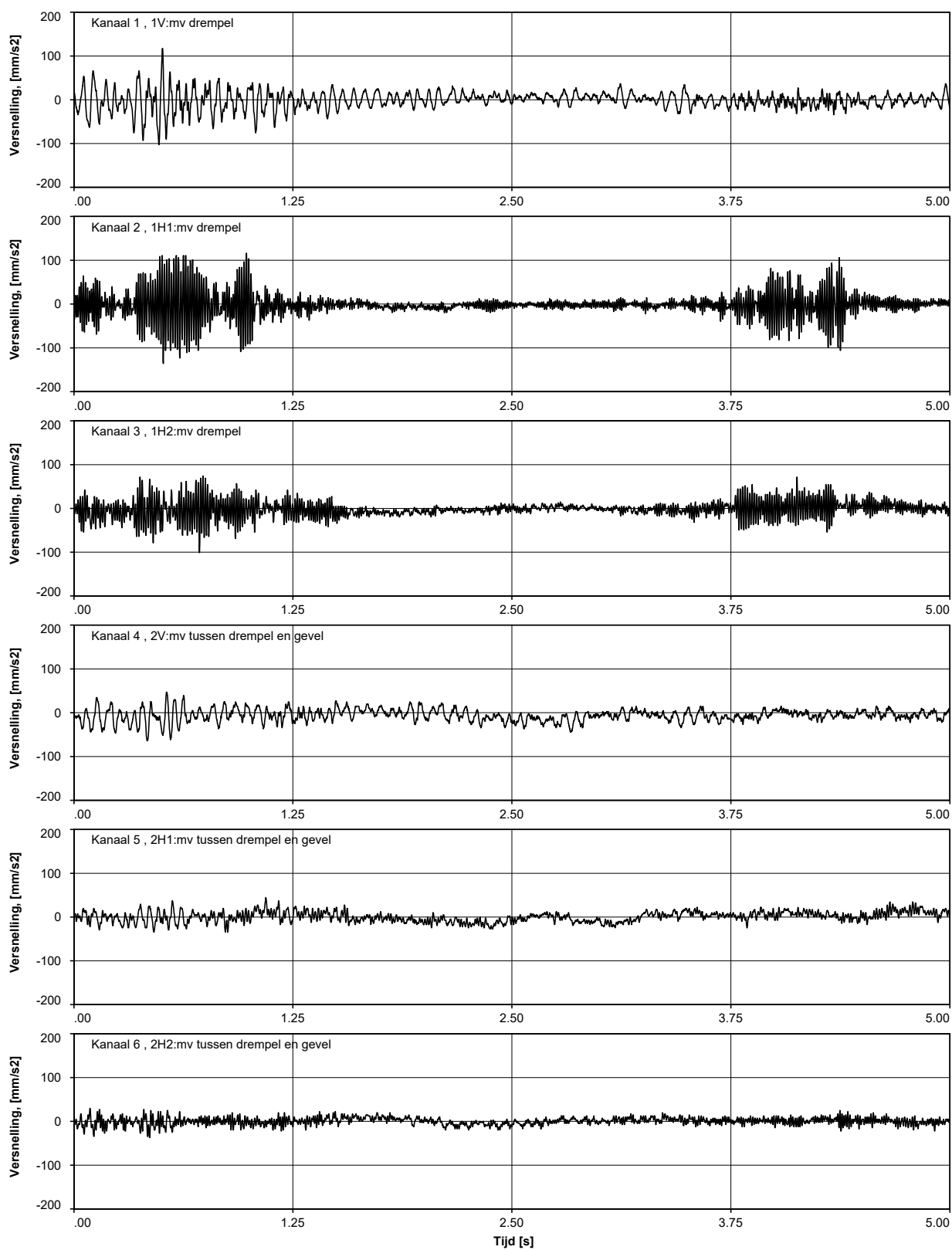


Bestand: vauc.069
Opmerkingen: gem leeg --> d
Datum: 06/05/20 09:10

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 2-C



Bestand: vaud.049

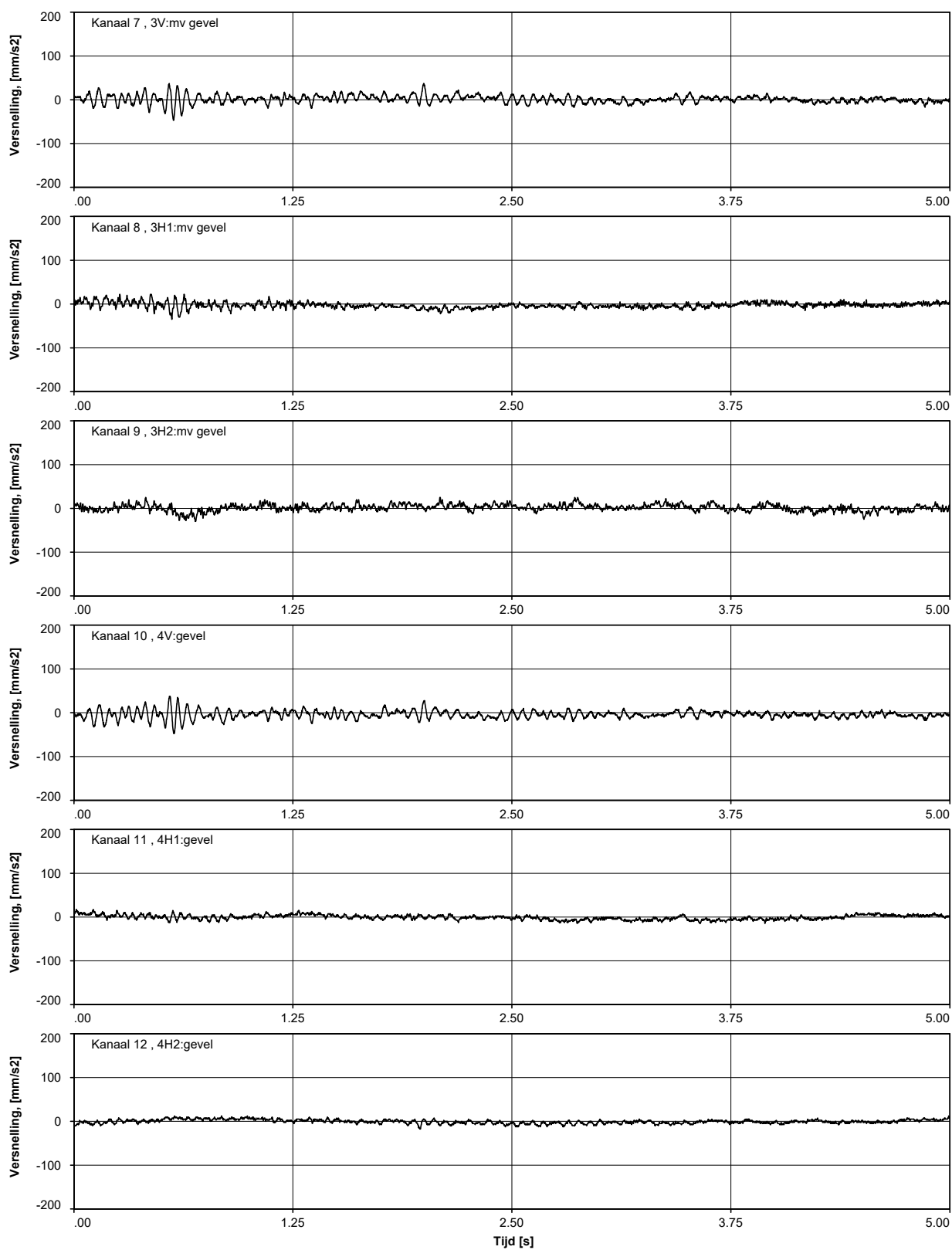
Opmerkingen: vau --> d

Datum: 06/05/20 08:33

