



Trillingsmetingen Middag Oost fase 3 te Babberich

Rapportage Trillingsmeting

6422-209976 | 07-03-2023

definitief

Gemeente Zevenaar



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Trillingsmetingen Middag Oost fase 3 te Babberich
Documentnaam	Rapportage Trillingsmeting
Fugro-projectnr.	6422-209976
Fugro-documentnr.	6422-209976.R01
Versienummer	[1.0]
Versiestatus	definitief
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 Zevenaar
Adres klant	Postbus 10 , 6900 AA ZEVENAAR
Contactpersoon klant	De heer L. Dorresteyn

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	07-03-2023	Concept	Initiële versie	ASN	DWE	ASN

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ASN	ir. A.J. Snethlage	Senior Geotechnical Consultant
DWE	D. Wessling	Geotechnical Consultant

Inhoudsopgave

Documentbeheer	ii
Documentgegevens	ii
Klantgegevens	ii
Versiebeheer	ii
Projectteam	ii
1. Inleiding	1
2. Projectbeschrijving	2
2.1 Situatiebeschrijving	2
2.2 Mechanisme trillingen	2
2.3 Bodemopbouw	4
2.4 Meetuitvoering en meetlocatie	5
3. Beoordeling trillingen	8
3.1 Toetsingskader en toetsingsprocedure	8
3.2 Soorten schade door trillingen	10
3.3 Grenswaarde SBR A	10
3.4 Streefwaarde SBR B	12
4. Meetresultaten en Toetsing	14
4.1 Meetresultaat	14
4.2 Toetsing SBR A	15
4.3 Toetsing SBR B	15
4.4 Spoortrillingen met beoordeling	17
5. Conclusie en aanbevelingen	19
Bijlagen	1
A. Grondonderzoek	2
B. Toelichting SBR - Toetsingskader	4
C. Trillingstechnische vaktermen	12

1. Inleiding

Opdrachtverstrekking

In opdracht van de Gemeente Zevenaar heeft Fugro een trillingsonderzoek uitgevoerd op een locatie voor de toekomstige woningen plan Middag oost fase 3 te Babberich. De onbemande trillingsmetingen zijn in de periode van 22 t/m 28 februari 2023 uitgevoerd.

Aanleiding

Op grote afstand tot het spoor is nieuwbouw gepland, bouwfase 3 plangebied Middag Oost. Omdat de trillingen bij enkele woningen aan het Kloosterpad (goed) voelbaar zijn, is een onderzoek uitgevoerd waarmee het risico op voelbare trillingen voor het plangebied Middag Oost beschouwd wordt.

Doelstelling

Het doel van de trillingsmetingen is inzicht verkrijgen in de trillingsniveaus ter plaatse van de toekomstige bouwlocatie in relatie tot de vooraf gestelde grens- en streefwaarden conform de SBR-richtlijn B "Hinder voor personen in gebouwen" en SBR-richtlijn A "Schade aan bouwwerken".

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.

