Trillingsmetingen Sloterweg Amsterdam

Rapportage Trillingsmeting | Amsterdam

1421-188181 | 9 april 2021

Definitief

Ingenieursbureau Amsterdam

Gemeente Amsterdam

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingsmetingen Sloterweg Amsterdam
Documentnaam	Rapportage
Fugro-projectnr.	1421-188181
Fugro-documentnr.	1421-188181-R01
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	5.1, 2, e

Klantgegevens

Klant	Ingenieursbureau Amsterdam
Adres klant	Postbus 12693 , 1100 AR AMSTERDAM
Contactpersoon klant	5.1, 2, e

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	09-04-2021	Definitief		MDV	ASN	LBE

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
5.1, 2, e		

Inhoudsopgave

1.	**Inleiding**	**1**
2.	**Projectbeschrijving**	**2**
2.1	Situatiebeschrijving	2
2.2	Mechanisme trillingen	2
2.3	Meetapparatuur en meetlocatie	4
3.	**Beoordeling trillingen**	**7**
3.1	Toetsingskader en toetsingsprocedure	7
3.2	Soorten schade door trillingen	9
3.3	Grenswaarde SBR A	9
3.4	Streefwaarde SBR B	11
4.	**Meetresultaten**	**13**
4.1	Sloterweg [redacted]	13
4.1.1	Tijd-snelheid	13
4.1.2	Beoordeling SBR A	15
4.1.3	Beoordeling SBR B	16
4.2	Sloterweg [redacted]	18
4.2.1	Tijd-snelheid	18
4.2.2	Beoordeling SBR A	20
4.2.3	Beoordeling SBR B	21
4.3	Sloterweg [redacted]	23
4.3.1	Tijd-snelheid	23
4.3.2	Beoordeling SBR A	25
4.3.3	Beoordeling SBR B	26
4.4	Sloterweg [redacted]	28
4.4.1	Tijd-snelheid	28
4.4.2	Beoordeling SBR A	30
4.4.3	Beoordeling SBR B	31
4.5	Sloterweg [redacted]	33
4.5.1	Tijd-snelheid	33
4.5.2	Beoordeling SBR A	35
4.5.3	Beoordeling SBR B	36
5.	**Meetresultaten**	**38**
5.1	Samenvatting en beoordeling meetresultaten	38
5.2	Onderling verband	39
6.	**Trillingsreducerende maatregelen**	**42**
7.	**Conclusie en aanbevelingen**	**45**

Bijlagen

A. Toelichting SBR - Toetsingskader
B. Trillingstechnische vaktermen

1. Inleiding

In opdracht van het Ingenieursbureau van de Gemeente Amsterdam heeft Fugro een trillingsonderzoek uitgevoerd ter plaatse van de Sloterweg te Amsterdam. De onbemande trillingsmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 12 t/m 26 maart.

Aanleiding

Het trillingsonderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van diverse klachten van bewoners wonende aan de Sloterweg. De bewoners ervaren overlast van trillingen als gevolg van passerend verkeer dat over recent aangelegde verkeerdrempels rijdt.

Doelstelling

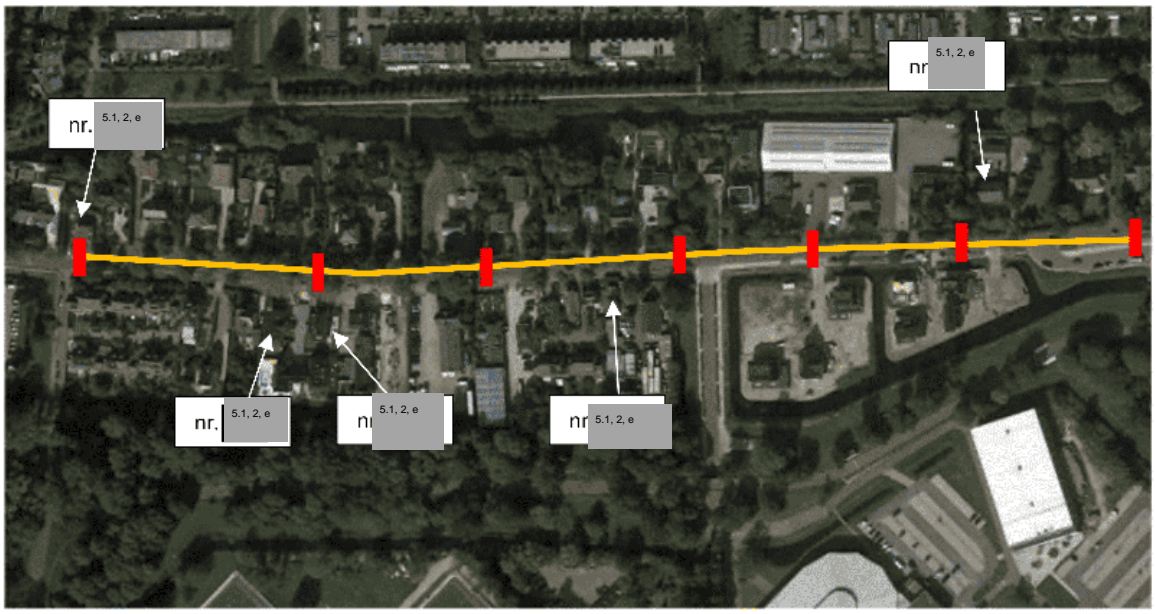
Het doel van de trillingsmetingen is inzicht verkrijgen in de trillingsintensiteiten ter plaatse van de woningen aan de Sloterweg te Amsterdam. Dit in relatie tot de vooraf gestelde grenswaarden conform de SBR richtlijn A "*Schade aan gebouwen*" en SBR richtlijn B "*Hinder voor personen in gebouwen*".

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

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

Recent heeft Gemeente Amsterdam ter plaatse van de Sloterweg 7 verkeersdrempels aangelegd. Sinds de aanleg ervaren diverse bewoners aan de Sloterweg overlast van trillingen als gevolg van passerend verkeer. Naast dat de trillingen hinderlijk kunnen zijn, kunnen ze eveneens leiden tot schade aan de woningen.

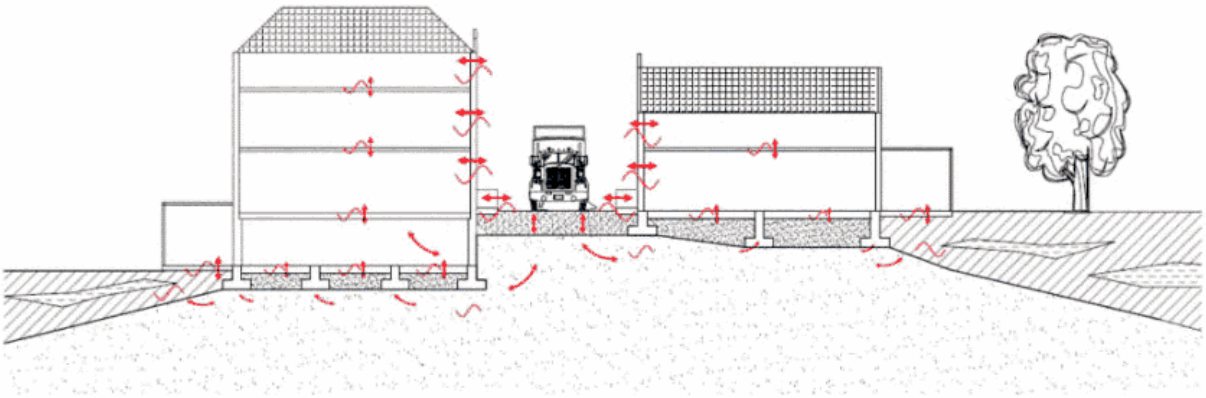


Figuur 2.1: Sloterweg te Amsterdam; onderzoekslocaties en verkeersdrempels (rood)

Op een vijftal adressen zijn trillingsmeters geplaatst: Sloterweg 5.1, 2, e 5.1, 2, e en 5.1, 2, e . De woningen variëren van nieuwbouw uit 2019/2020 (5.1, 2, e tot ouder metselwerk (nr 5.1, 2, e daterend uit 1935) tot woningen met houten gevels daterend uit 1992 (nr 5.1, 2, e

2.2 Mechanisme trillingen

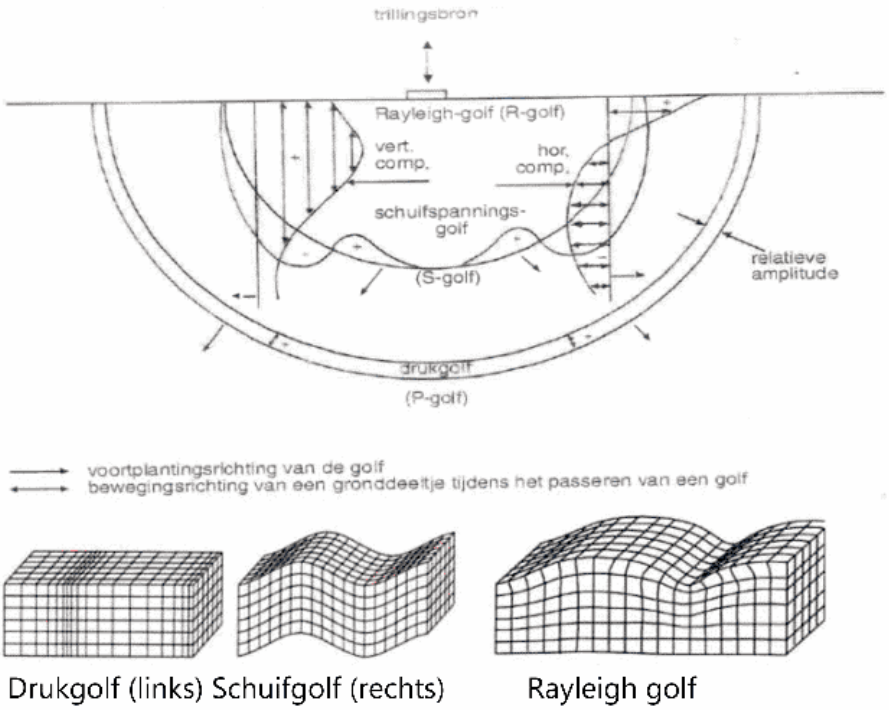
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. verkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze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



Figuur 2.2: Interacties tussen trillingsbron en ontvanger, situatie fundering op staal

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

Voor de trillingen voortplantende naar de omgeving zijn alleen de elastische golven van belang. Er ontstaan trillingsgolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur 2.3). Komen deze 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 2.3: 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 trillingsenergiebron 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 o.a. 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.