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 3-A



Bestand: vaud.049

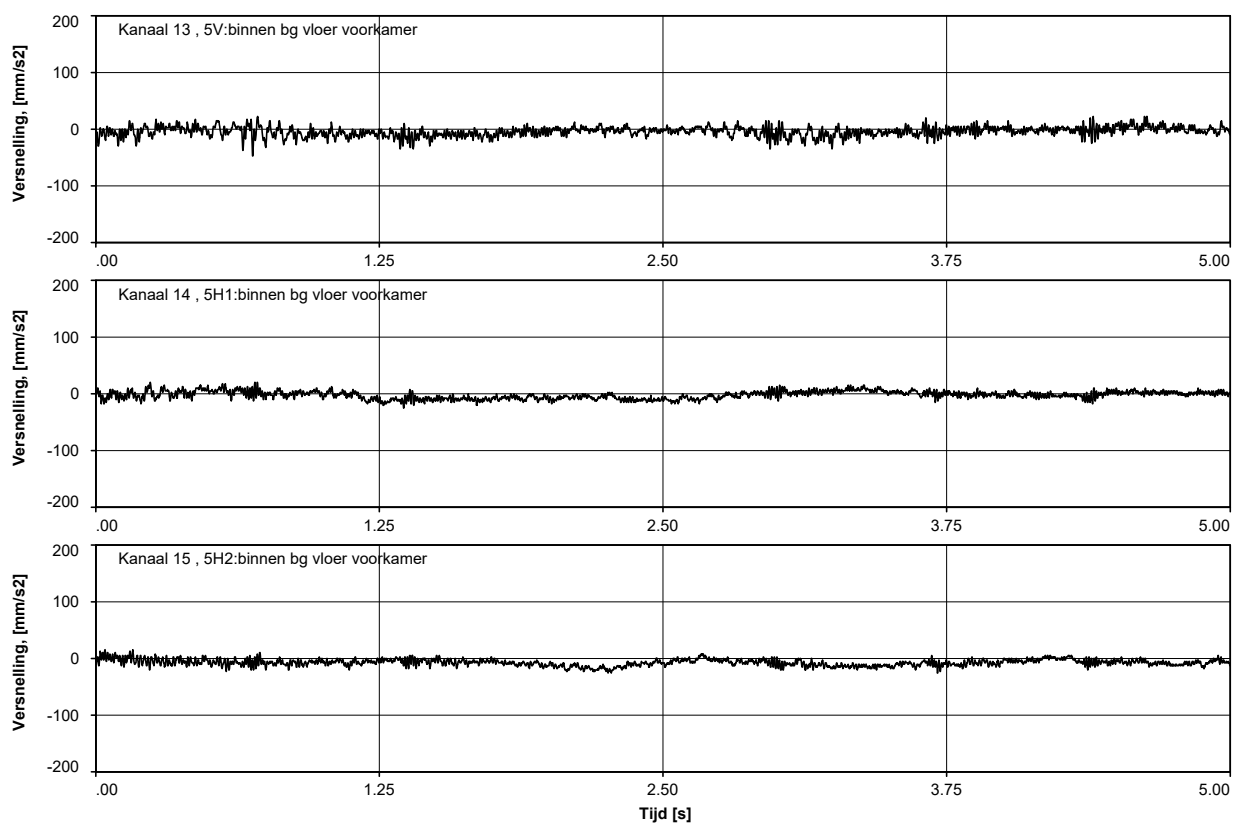
Opmerkingen: vau --> d

Datum: 06/05/20 08:33

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 3-B

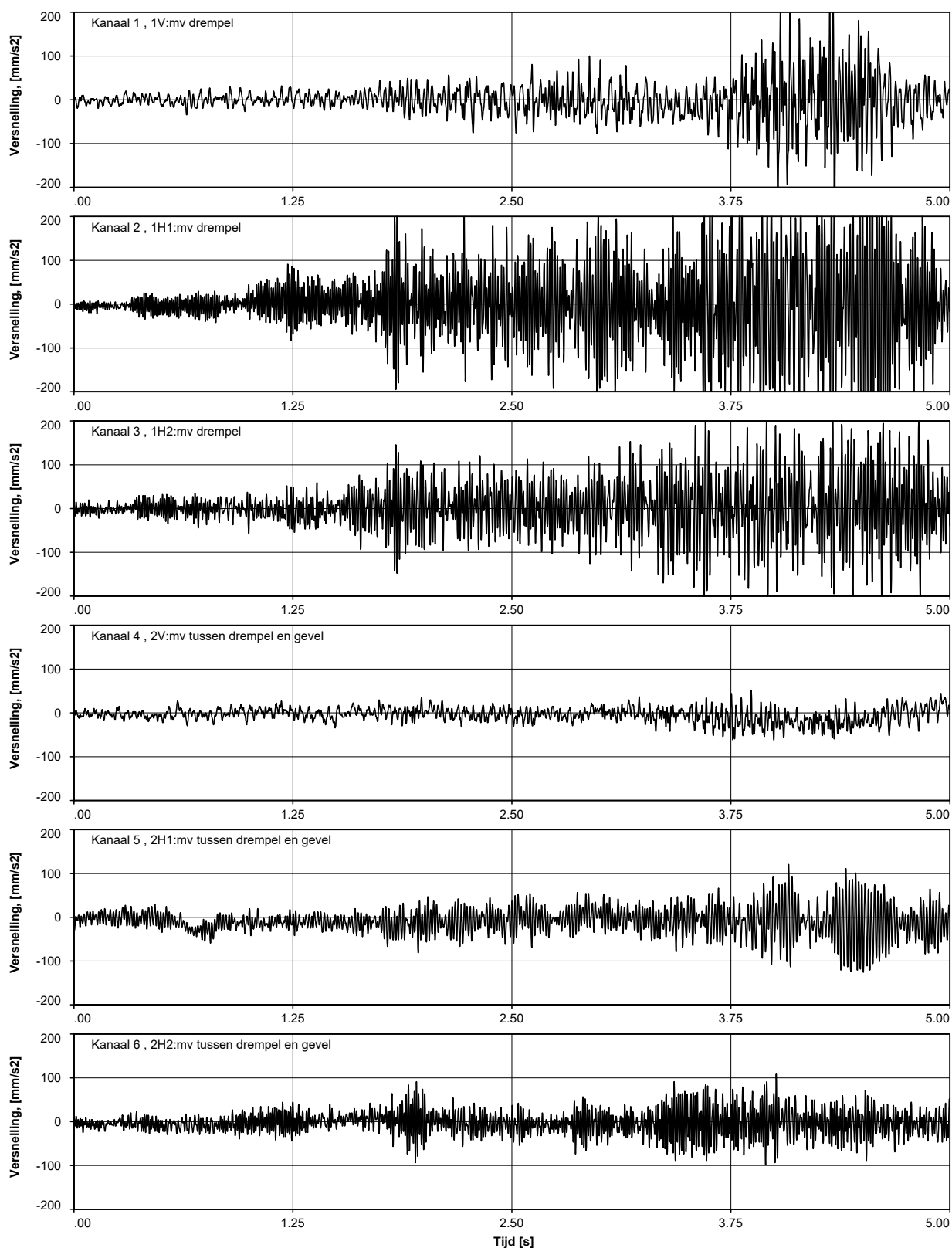


Bestand: vaud.049