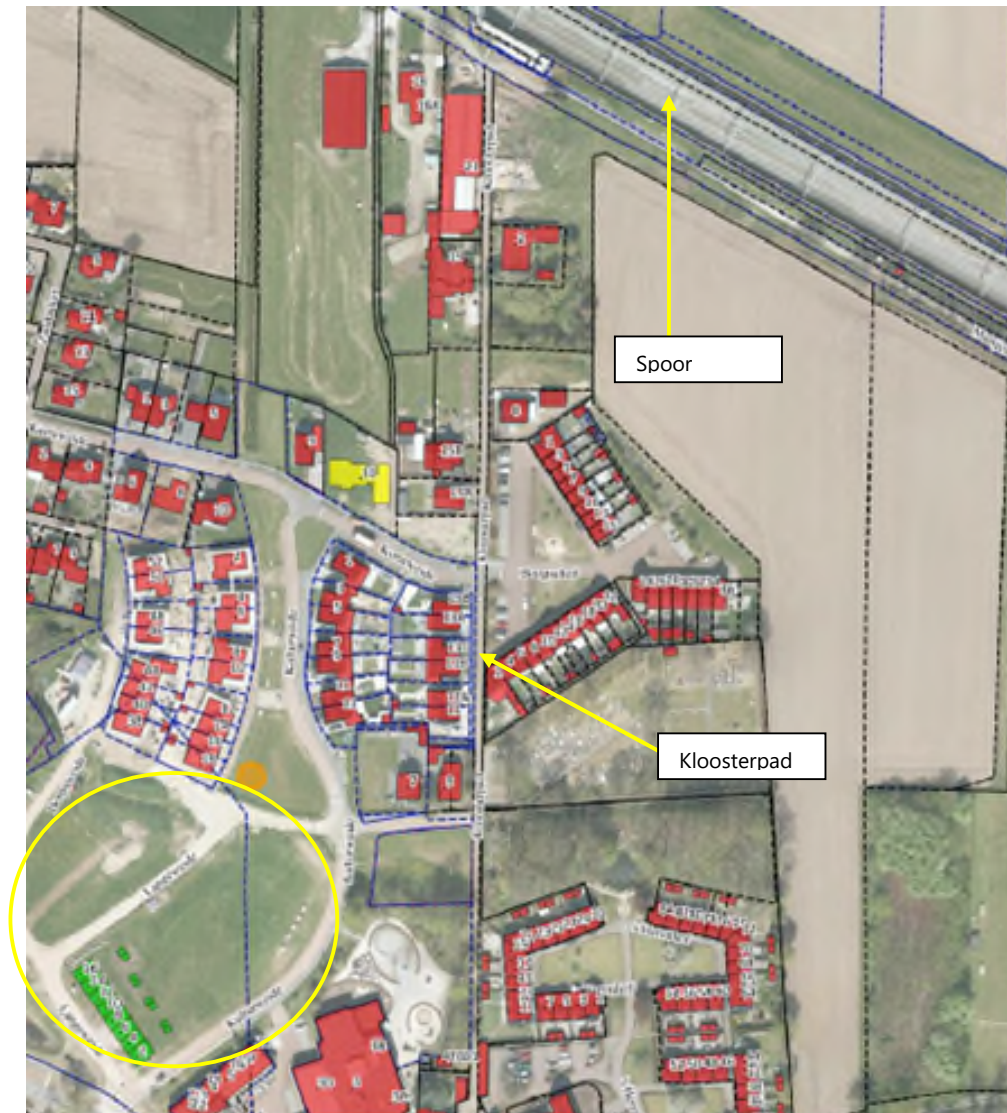
Vaktermen en definities

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

2. Projectbeschrijving

2.1 Situatiebeschrijving

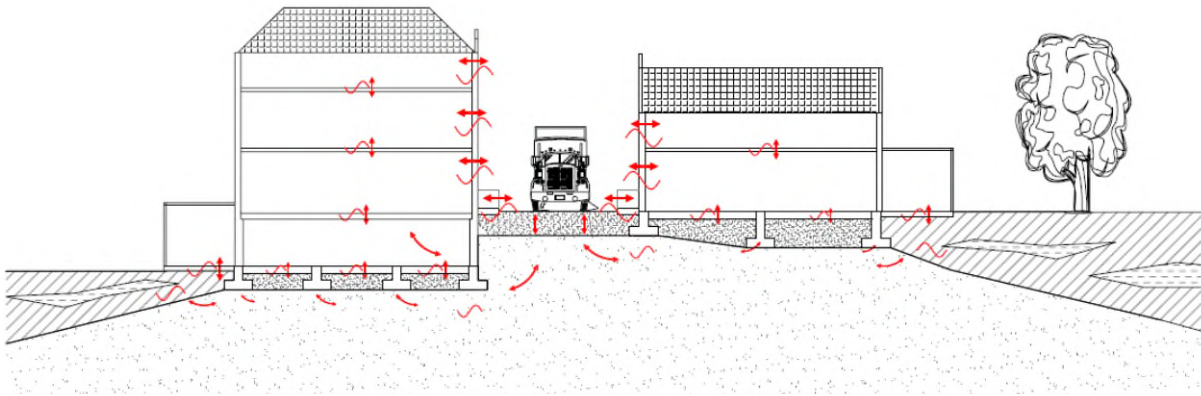
De projectlocatie is gelegen rondom de Langeweide te Babberich (onderstaande figuur). De projectlocatie ligt circa 250 m uit het spoor.