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;
- (Bij een weg) Afmetingen / dimensies van de wegconstructie;
- 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:

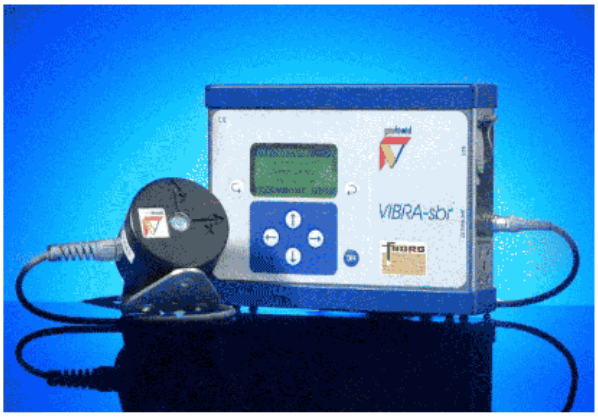
- Overdracht van de trillingen in het zandpakket via de fundering;
- Overdracht van de oppervlaktegolven direct onder het maaiveld op de funderingsconstructie.

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 opslingereffect op.

2.3 Meetapparatuur en meetlocatie

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

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingunit (figuur 2.4) en een geofoon. De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt aan de constructie bevestigd en deze meet snelheden in drie richtingen (x,y,z). In de verwerkingsunit wordt de frequentie in dezelfde drie richtingen berekend. Deze frequenties en snelheden worden direct op het scherm van de verwerkingsunit getoond.



Figuur 2.4: Vibra verwerkingsunit met geofoon

De verwerkingsunit slaat de van de sensor afkomstige meetsignalen automatisch op. Per gekozen tijdsinterval worden de hoogst gemeten trillingssnelheid met bijbehorende frequentie opgeslagen. De volgende instellingen van het meetsysteem zijn gehanteerd:

- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Data save level 0,0 mm/s (alle waarden worden opgeslagen)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode)

Locaties meetapparatuur

In onderstaande tabel is een overzicht van de meetlocaties opgenomen. De locaties zijn in overleg met de bewoners vastgesteld. De meetpuntlocaties op de vloer zijn in overleg met de bewoners bepaald (daar waar zij de grootste hinder beleven).

Tabel 2.1: Meetlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Globale Afst. trillingsbron	Meetsysteem nr
MP1; Sloterweg 5.1, 2, e	Binnen; 1e verdieping op houten vloer	10 meter	VIB 00091
MP2; Sloterweg 5.1, 2, e	Buiten; houten voorgevel	9 meter	VIB 00087
MP3; Sloterweg 5.1, 2, e	Binnen; in meterkast (i.v.m. laminaatvloer)	20 meter	VIB 00096
MP4; Sloterweg 5.1, 2, e	Buiten; voorgevel	16 meter	VIB 00076
MP5; Sloterweg 5.1, 2, e	Binnen; 2e verdieping voorzijde woning	15 meter	VIB 00085
MP6; Sloterweg 5.1, 2, e	Buiten; voorgevel	15 meter	VIB 00078
MP7; Sloterweg 5.1, 2, e	Binnen (fundering); kruipruimte aan muur	20 meter	VIB 00480

Meetpunt	Omschrijving locatie	Globale Afst. trillingsbron	Meetsysteem nr
MP8; Sloterweg 5.1, 2, e	Binnen; achter de voordeur	20 meter	VIB 00478
MP9; Sloterweg 5.1, 2, e	Binnen; vloer begane grond	15 meter	VIB 03704
MP10; Sloterweg 5.1, 2, e	Buiten; voorgevel	5 meter	VIB 03719

Opgemerkt wordt dat met aangehouden meetpuntopstelling enige stoortrillingen niet geheel voorkomen kunnen worden (dichtslaande deur c.q. loopbewegingen).

3. Beoordeling trillingen

3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure

SBR richtlijnen
Trillingsintensiteiten worden 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'.

In algemene zin geldt dat afhankelijk van de constructieve staat, funderingswijze en ouderdom van de bebouwing, functies van ruimten, karakteristieken van de trillingsgevoelige apparatuur en de afstand tot de werkzaamheden, de mogelijkheid bestaat dat de trillingen kunnen leiden tot schade aan de draagconstructie van omliggende gebouwen;

- hinder voor personen in gebouwen;
- storing aan trillingsgevoelige apparatuur;
- zettingsschade door verdichting van los gepakt zand.

In dit geval zijn de richtlijnen A en B van toepassing.

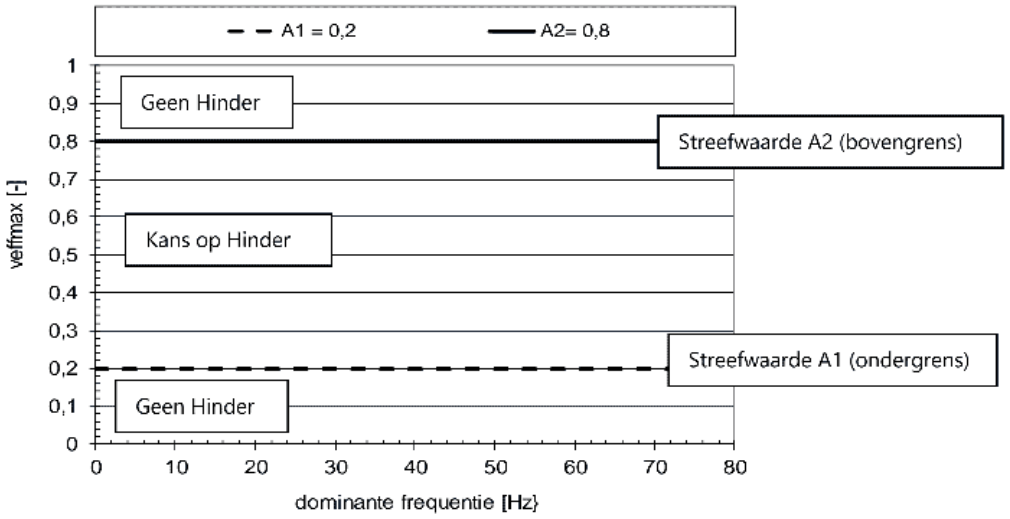
Toetsingsprocedure voor constructieve schade, SBR A 2017
Voor de toetsing van schade aan bouwwerken dient de trillingsintensiteit aan de draagconstructie bepaald / gemeten te zijn. Volgens de bestaande praktijkervaring is de kans op schade aan gebouwen (of onderdelen ervan) aanvaardbaar klein, indien 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:

Vr <= Vtop	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

Toetsingsprocedure voor hinderbeleving, SBR B
Voor de toetsing op hinderbeleving dient de 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)



Figuur 3.1: Voorbeeldgrafiek van toetsing op hinderbeleving (functie wonen, bestaande situatie)

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.

3.2 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

3.3 Grenswaarde SBR A

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 ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- *Type fundering*
  De nieuwbouwwoningen op nr. 5.1, 2, e en 5.1, 2, e zijn gefundeerd op palen. De woning aan de Sloterweg 5.1, 2, e is gefundeerd op staal, waarbij de zandlaag onder de fundering minimaal 1 m is (verwachting). Van de woningen aan de Sloterweg 5.1, 2, e en 5.1, 2, e s het funderingstype niet bekend.

- *Categorie bebouwing*
  Omdat de woning zijn opgetrokken uit metselwerk is een categorie 2 van toepassing, zijnde een object opgetrokken uit metselwerk en in (redelijk) goede staat van onderhoud.
- *Bouwkundig gevoelig*
  Conform de checklist uit SBR A zijn de woningen als "niet bouwkundig gevoelig" aangemerkt. Op moment dat een object een monumentale status heeft of in slechte staat is, dan is het object "bouwkundig gevoelig".
- *Soort meting (uitgebreidheid)*
  Omdat 1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) is ingericht, is sprake van een "indicatieve meting".

Voor een woning gefundeerd op staal zijn aan de draagconstructie zowel de grenswaarden geldig voor objecten gefundeerd op palen als de grenswaarden voor objecten gefundeerd op staal van toepassing. In onderstaande tabellen zijn de grenswaarden opgenomen.

Tabel 3.1: **Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op palen**

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiële veiligheidsfactor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]	
Freq.	Cat. 2		TB [1)]	BS [1)]	TM [1)]	Cat. 2 [2)]	Cat. 2(M) [2,3)]
[Hz]	[mm/s]		[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	5,0		**1,5**	**1,0**	1,0 / **1,6**	**3,3 / 2,1**	1,9 / 1,2
15	6,3		1,5	1,0	1,0 / 1,6	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.
[3] incl. partiele veiligheidsfactor voor bouwkundig gevoelig

Tabel 3.2: **Grenswaarden [mm/s], object gefundeerd op staal, bouwkundig niet gevoelig**

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid [2)]
		Verkeer [2)] (TB = 1,6)
		BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6 [1)]
[m]	[mm/s]	[mm/s]
6	12,9	8,1 / 5,0
7	11,4	7,1 / 4,5
8	10,0	6,3 / 3,9

1 TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2 excl./incl. partiële veiligheidsfactor soort meting.

De vet gemarkeerde waarden zijn van toepassing.

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

De grenswaarde is afhankelijk van gebouwcategorie, aard van de trillingsbron en dominante frequentie van de trilling. In bijlage "*Beoordeling van trillingen*" is nadere informatie hieromtrent opgenomen.

3.4 Streefwaarde SBR B

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

Op basis van de type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode). De streefwaarde is dimensieloos. Indien de trillingsintensiteit beneden de streefwaarde blijft, mag verwacht worden dat er in de meeste situaties geen hinder voor personen zal optreden.

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 gewijzigde situatie is van toepassing i.v.m. de nieuw aangelegde verkeersdrempels.
- *Functie ruimte*
  De functie van de ruimtes is wonen
- *Duur van de periode*
  Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).

Streefwaarden
De streefwaarden voor hinder zijn, in tegenstelling tot grenswaarden bij schade, niet primair frequentieafhankelijk en dimensieloos. In onderstaande tabel zijn deze voor een bestaande situatie opgenomen. Om praktische redenen en om een directe vergelijking van meetwaarden te kunnen maken zijn de streefwaarden omgerekend naar snelheidswaarden. Het handboek CUR 166 "Damwandconstructies" geeft een omrekenfactor van 0,42 voor trillingen die herhaald kortdurend van karakter zijn (zoals verkeerstrillingen).