Opmerkingen: vau --> d
Datum: 06/05/20 08:33

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 3-C



Bestand: vauc.040

Opmerkingen: grond vol --> d

Datum: 06/05/20 08:19

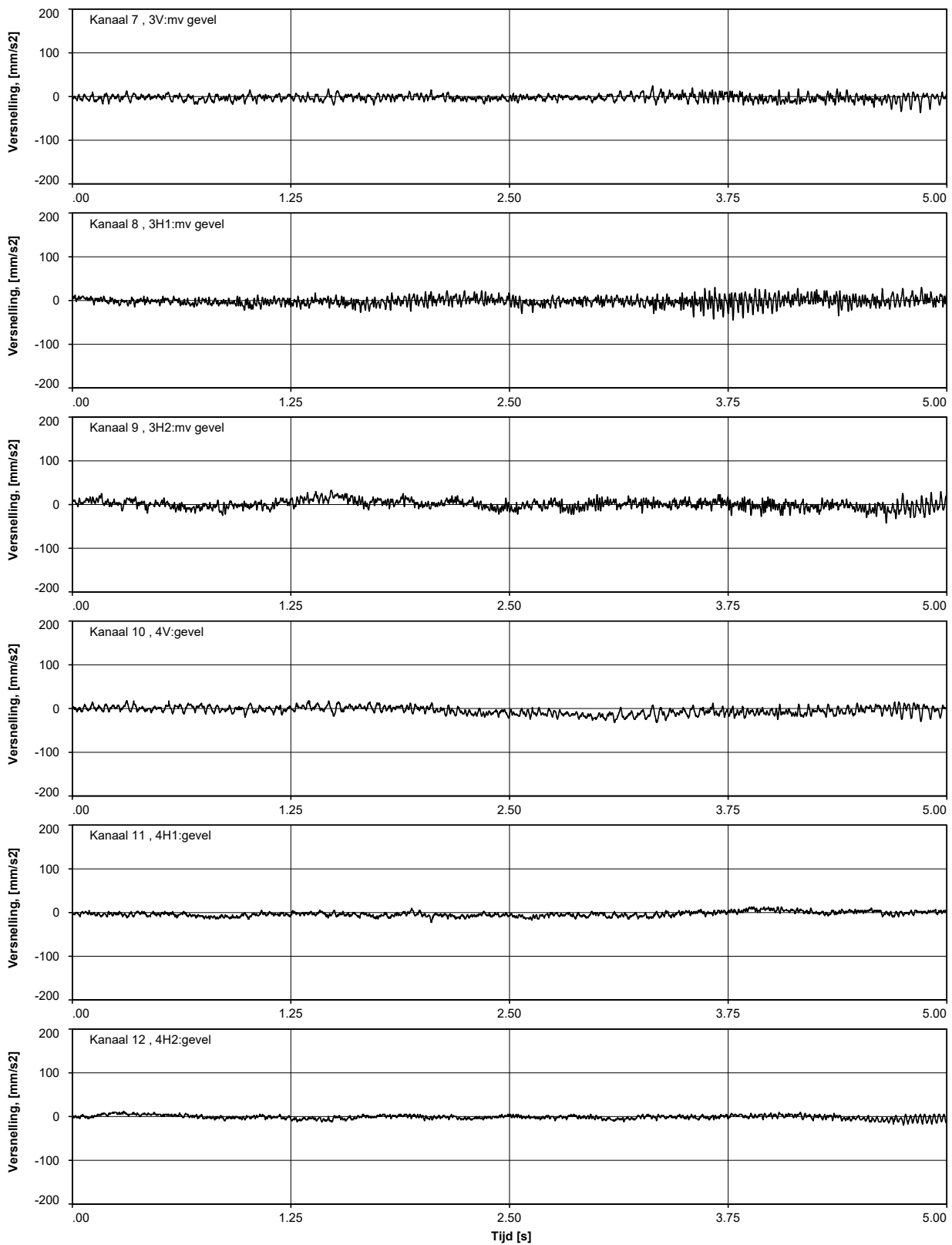
GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort

Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000

Bijl.: 4-A

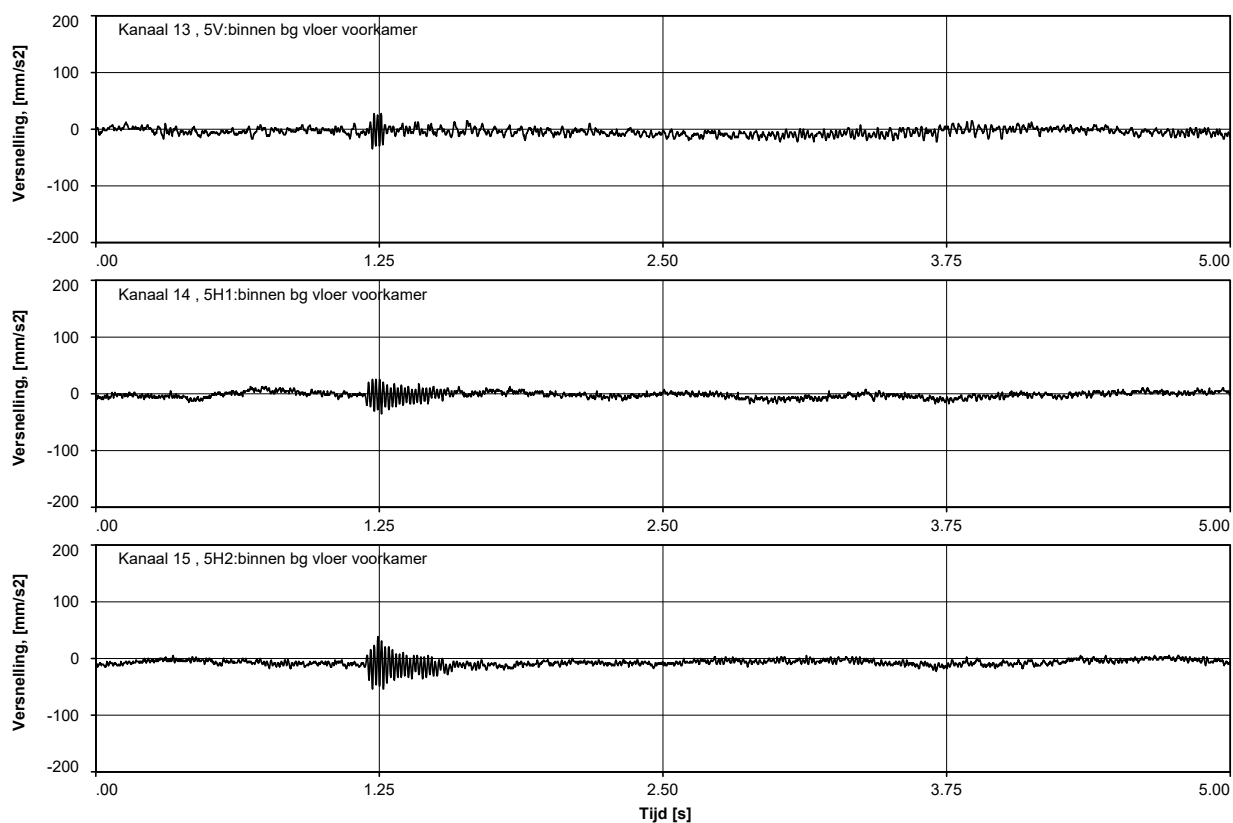


Bestand: vauc.040
Opmerkingen: grond vol --> d
Datum: 06/05/20 08:19

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 4-B

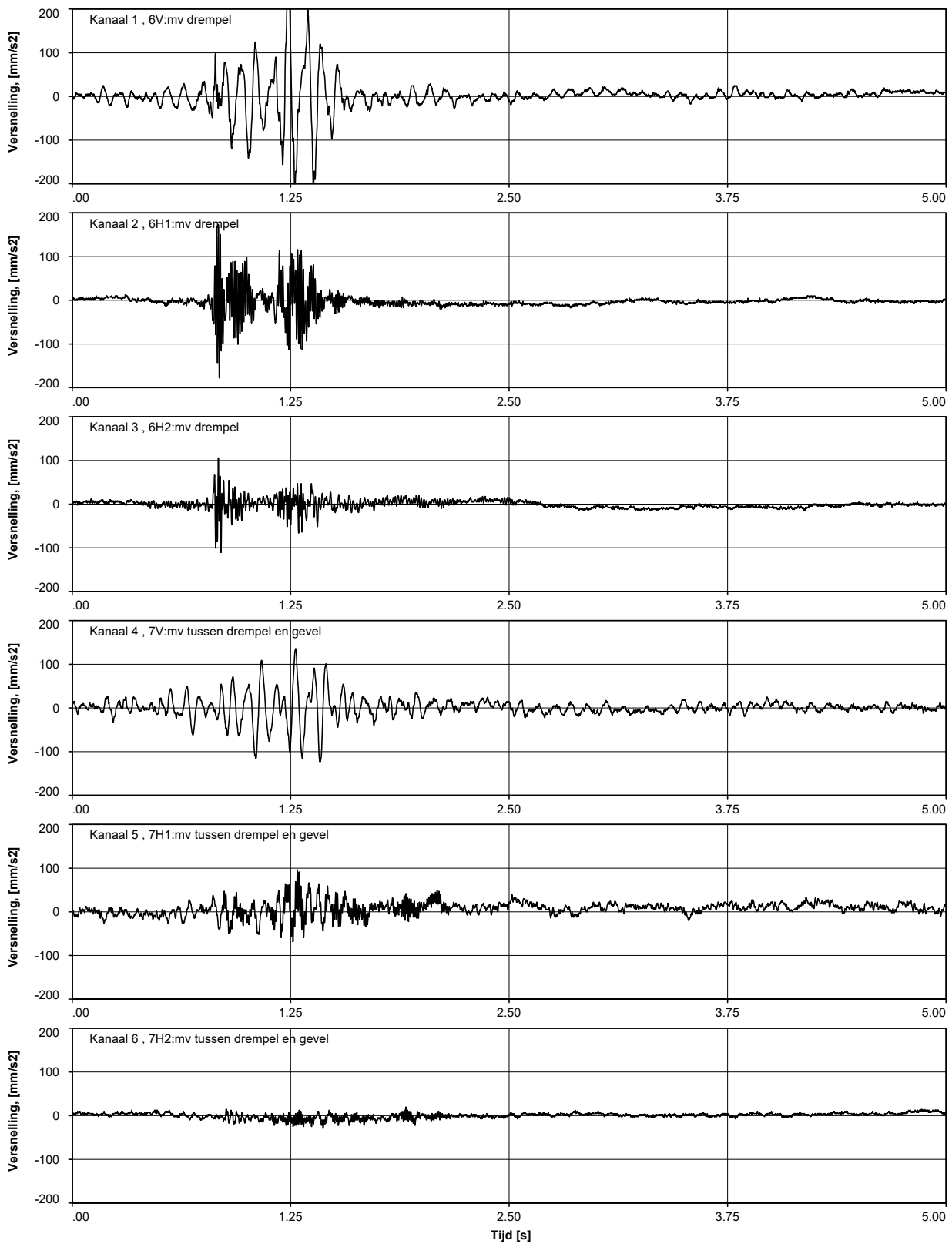


Bestand: vauc.040
Opmerkingen: grond vol --> d
Datum: 06/05/20 08:19