Figuur 2.1: Projectlocatie (omcirkeld) te Babberich

2.2 Mechanisme trillingen

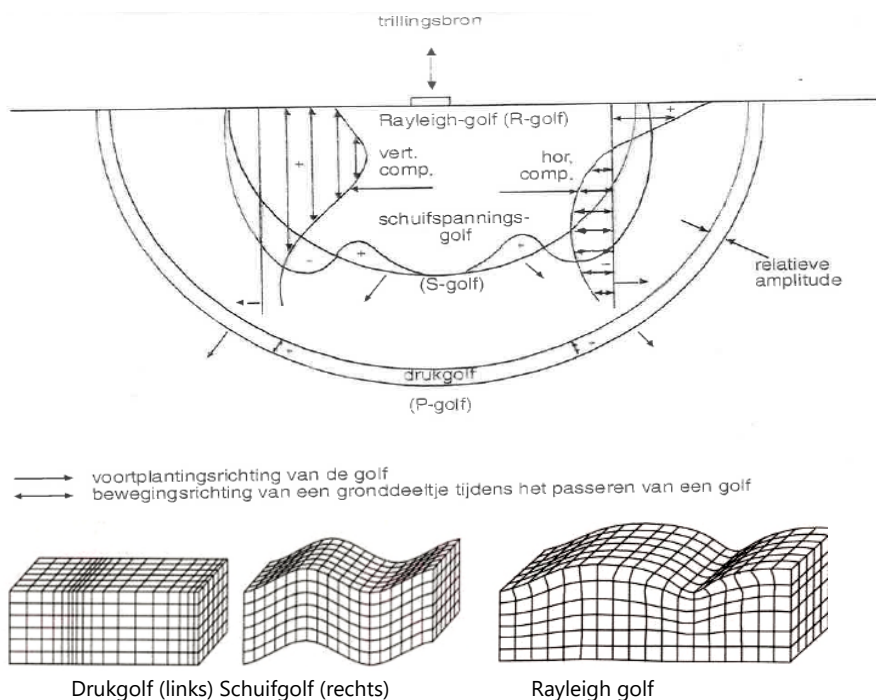
Bij trillingen is er sprake van een trillingsbron (bijv. railverkeer), een medium dat de trillingen doorgeeft (grond) en een ontvanger (woning). Bij de bron worden de trillingen in de grond opgewekt. De ontvangst van de trilling (aanstoot) van de woning ligt op funderingsniveau. Afhankelijk van de wijze 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 (rechts) of situatie op palen (links)

Wanneer (rail)verkeer passeert veroorzaakt deze plastische en elastische vervormingen in de (weg/baan)constructie 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 trillinggolven die zich in alle richtingen (kunnen) voortplanten (onderstaande figuur). Komen deze golven aan de oppervlakte, bij een laagovergang of bij een bouwwerk (woning), dan vindt hier reflectie en omzetting van de trillinggolven plaats, zodat een interferentiepatroon van bodembewegingen ontstaat.



Figuur 2.3: Verschillende trillinggolven

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 (rail)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 Bodemopbouw

Trillingen (golven) planten zich voort door de grond, waarbij de afdracht/overdracht van de golven bepaald wordt door aanwezige stijfheidsverschillen / reflectievlakken van aanwezige grondlagen.