Bij een "gewijzigde" situatie zijn de streefwaarde van een "bestaande" situatie van toepassing, waarbij bij overschrijdingen gestreefd wordt naar toepassen van maatregelen om de gewijzigde situatie terug te brengen naar de bestaande situatie.

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

Tabel 3.3: **Streefwaarden trillingssnelheid [-], voor gewijzigde situatie, functie wonen**

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,20 / 0,47	0,80 / 1,87	0,10 / 0,24
Nacht	0,20 / 0,47	0,40 / 0,96	0,10 / 0,24

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 3.4: **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 (bestaande 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.

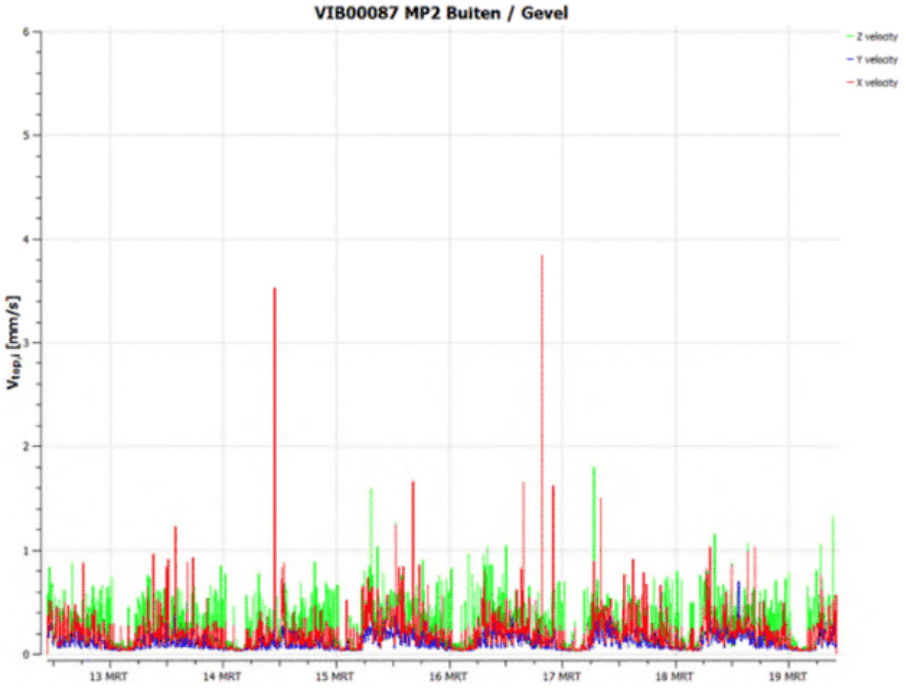
4. Meetresultaten

In de onderstaande grafieken zijn het verloop van de trillingssnelheid tegen de tijd en de toetsing van de meetresultaten weergegeven ten opzichte van de richtlijnen SBR-A en B.

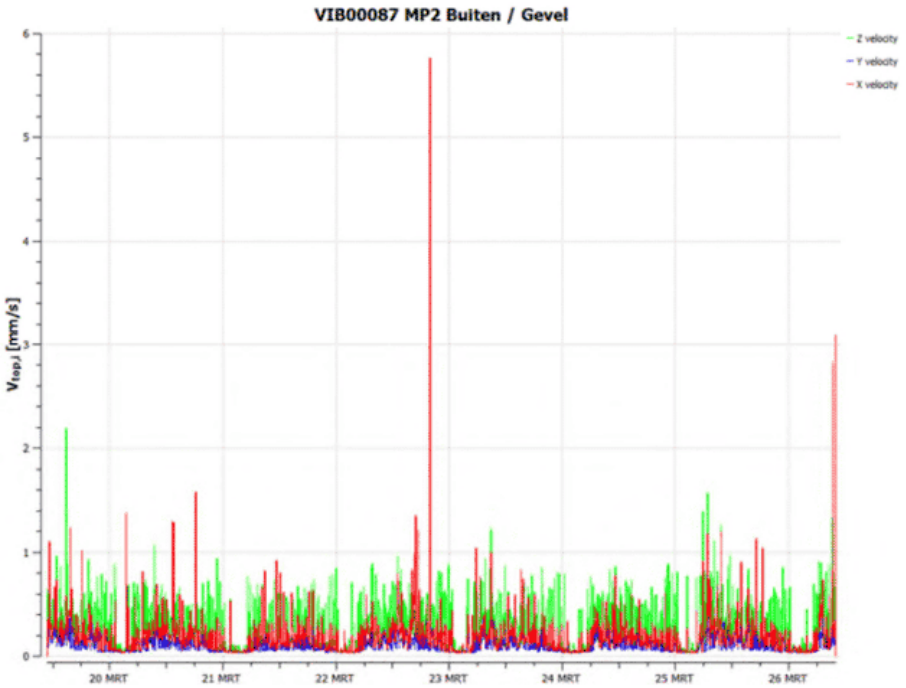
4.1 Sloterweg 5.1, 2, e

4.1.1 Tijd-snelheid

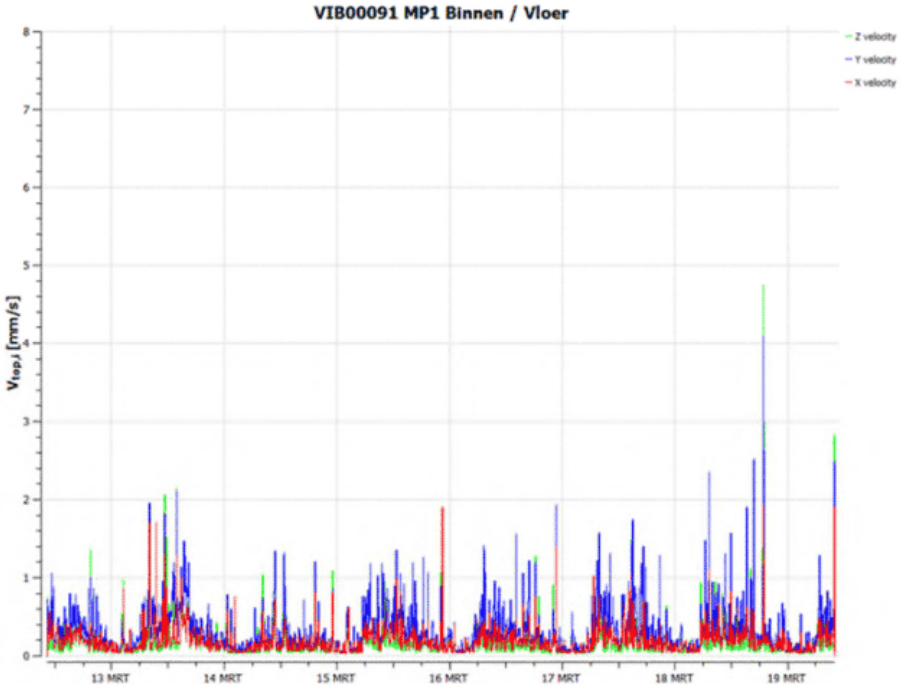
De onderstaande grafieken geven het verloop van de trillingssnelheid versus de tijd weer.



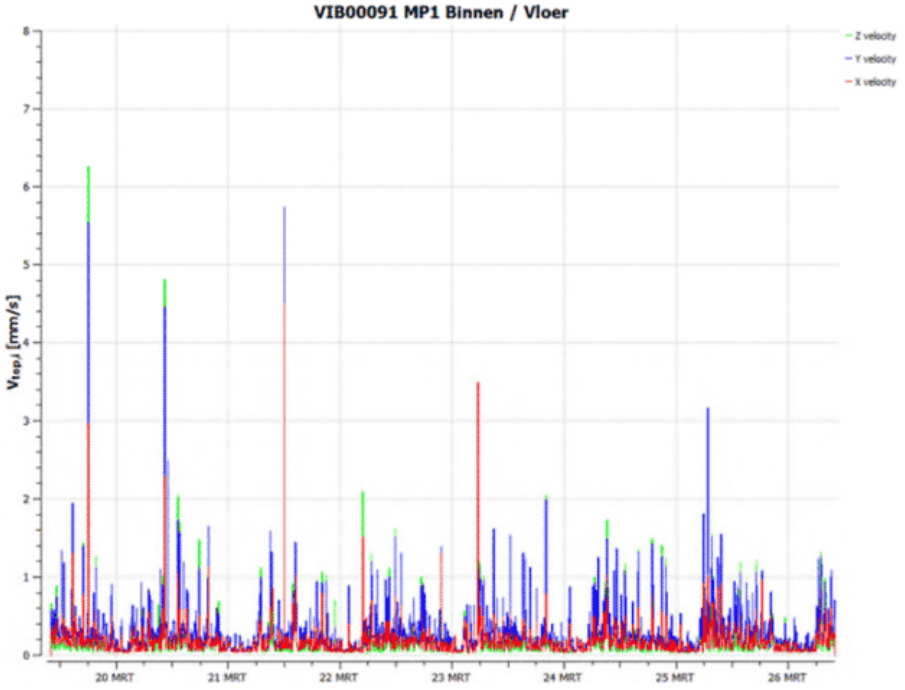
Figuur 4.1: Snelheid versus tijd 12 t/m 19 maart (MP2)



Figuur 4.2: Snelheid versus tijd 19 t/m 26 maart (MP2)



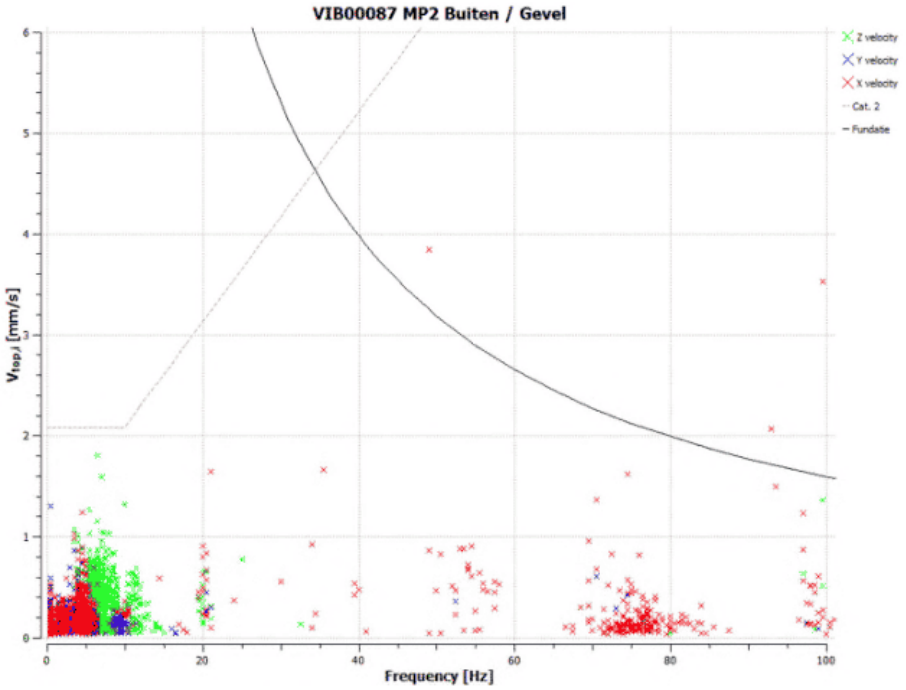
Figuur 4.3: Snelheid versus tijd 12 t/m 19 maart (MP1)