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Dorpstraat 112

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 4-C

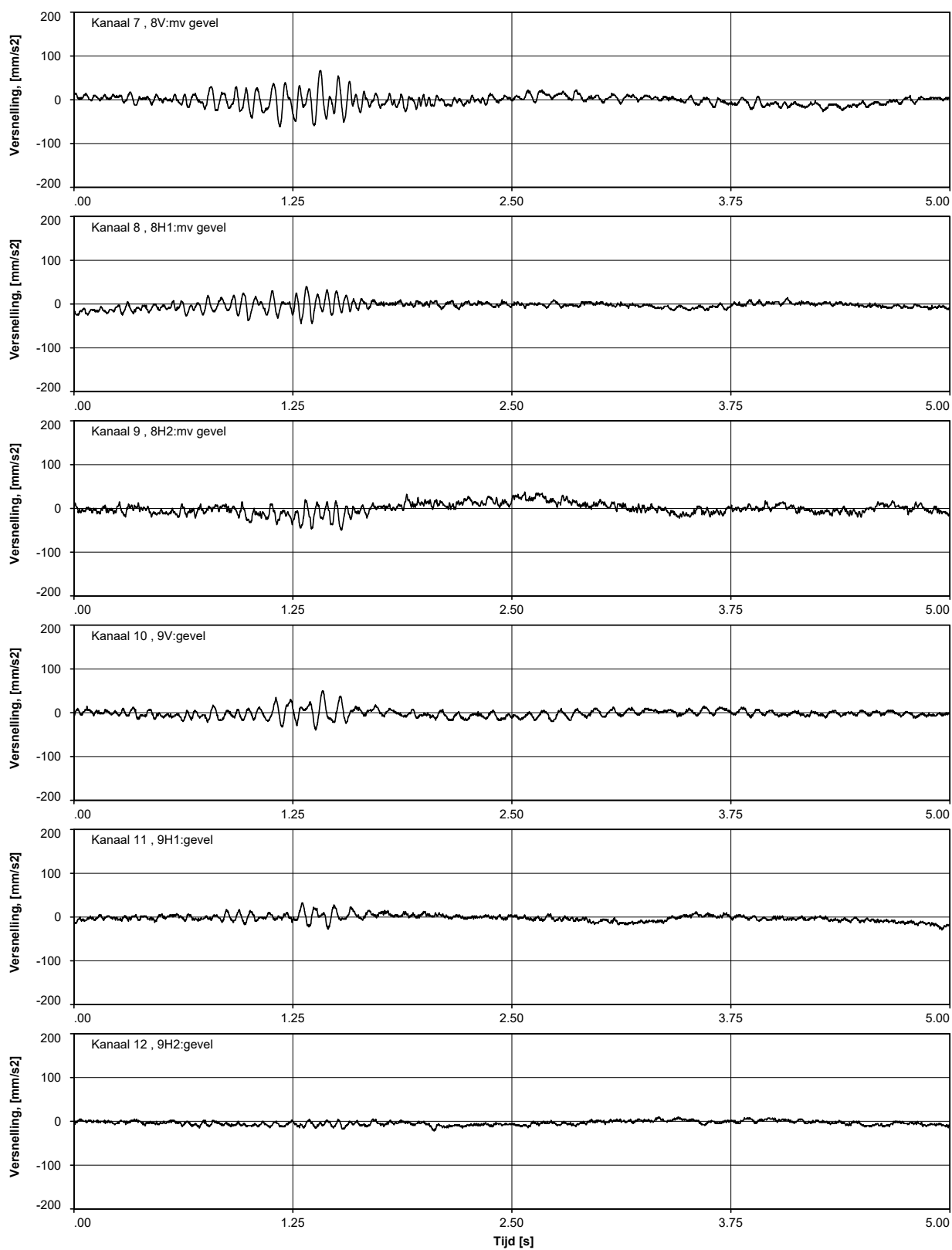


Bestand: hamer11.014
Opmerkingen: vau gem leeg -->c
Datum: 06/05/20 11:50

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Hamerstraat 11

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 5-A