Direct op de projectlocatie is (nog) geen grondonderzoek bij Fugro beschikbaar. Door derden is in 2018 voor de (toenmalige) nieuwbouw aan het Kloosterpad grondonderzoek uitgevoerd. Daarnaast is het Fugro archief grondonderzoek geraadpleegd. In de bijlage is van beiden (een deel van) het grondonderzoek opgenomen.

In onderstaande tabel is een globale bodemopbouw opgenomen.

Tabel 2.1: Globale bodemgesteldheid (o.b.v. Fugro DKM 16 en derden S15)

Diepte onderkant laag in m t.o.v.mv	Bodembeschrijving	
+12,0		maaiveld
+10,2	Toplaag	ZAND / SILT afwisselend / kleiig
+ 9,5	KLEI / VEEN	
+5,0	ZAND	Grendig, vast gepakt
+3,0	ZAND	Grendig, zeer vast gepakt
+0,5	ZAND	Grendig vast gepakt
-1,5	ZAND	Siltig, matig vast gepakt
-2,75	VEEN	(lokaal aanwezig)
-3,0	ZAND	130m
-3	Maximaal verkende diepte	

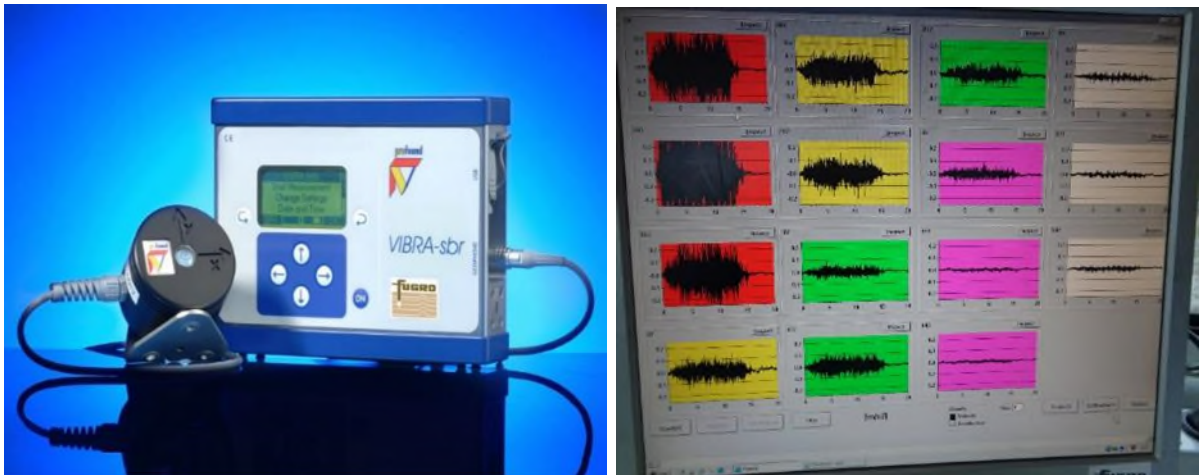
2.4 Meetuitvoering en meetlocatie

Meetuitvoering

Fugro heeft de beschikking over een tweetal verschillende trillingen meetsystemen. Enerzijds een automatisch registrerend systeem (voorliggende meting), anderzijds een meetsysteem waarbij versnellingsopnemers gehanteerd worden. Met het versnellingen meetsysteem wordt simultaan in 5 meetpunten (XYZ) hoogfrequent (800Hz) een gehele passage "gepakt".

De metingen zijn uitgevoerd met Vibra+ meetsystemen (versie 2.92). Deze systemen voldoen aan de eisen en specificaties zoals gesteld in de SBR-richtlijn A "Schade aan bouwwerken" en SBR-richtlijn B "Hinder voor personen in gebouwen".