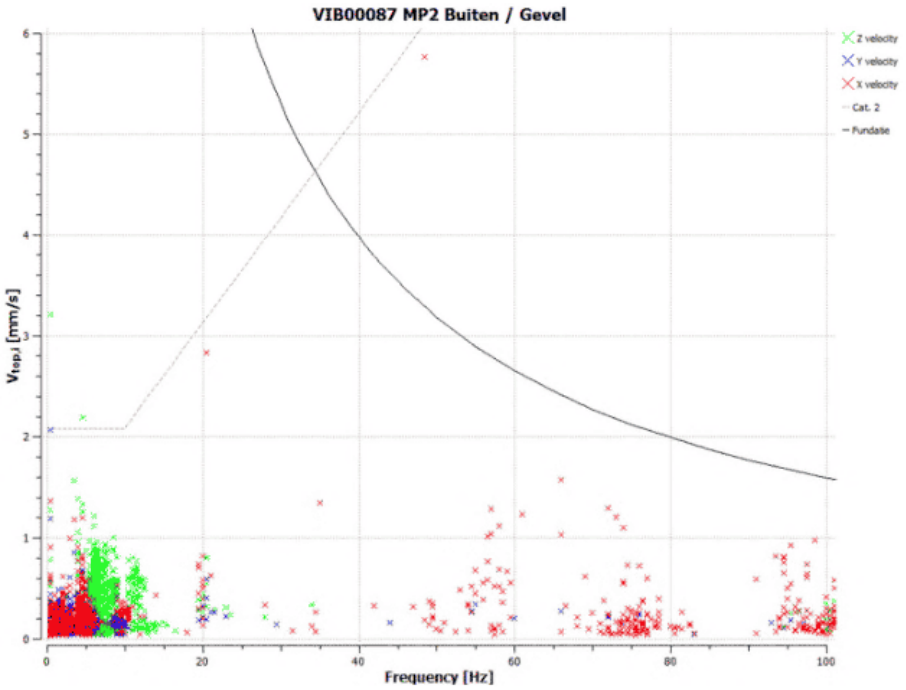
Figuur 4.4: Snelheid versus tijd 19 t/m 26 maart (MP1)

4.1.2 Beoordeling SBR A

De toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst aan de draagconstructie (gevel) van de woning. In onderstaande figuren is grafisch de toetsing van de meetresultaten op SBR A weergegeven. Zowel de grenswaarde lijnen voor categorie 2 als op staal (fundatie) zijn weergegeven.



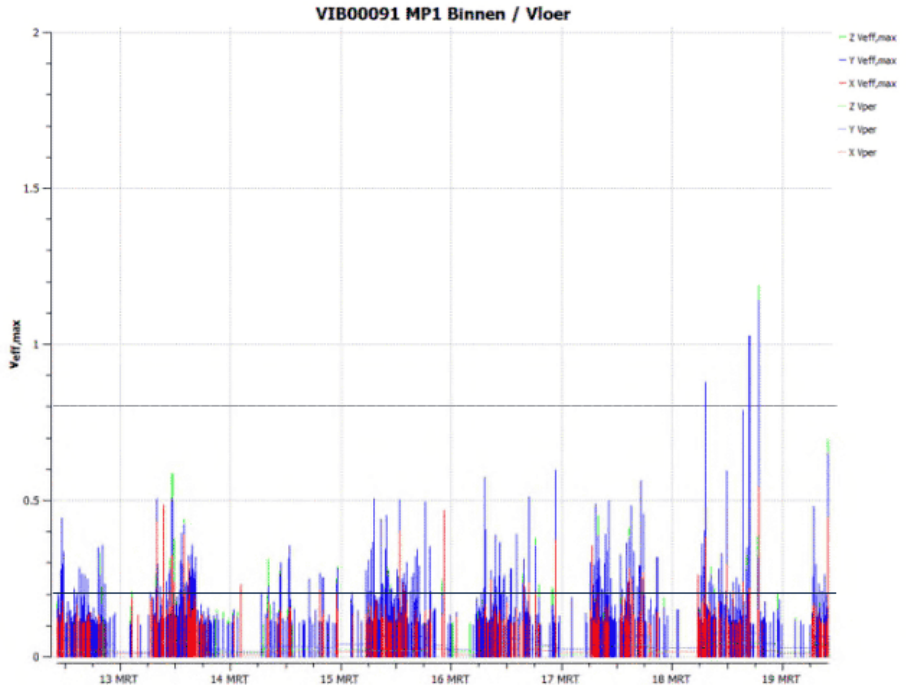
Figuur 4.5: Snelheid versus frequentie 12 t/m 19 maart (MP2)



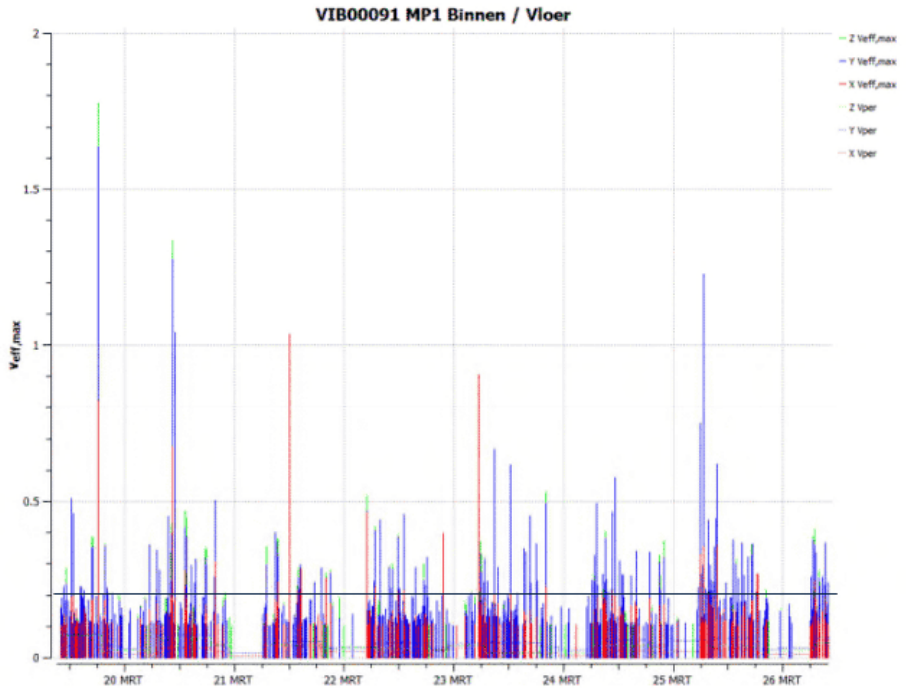
Figuur 4.6: Snelheid versus frequentie 19 t/m 26 maart (MP2)

4.1.3 Beoordeling SBR B

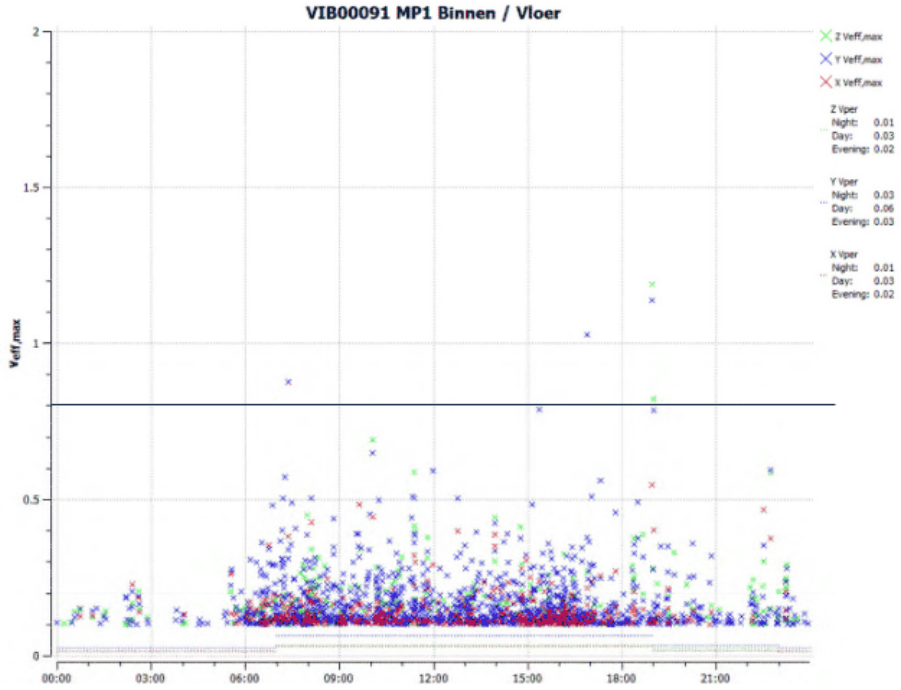
De toetsing op hinderbeleving (SBR B) wordt uitgevoerd op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. Weergegeven zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,2) en A2 (=0,8).