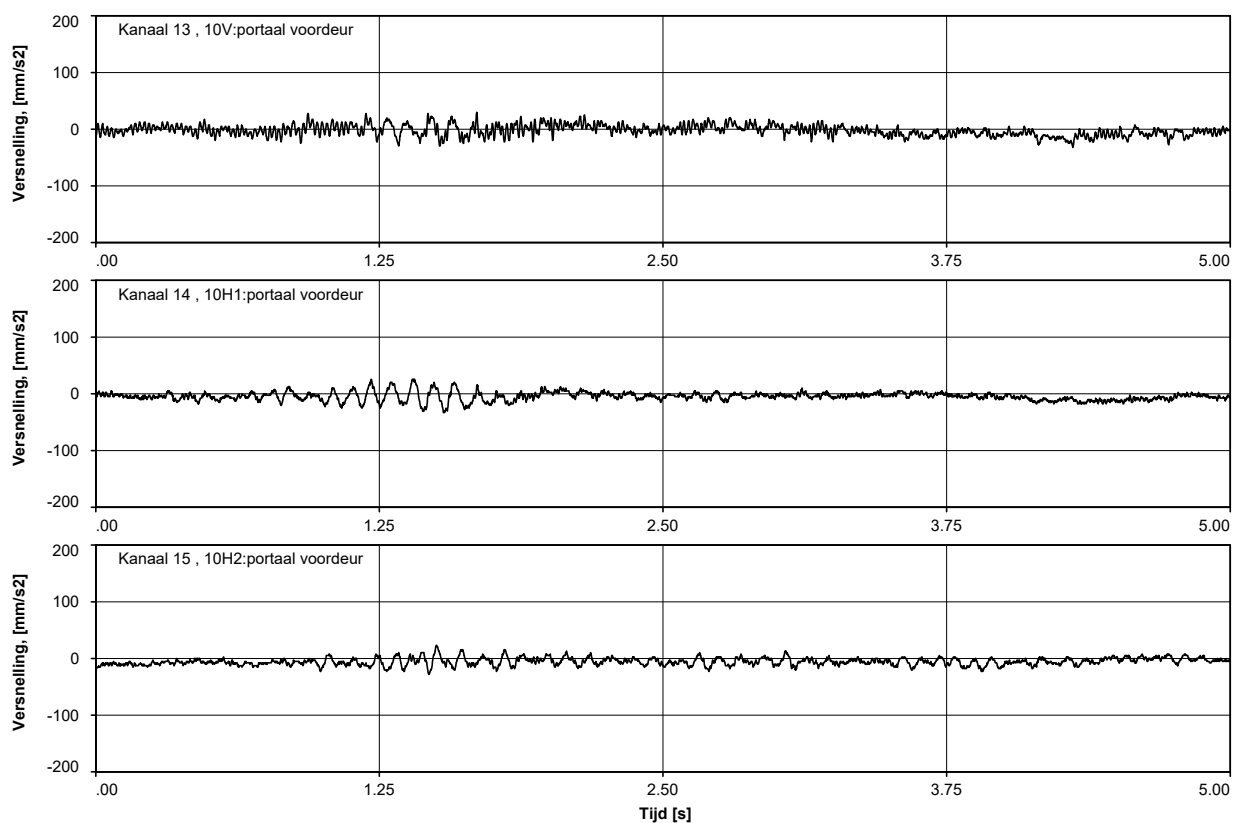


Bestand: hamer11.014
Opmerkingen: vau gem leeg -->c
Datum: 06/05/20 11:50

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Hamerstraat 11

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 5-B

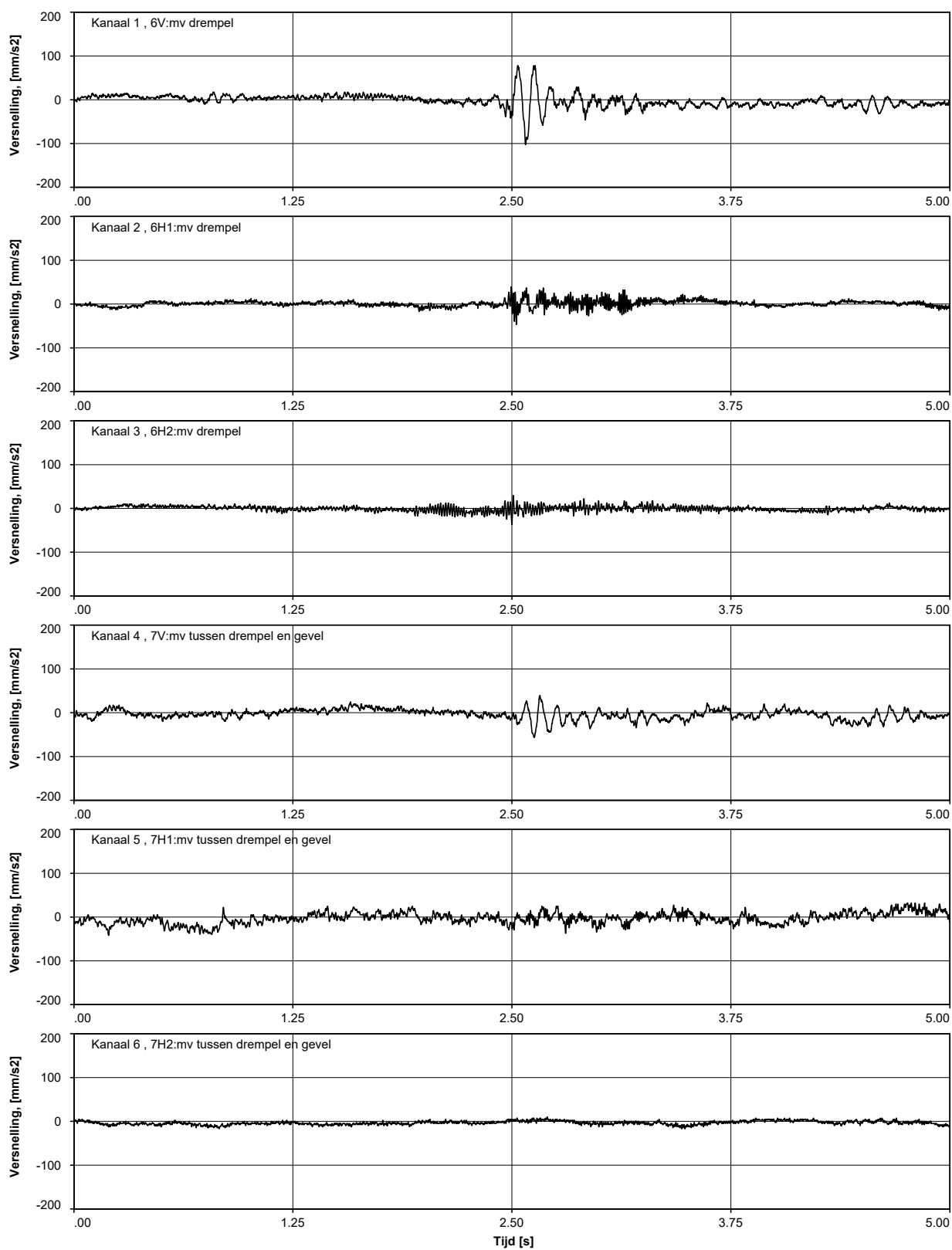


Bestand: hamer11.014
Opmerkingen: vau gem leeg -->c
Datum: 06/05/20 11:50