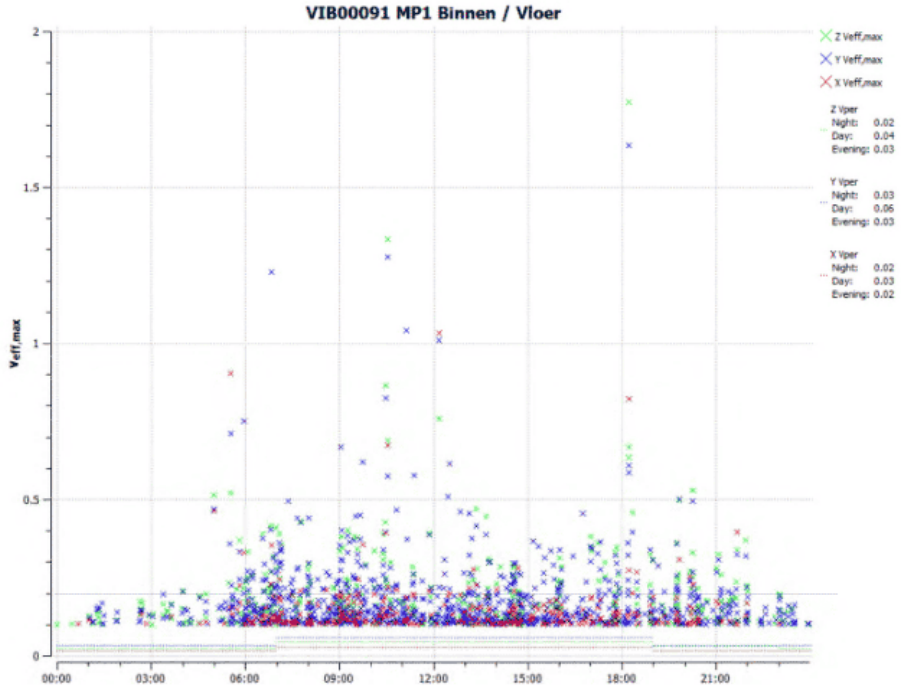
Figuur 4.7: Veff,max versus tijd/meetperiode 12 t/m 19 maart (MP1)



Figuur 4.8: Veff,max versus tijd/meetperiode 19 t/m 26 maart (MP1)



Figuur 4.9: Veff,max versus tijd/dag 12 t/m 19 maart (MP1)



Figuur 4.10: Veff,max versus tijd/dag 19 t/m 26 maart (MP1)

5. Meetresultaten

5.1 Samenvatting en beoordeling meetresultaten

De trillingsmetingen hebben bruikbare meetresultaten opgeleverd. Tijdens de metingen hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan, die op de metingen een mogelijk verstorend effect hebben gehad. In desbetreffende voorgaande paragrafen zijn in de figuren de meetwaarden grafisch weergegeven (tezamen met de grenswaarde- c.q. streefwaarde lijnen). In onderstaande tabel is een samenvatting van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 5.1: Samenvatting meetwaarden

Meetpunt	Omschrijving locatie	Meetsysteem	Meetwaarde 1) [mm/s]
MP 1	Sloterweg [redacted] binnen (1e verdieping) vloer	VIB00091	0,0 – 2,0 (2,5 – 6,2)
MP 2	Sloterweg [redacted] buiten (houten) voorgevel	VIB00087	0,0 – 1,3 (1,6 – 5,8)
MP 3	Sloterweg [redacted], binnen vloer	VIB00096	0,1 – 2,4 (2,8 – 5,5)
MP 4	Sloterweg [redacted] buiten voorgevel	VIB00076	0,0 – 0,6 (0,8 – 3,4)
MP 5	Sloterweg [redacted], binnen (2e verdieping) vloer	VIB00085	0,0 – 0,8 (1,2 – 2,1)
MP 6	Sloterweg [redacted] buiten voorgevel	VIB00078	0,0 – 0,5 (0,6 – 1,7)
MP 7	Sloterweg [redacted] binnen funderingsmuur	VIB00480	0,0 – 0,3 (0,4 – 0,7)
MP 8	Sloterweg [redacted] binnen vloer	VIB00478	0,0 – 0,4 (0,5 – 0,7)
MP 9	Sloterweg [redacted], binnen vloer	VIB03704	0,1 – 2,2 (2,5 – 7,0)[2]
MP 10	Sloterweg [redacted] buiten voorgevel	VIB03719	0,1 – 1,1 (1,3 – 3,2)

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn sporadische uitschieters

2) Extreem hoge meetwaarden (> 10 mm/s) zijn gemeten, aangenomen wordt dat deze niet door verkeer zijn veroorzaakt

In onderstaande tabel is een beoordeling opgenomen.

Tabel 5.2: Beoordeling op schade SBR A en hinderbeleving SBR B

Locatie	SBR A, Kans op schade		SBR B, hinderbeleving	
	Mate van overschrijding 3)	Risico 2) Cat 2 NBG	Mate van overschrijding 3) A1 / A2 / A3	Hinder 2) Wonen
Sloterweg [redacted], buiten (houten) voorgevel	SP	GR		
Sloterweg [redacted] binnen (1e verdieping) vloer			ST - F / SP / G	MH
Sloterweg [redacted], buiten voorgevel	G	GR		
Sloterweg [redacted] binnen vloer			ST – F / SP / G	MH

Sloterweg [redacted] buiten voorgevel	G	GR		
Sloterweg [redacted] binnen (2e verdieping) vloer			ST / G / G	WH
Sloterweg [redacted] binnen funderingsmuur	G	GR		
Sloterweg [redacted] binnen vloer			SP / G / G	GH
Sloterweg [redacted] buiten voorgevel	SP	GR		
Sloterweg [redacted] binnen vloer			ST – F / SP / G	MH

1) NBG = niet bouwkundig gevoelig.
2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
GH = geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel, F = fors, N = net

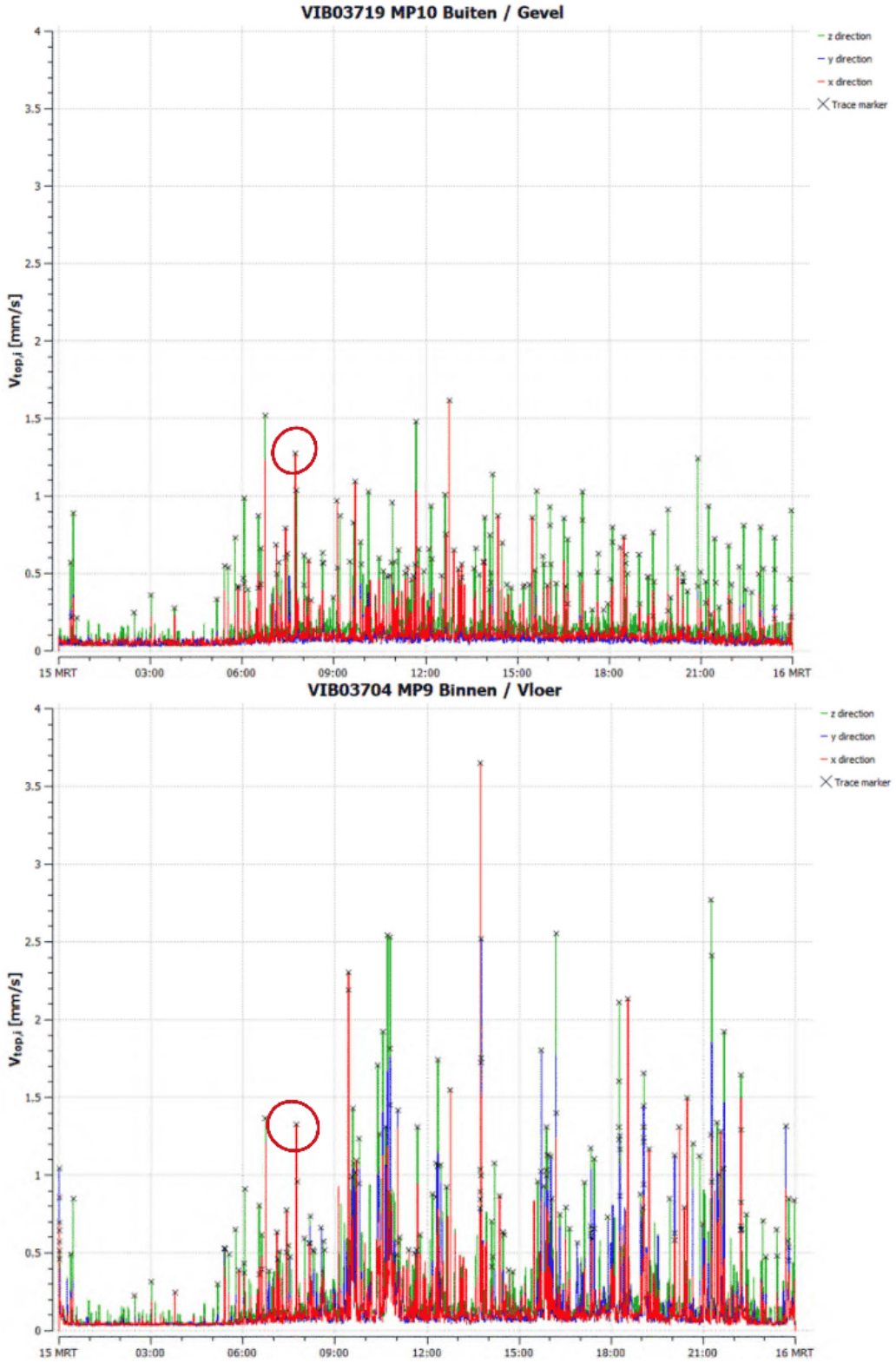
Toelichting
Op moment dat geen overschrijdingen optreden (aangegeven met G), is het risico op schade / hinder aanvaardbaar klein (aangegeven met GR). Bij de beoordeling op hinder is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijding (fors of net) en een tijdstermijn (structureel of sporadisch).

Een marginale overschrijding wordt anders beleefd dan een forse overschrijding. Zo ook een sporadische optredende overschrijding ten opzichte van veelvuldig (structurele) overschrijdingen. Bij structurele overschrijdingen treedt na verloop van tijd een gewenning op. Een structurele net overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

5.2 Onderling verband

Meter naast de bron (verkeer)
De metingen zijn onbemand uitgevoerd, er is geen camera geplaatst om verkeersbewegingen te registreren en daarmee de correlatie te bepalen tussen meetwaarde en passerend voertuig. Derhalve is niet direct een correlatie / onderlinge verband tussen meetwaarden en bron (dit is personenauto of b.v. vrachtverkeer) te leggen.

Onderlinge correlatie trillingen buiten/binnen
Uit een onderlinge vergelijking tussen de meetwaarden aan de gevel (MP 2,4,6,7,10) en op de vloer (MP 1,3,5,8,9) volgt dat op vergelijkbare tijdstippen verhoogde waarden zichtbaar zijn. Het is daarmee aannemelijk dat de waarden door passerend verkeer zijn veroorzaakt. In onderstaande figuren zijn, als voorbeeld van Sloterweg [redacted] de meetwaarden aan de gevel en op de vloer onderling vergeleken.

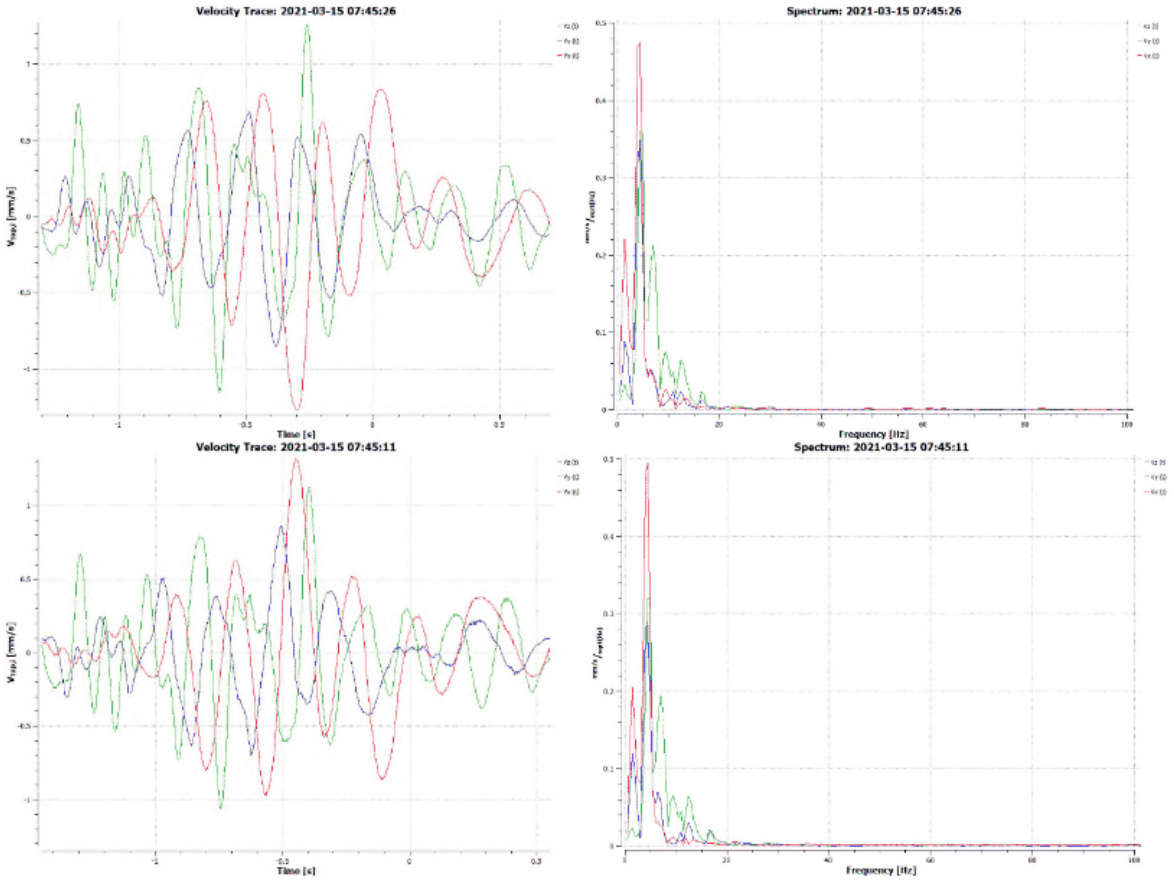


Figuur 5.1: Onderlinge vergelijking meetwaarden gevel (boven) en op de vloer (onder) 13 maart 2021, periode 00:00 uur – 24:00 uur

Karakteristieken trilling passages

Per ingestelde sampletijd (in dit geval 3 sec) wordt een maximum snelheidswaarde met bijbehorende frequentie en versnelling opgeslagen. Het meetsysteem is dusdanig geprogrammeerd dat ook per uur circa 3 "traces" worden opgeslagen. Dit zijn signalen van passages waarbij de trilling hoogfrequent gesampled is en volledig is opgeslagen. Het systeem bepaald zelf welk dat signaal zal zijn.

In onderstaande figuren is van een trace (rood gemarkeerde cirkel in voorstaande figuur) waarvan het aannemelijk is dat deze veroorzaakt zijn door een passage het trillingsbeeld en het bijbehorende frequentiespectrum opgenomen.



Figuur 5.2: Detail trilling gevel (boven) en vloer (onder).

6. Trillingsreducerende maatregelen

Met het toepassen van trillingsreducerende maatregelen worden de trillingsintensiteiten gereduceerd. Dergelijke maatregelen kunnen aan de bron, in het medium (grond) of bij de ontvanger (woning) toegepast worden. In onderstaande tabel zijn in algemene zin voor trillingen veroorzaakt door passages van wegverkeer mogelijke maatregelen opgenomen. In de tabel is, beschouwend, eveneens aangegeven welke (en hoe) de maatregel eventueel toepasbaar zou kunnen worden.

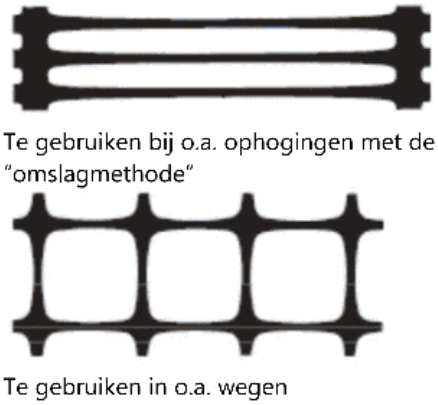
Tabel 6.1 Overzicht mogelijke trillingsreducerende maatregelen

Maatregel		Toepasbaar Wenselijk [1)]	Wijze / hoe?
	Bij de Bron		
B1	Snelheidsreductie	Ja	30 km/uur
B2	Verkeersintensiteit	(Nee)	Weren van verkeer
B3	Tonnage	(ja)	Kleiner vrachtmaterieel
B4	Geometrie drempel/plateau	ja	Andere vormgeving
	Bij het Medium		
M1	Afstand	nee	
M2	wegconstructie		
M2.1	funderingsdikte	ja	Dikker maken
M2.2	wegvlakheid	ja	Gladder maken, oneffenheden verwijderen (putdeksels)
M2.3	wegbreedte	ja	Wegas verleggen / smaller
M2.4	Isoleren	ja	Opsluiten (geogrid)
M3	Transmissie doorbreken	ja	Trillingscherm in grond
	Bij de Ontvanger [2)]		
O1	Fundering	Nee	Onderstijven / Woning op dempers
O2	Woningskelet	Nee	Wanden en vloeren stijver
1)	tussen haakjes geplaatste optie zijn mogelijk maar minder wenselijk		
2)	Maatregelen zouden wel genomen kunnen worden, maar zijn niet beschouwd		

In onderstaande figuren zijn voorbeelden van enkele maatregelen opgenomen. In figuur 2.2 (impressie projectlocatie) is te zien dat op enkele locaties momenteel al een wegasverlegging van toepassing is (paaltjes in de weg/ bloembak).

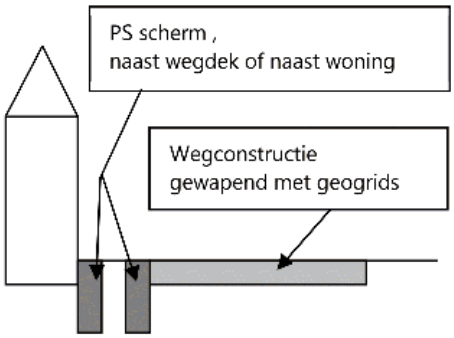


Figuur 6 1: Voorbeeld maatregel M1 / M2.3, afstand / wegbreedte, as verlegging





Figuur 6-2: Voorbeeld maatregel M2.4, isoleren met geogrid / wapening van een weg





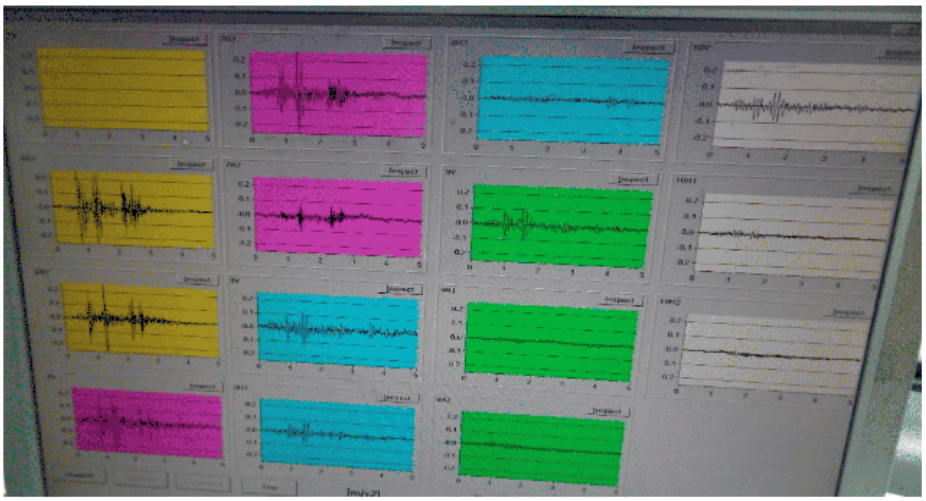
Figuur 6.3: Voorbeeld maatregel M3 transmissie doorbreken, trillingsscherm naast de weg

Resume maatregelen

Maatregelen aan de bron (wegverkeer en wegconstructie) kunnen een optie zijn, zijnde het verwijderen van b.v. de oneffenheden en putdeksels. Deze maatregelen kunnen doorgevoerd worden bij (groot) onderhoud van de weg. Maatregelen bij de ontvanger behoren weliswaar tot de mogelijkheden, maar zijn erg duur (verwachting) en vergen tijdens de uitvoering ervan een nauwlettende directie die erop toeziet dat e.e.a. uitgevoerd wordt zoals gepland. De verwachting is dat dit geen optie is. Verwacht wordt dat de grootste kans van slagen verkregen wordt het vergroten van de funderingsdikte tezamen met het plaatsen van trillingschermen in de grond in de kant van de weg. Gedacht kan worden aan een polystyreen scherm van enige afmetingen.

De uiteindelijk toe te passen maatregel(en) is enerzijds afhankelijk van het benodigde reductiepercentage (volgt uit de metingen) in relatie tot de te verwachten reductie (effect) van de maatregel. Bijvoorbeeld, een opgelegde snelheidsverlaging heeft wel enig effect, maar is niet afdoende om geen trillingen meer te voelen, terwijl na aanbrengen van een trillingscherm de trillingen in de woning niet meer gevoeld worden.