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Hamerstraat 11

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 5-C

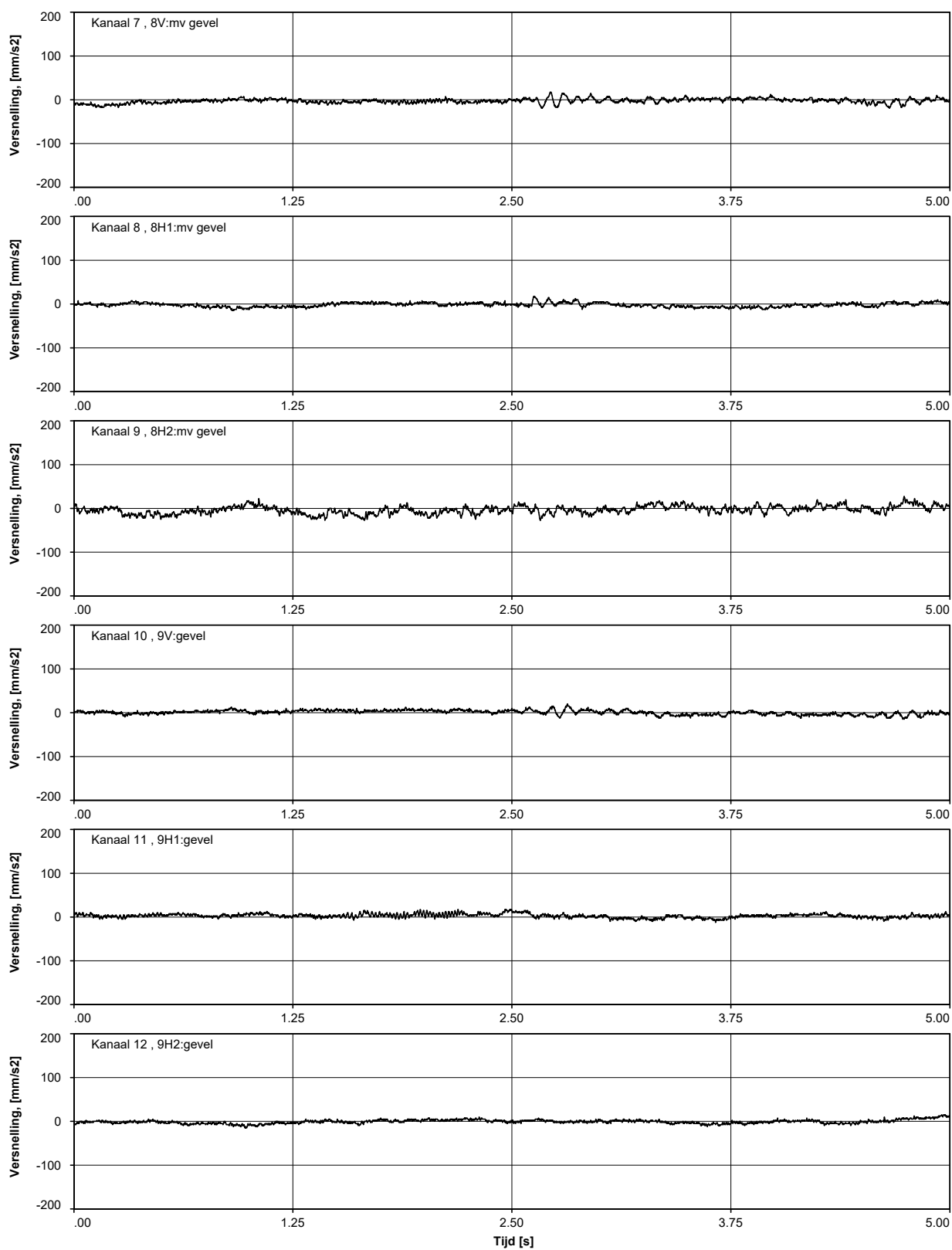


Bestand: hamer11.008
Opmerkingen: vau gem leeg -->c
Datum: 06/05/20 11:35

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Hamerstraat 11

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 6-A



Bestand: hamer11.008