Voor het dimensioneren van reducerende maatregelen (bij de weg en in de grond) is inzicht in de afdracht / overdracht van trillingen in grond en naar de woning van belang. Geadviseerd wordt dit met aanvullende trillingsmetingen inzichtelijk te (laten) maken. In deze kan niet volstaan worden met het hanteren van de standalone systemen zoals deze in voorliggende meting zijn gehanteerd, maar dient een systeem gehanteerd te worden, waarmee bemand wordt gemeten met versnellingsopnemers en waarbij de verscheidene meetpunten onderling aan elkaar gecorreleerd zijn (5 tot 10 meetpunten, XYZ). Fugro kan deze aanvullende metingen verzorgen.



Figuur 6 4: Voorbeeld overdracht/afdracht trilling (geel = bron, groen =gevel, wit = vloer), zichtbaar is een afname van amplitude

7. Conclusie en aanbevelingen

Opdrachtverstrekking
In opdracht van het Ingenieursbureau van de Gemeente Amsterdam heeft Fugro een trillingsonderzoek uitgevoerd ter plaatse van de Sloterweg te Amsterdam. In de periode van 12 t/m 26 maart 2021 zijn trillingsmetingen uitgevoerd bij een 5-tal woningen (Sloterweg [redacted], 1053, [redacted]). Bij de woningen is gemeten zowel aan de gevel als op een vloer. De meetresultaten zijn getoetst / beoordeeld aan de grens- en streefwaarden uit de SBR richtlijn A "*Schade aan bouwwerken*" en SBR richtlijn B "*Hinder voor personen*".

Aanleiding
Het trillingsonderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van diverse klachten van bewoners wonende aan de Sloterweg. De bewoners ervaren overlast van trillingen als gevolg van passerend verkeer dat over recent aangelegde verkeerdrempels rijdt.

Meetlocaties
Voor het onderzoek zijn vijf woningen geselecteerd. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de afstand van de woning tot de weg, de mogelijke fundering/constructie wijze en ouderdom. De 5 geselecteerde woningen zijn representatief voor de Sloterweg. De woningen variëren van nieuwbouw tot ouder metselwerk (1935) tot een woning met houten gevels uit 1992.

Toetsingskader
De meetresultaten zijn beoordeeld en getoetst op basis van de grens- en streefwaarden uit SBR richtlijn A "*Schade aan bouwwerken* en SBR B "*Hinder voor personen*". Voor risico op schade conform SBR A is gemeten aan de draagconstructie (gevel). Voor beoordeling op hinderbeleving conform SBR B is gemeten op de vloer.

Grens en streefwaarden
SBR A: Op basis van een object indeling in categorie 2 (metselwerk in goede staat), een niet bouwkundig gevoelig object (= o.a. geen monumentale status), een herhaald kortdurende trilling (stochastisch) en een indicatieve meting (= 1 meetpunt aan de draagconstructie), geldt een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 0 – 10 Hz). De grenswaarde is frequentie afhankelijk.

Bij overschrijden van de grenswaarde is het risico op constructieve schade groter dan 1% (= niet aanvaardbaar klein).

SBR B: Op basis van een bestaande situatie (zowel trillingsbron als ontvanger (woning) zijn aanwezig), een herhaald kortdurende trilling (stochastisch) en de functie "wonen" van de ruimte, geldt voor streefwaarde A1 van 0,2 [-] (= 0,48 mm/s) voor streefwaarde A2 van 0,8 (= 1,9 mm/s) en voor streefwaarde A3 van 0,1 (= 0,24 mm/s). De streefwaarden zijn frequentie onafhankelijk.

Bij onderschrijden van streefwaarde A1 is hinderbeleving niet aannemelijk. Bij overschrijden van streefwaarde A2 is hinderbeleving aannemelijk. Bij overschrijden van streefwaarde A1 en onderschrijden van streefwaarde A2, is hinderbeleving afhankelijk van overschrijden van streefwaarde A3, waarbij het aantal maal dat de trilling zich voordoet mede een rol speelt.

Meetwaarden en beoordeling

In onderstaande tabel zijn de meetwaarden samengevat en is de beoordeling opgenomen. In de kolommen SBR A en SBR B zijn zowel de mate van overschrijding en het risico opgenomen.

Tabel 7.1: Meetresultaten en beoordeling

MP	Locatie	Systeemnr	Meetwaarde [1] [mm/s]	SBR A [2,3,4] Cat 2 NBG	SBR B [3,4,5] Wonen (A1 / A2 / A3)	
MP 1	Nr 5.1, 2, e vloer	VIB00091	0,0 – 2,0 (2,5 – 6,2)		ST - F / SP / G	MH
MP 2	Nr 5.1, 2, e gevel	VIB00087	0,0 – 1,3 (1,6 – 5,8)	SP / GR		
MP 3	Nr 5.1, 2, e vloer	VIB00096	0,1 – 2,4 (2,8 – 5,5)		ST – F / SP / G	MH
MP 4	N 5.1, 2, e gevel	VIB00076	0,0 – 0,6 (0,8 – 3,4)	G / GR		
MP 5	Nr 5.1, 2, e vloer	VIB00085	0,0 – 0,8 (1,2 – 2,1)		ST / G / G	WH
MP 6	Nr 5.1, 2, e , gevel	VIB00078	0,0 – 0,5 (0,6 – 1,7)	G / GR		
MP 7	Nr 5.1, 2, e fundering	VIB00480	0,0 – 0,3 (0,4 – 0,7)	G / GR		
MP 8	Nr 5.1, 2, e vloer	VIB00478	0,0 – 0,4 (0,5 – 0,7)		SP / G / G	GH
MP 9	Nr 5.1, 2, e vloer	VIB03704	0,1 – 2,2 (2,5 – 7,0)[2]		ST – F / SP / G	MH
MP 10	Nr. 5.1, 2, e gevel	VIB03719	0,1 – 1,1 (1,3 – 3,2)	SP / GR		

1) tussen haakjes vermelde waarden zijn uitschieters)
2) NBG = niet bouwkundig gevoelig
3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel, F = fors, N = net
4) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot
5) GH =geen hinder, WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar)

Correlatie meetwaarden met trillingsbron (passages verkeer)

Omdat de metingen onbemand zijn uitgevoerd en geen camera is geplaatst om het passerende verkeer te registreren, is het brontype (of auto of bus of vrachtverkeer) niet te correleren aan de meetwaarden. Uit een onderlinge vergelijking van de meetwaarden van de meetpunten (gevel en vloer), volgt wel dat het aannemelijk is dat de meetwaarden veroorzaakt zijn door passerend wegverkeer. Steekproefsgewijs zijn tijdstippen van passages onderling vergeleken.

Conclusie t.a.v. risico op schade, SRB A

Voor alle woningen wordt aan de draagconstructie de grenswaarde voor risico op schade niet of sporadisch overschreden. Derhalve wordt geconcludeerd dat het risico op schade aanvaardbaar klein is.

Conclusie t.a.v. hinderbeleving, SRB B
Op de vloeren van de woningen aan de Sloterweg 5.1, 2, e 5.1, 2, e wordt de streefwaarde A1 structureel overschreden. Bij 3 van de 5 woningen wordt de streefwaarde A2 sporadisch overschreden. Geconcludeerd wordt dat hinderbeleving aannemelijk is (in meer of mindere mate).

Perceptie
Trillingen zijn doorgaans voelbaar vanaf circa 0,25 mm/s tot circa 0,5 mm/s. De trillingen zijn bij alle 4 van de 5 woningen op de vloeren goed voelbaar. In onderlinge gradatie tussen de woningen worden de trillingen het beste gevoeld in woningen Sloterweg 5.1, 2, e 5.1, 2, e en 5.1, 2, e en in mindere mate bij Sloterweg 5.1, 2, e

Advies
Op basis van de meetresultaten is het wenselijk om met trillingsreducerende maatregelen de intensiteiten te reduceren. Geadviseerd wordt de mogelijke effecten van trillingsreducerende maatregelen nader te (laten) onderzoeken. Omdat de trillingen zeer sterk afhankelijk zijn van de rijsnelheid van het verkeer dient naast het nemen van maatregelen om de trillingen te reduceren eveneens maatregelen ter reductie van de rijsnelheid te worden genomen. Fugro kan daarvoor een invulling verzorgen.

De Sloterweg is een zeer drukke ontsluitingsweg waar redelijk hard gereden wordt (informatie volgens bewoners). Ter reductie van de rijsnelheid zou onderstaande maatregel(en) opgelegd kunnen worden:

- Onaantrekkelijk maken van de weg door bv versmallingen toe te passen. Deze dien op korte afstand tot elkaar aangebracht te worden, zodat op het tussen stuk geen "gas" gegeven kan worden
- Aanleggen verkeersdrempels waarbij deze niet haaks maar onder een hoek in de as van de weg aangebracht wordt. Opgemerkt wordt dat drempels doorgaans wel tot verhoging van de trillingen leiden, maar indien deze in combinatie met bv een scherm erlangs aangebracht wordt, de trillingen beheersbaar zijn.

Trillingsreducerende maatregelen
Maatregelen kunnen genomen worden bij de bron (weg/wegconstructie), bij de ontvanger (=woning) en/of in het medium tussen de bron en ontvanger. Verwacht wordt dat bij de ontvanger geen maatregelen doorgevoerd gaan worden. Op basis van een dynamisch (vermoeiings)onderzoek zouden technisch gezien deze wel mogelijk zijn (b.v. onder stijven van de fundering).

Een maatregel als vergroting van de funderingsdikte als een wegas verlegging of lokale wegversmallingen zouden de rijsnelheid en daarmee de trillingen verlaagd kunnen worden. Bij de renovatie is het mogelijk een trillingsscherm aan te brengen. Met het plaatsen van een trillingsschermen in de grond direct naast de weg (of dicht tegen de woning aan) wordt een onderbreking van de afdracht/overdracht (transmissie) verwezenlijkt. Van belang is om voldoende stijfheidsverschil over voldoende dikte teweeg te brengen. Gedacht kan worden aan polystyreen schermen of grond injecties van enige afmetingen.

Bij het bepalen / dimensioneren van de mogelijke maatregelen (en effecten ervan) is de optredende afdracht/overdracht versus afstand essentieel. In deze wordt geadviseerd aanvullende trillingsmetingen te (laten) uitvoeren, waarbij een meetsysteem gehanteerd wordt waarmee de passages hoog frequent gesampeld worden en een onderlinge correlatie tussen de meetpunten direct bepaald wordt. Het meten met standalone systemen is hierin niet afdoende. Fugro kan dit soort metingen (en (dynamische) adviezen) verzorgen.

Bijlagen

A. 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 los gepakt 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 γt voor het type trillingsbron in rekening gebracht.

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 partiele veiligheidsfactor γs in rekening gebracht van 1,0 dan wel 1,7.

Opmerking t.a.v. categorie indeling, composiet
Indien de bebouwing een draagconstructie bestaande uit beton bevat waar tegenaan metselwerk is geplaatst, zou conform SBR A het object ingedeeld kunnen worden in categorie 1. Echter omdat metselwerk aanwezig is, zou het object toch in categorie 2 ingedeeld moeten worden. In werkelijkheid is sprake van een categorie ergens tussen beide categorieën in (categorie 1,5), waardoor een aangepaste grenswaarde van toepassing is. Het indelen in een tussenliggende categorie kan alleen geschieden in overleg met / toestemming van Bevoegd Gezag.

In de voorgaande versie uit 2006 van SBR A is sprake van een categorie 3 zijnde een object bestaande uit metselwerk in slechte staat of een object met een monumentale status (cultuurtechnische waarde). Afhankelijk van de bouwkundige staat c.q. monumentale status wordt in SBR A 20017 een partiele factor hiervoor in rekening gebracht.

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:

$$V_{kar} = 10*(1+(8-H)/7)$$

Waarbij:

H - laagdikte van het zandpakket onder de fundering [m].

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:

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

waarin:

Vr	=	rekenwaarde van de grenswaarde	[mm/s];
Vkar	=	karakteristieke waarde van de grenswaarde	[mm/s];
γt	=	partiële veiligheidsfactor type trillingsbron	[-].
γs	=	partiële veiligheidsfactor bouwkundige staat / monumentale status	[-].
γm	=	partiële veiligheidsfactor meting	[-].

Op moment dat de gemeten / berekende trillingssnelheid (maximum) bepaald aan de draagconstructie lager is dan de rekenwaarde voor de grenswaarde, dan mag verwacht worden dat er geen risico op schade is.

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).

Tabel B 1: Veiligheidsfactoren

	Omschrijving	Fundering type	
		Op palen	Op staal
Type trillingsbron γt	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γt	normaal	1,0	1,0
	Gevoelig (monumentale status)	1,7	1,7

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. Om praktische redenen wordt in de praktijk bij het programmeren van de meters (in dit geval niet van toepassing), de grenswaarde gedeeld door deze factor, omdat de meetwaarden op voorhand immers nog niet bekend zijn.

Tabel B 2: Veiligheidsfactoren, soort meting

Soort meting	Omschrijving	Factor
Indicatief	1 meetpunt (X, Y, Z) aan de draagconstructie	1,6
Beperkt	2 meetpunten (X, Y, Z) aan de draagconstructie en circa 10 m boven MP aan de draagconstructie	1,4
Uitgebreid	Meerdere meetpunten in stijve punten van de constructie	1,0

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 de in onderstaande tabel opgenomen frequentieranges.

Tabel B 3: Dominante frequenties

Type bron	omschrijving	Frequentie
heien	prefab betonpalen	10 Hz tot 15 Hz
	vibropalen	20 Hz tot 25 Hz
	Inwendig geheide buispalen (valblok)	5 Hz tot 15 Hz
trillen	Hoog frequent damwanden	30 Hz tot 35 Hz
	Laag frequent damwanden	20 Hz tot 25 Hz
Slopen	Hydraulische snelslaghamer	20 Hz tot 25 Hz
Verkeer	Trilling vergelijkbaar met herhaald kortdurend	5 Hz tot 15 Hz
Railverkeer	Trilling deels vergelijkbaar met herhaald kortdurend en / of deels vergelijkbaar met continue trilling	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 4A: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig NIET gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	Cat.1	Cat. 2
[Hz]	[mm/s]	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
10	20,0	5,0	1,5	1,0	1,0 / 1,6	13,3 / 8,3	3,3 / 2,1z
15	22,5	6,3	1,5	1,0	1,0 / 1,6	15,0 / 9,4	4,2 / 2,6z
20	25,0	7,5	1,5	1,0	1,0 / 1,6	16,7 / 10,4	5,0 / 3,1z
25	27,5	8,8	1,5 2,5	1,0 1,0	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	18,3 / 11,5 11,0 / 6,9	5,8 / 3,6z 3,5 / 2,2
30	30,0	10,0	2,5	1,0	1,0 / 1,6	12,0 / 7,5	4,0 / 2,5z
35	32,5	11,3	2,5	1,0	1,0 / 1,6	13,0 / 8,1	4,5 / 2,8z
40	35,0	12,5	2,5	1,0	1,0 / 1,6	14,0 / 8,8	5,0 / 3,1z

1) TB = Type trillingsbron, BS = Bouwkundige staat, TM = type meting
2) Excl. / incl. pa

Tabel B 4B: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op palen, bouwkundig **WEL** gevoelig

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiele veiligheidsfactoren [1]			Rekenwaarde grenswaarde [2]	
	Cat.1	Cat. 2	TB	BS	TM	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 2,5	1,7 1,7	1,0 / 1,6 1,0 / 1,6	10,8 / 6,7 6,5 / 4,0	3,5 / 2,2 2,1 / 1,3
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. pa

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 5: Grenswaarde [mm/s], object gefundeerd op staal

Laagdikte	Karakteristieke waarden	Bouwkundig NIET gevoelig [1] [2]		Bouwkundig Gevoelig [1] [2]	
		Heien TB = 1,6 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,0 TM = 1,0 / 1,6	Heien TB = 1,6 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6	Trillen TB = 2,0 BS = 1,7 TM = 1,0 / 1,6
[m]	[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. pa

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.

Hinderbeleving conform SBR-richtlijn B
Conform SBR richtlijn B is de hinderbeleving afhankelijk van:
- de omstandigheden van de trillingsbron;
- situatie;
- de functie van een ruimte in een gebouw;
- het tijdstip waarop de trilling voorkomt op de dag.

Omstandigheid van de trillingsbron
Analoog aan SBR A wordt in SBR richtlijn B eveneens onderscheid gemaakt in trillingsbronnen. Onderscheid wordt gemaakt in:
- bronnen die incidenteel kortdurend voorkomen (bv. explosies);
- Bronnen die continue voorkomen gedurende lange tijd (bv. machines);
- bronnen die herhaald voorkomen gedurende lange tijd (bv. rail- en wegverkeer);
- bronnen die continue of herhaald voorkomen gedurende een periode korter dan 3 maanden (bv bouw en sloopwerkzaamheden);

Situatie
SBR B maakt onderscheid in de volgende situaties:
- Bestaande situatie (zowel bron als ontvanger zijn aanwezig)
- Nieuwe situatie (of de bron of de ontvanger is nog niet aanwezig)
- Gewijzigde situatie (in geval van een gewijzigde bestaande bron)

Voor een gewijzigde situatie gelden de streefwaarden van een bestaande situatie, waarbij, na wijziging, gestreefd te worden naar intensiteiten die gelden voor een bestaande situatie. De wijziging mag niet tot een verhoging van de reeds aanwezige intensiteiten leiden.

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).

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 / Omrekenfactor CUR 166
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*" (6de druk, tabel 5.23) bevat een

omrekenwijze waarmee de dimensieloze waarden voor trillingen om te rekenen zijn naar mm/s. Afhankelijk van de karakteristieken van de trillingen bedraagt de factor:

- een herhaald kortdurende trilling - 0,42
- continue trilling - 0,64

Streefwaarden (dimensieloos)

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. Onderscheid wordt gemaakt in:

- Streefwaarde A1 - ondergrens
- Streefwaarde A2 - bovengrens
- Streefwaarde A3 - periodiek gewogen grens

Op moment dat van de meetduur de voortschrijdende effectieve waarde ($v_{eff,max}$) bepaald op een vloer lager is dan streefwaarde A1, dan mag verwacht worden dat er geen hinderbeleving optreedt. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde boven streefwaarde A2, dan mag verwacht worden dat hinderbeleving aan de orde is. Ligt de voortschrijdende effectieve waarde tussen streefwaarden A1 en A2 in, dan is een mogelijke hinderbeleving afhankelijk van het aantal maal dat de trilling zich voordoet (toets op streefwaarde A3).

In onderstaande tabel zijn de streefwaarden opgenomen.

Tabel B 6a: Streefwaarden **bestaande** situatie, **herhaald voorkomende** trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Wonen	0,2 / 0,48	0,8 / 1,90	0,4 / 0,95	0,1 / 0,24
Onderwijs en kantoor	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Bijeenkomst	0,3 / 0,71	1,2 / 2,86	1,2 / 2,86	0,15 / 0,36
Kritische werkruimte	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	0,1 / 0,24	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Tabel B 6b: Streefwaarden **bestaande of nieuwe** situatie, **continue** trilling

Functie	Dag- en avond periode [1] [-] / [mm/s]			
	A1	A2	A2 (nacht)	A3
gezondheidszorg	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Wonen	0,1 / 0,16	0,4 / 0,63	0,2 / 0,31	0,05 / 0,08
Onderwijs en kantoor	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Bijeenkomst	0,15 / 0,23	0,6 / 0,94	0,6 / 0,94	0,07 / 0,11
Kritische werkruimte	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	0,1 / 0,16	
1) Excl. / incl. omrekenfactor CUR 166				

Streefwaarden korte periode

Conform SBR B zijn dimensieloze streefwaarden bepaald die onafhankelijk van het type trillingsbron (continue of herhaald voorkomend), de functie van de ruimte of de situatie (bestaand / nieuw / gewijzigd) zijn. Deze gelden uitsluitend voor de dagperiode. Inclusief de omrekeningsfactoren uit CUR 166, gelden de onderstaande streefwaarden.

Tabel B-7: Streefwaarde, dagperiode, korte duur

Duur D	Herhaald voorkomende trilling			Continue trilling		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
	[mm/s]	[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[mm/s]
D < 1	0,80 / 1,90	6 / 14,29	0,40 / 0,95	0,80 / 1,25	6 / 9,38	0,40 / 0,63
6 < D < 26	0,40 / 0,95	6 / 14,29	0,30 / 0,71	0,40 / 0,63	6 / 9,38	0,30 / 0,47
26 < D < 78	0,30 / 0,71	6 / 14,29	0,20 / 0,24	0,30 / 0,47	6 / 9,38	0,20 / 0,31

B. 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. heiwerkzaamheden, 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.