Opmerkingen: vau gem leeg -->c

Datum: 06/05/20 11:35

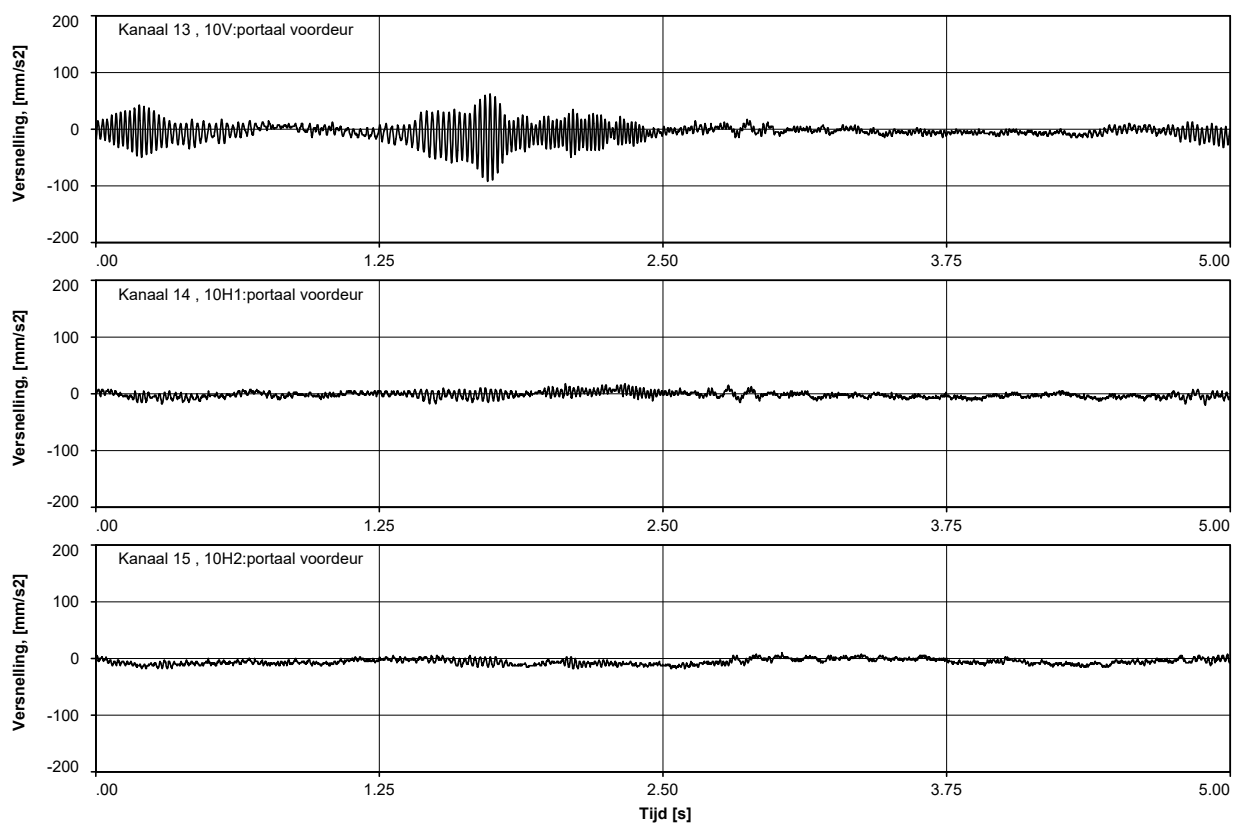
GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort

Hamerstraat 11

Opdr.: 1020-0016-000

Bijl.: 6-B



Bestand: hamer11.008
Opmerkingen: vau gem leeg -->c
Datum: 06/05/20 11:35

GRAFIEK TRILLINGSREGISTRATIE

Westervoort
Hamerstraat 11

Opdr.: 1020-0016-000
Bijl.: 6-C