Een meetopstelling bestaat uit een verwerkingsunit en een geofoon (onderstaande figuur). De geofoon wordt ter plaatse van het meetpunt doorgaans aan de constructie bevestigd. In dit geval is de opnemer in een conus opgenomen die op diepte in de grond is geplaatst. De opnemer meet de snelheden in drie richtingen (XYZ), waarbij in de verwerkingsunit de bijbehorende frequentie in dezelfde drie richtingen bepaald wordt. De frequenties en snelheden zijn direct op het scherm van de verwerkingsunit zichtbaar.



Figuur 2.4: (links) Datalogger en gefoon (opnemer), (rechts) beeldscherm versnellingen meetsysteem, passage trein koploper

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

- Tijdsinterval 3 seconden (per 3 sec wordt een maximale waarde opgeslagen)
- Datasavelevel 0,0 mm/s (alle waarden worden opgeslagen, niet enkel waarden boven de savelevel)
- Tijdsduur 24 uursmeting (gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode)

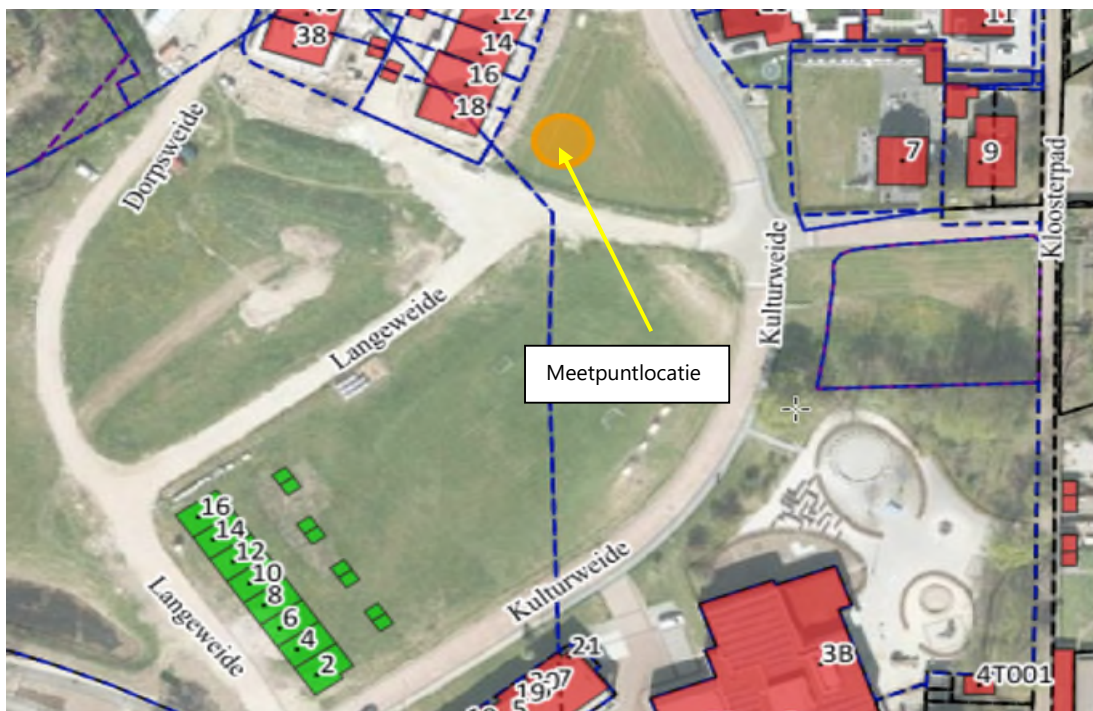
Na afloop van de trillingmeting zijn de meetresultaten ingelezen in een personal computer en tot grafieken verwerkt.

Meetlocaties

In onderstaande tabel (en figuur) is een overzicht van de meetlocaties opgenomen. De locaties zijn in overleg met de opdrachtgever vastgesteld.

Tabel 2.2: Meetpuntlocaties

Meetpunt	Omschrijving locatie	Afst. trillingsbron	Meetsysteem
MP 4	Langeweide	300 m	VIB 3704



Figuur 2.5: Meetpuntlocatie

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 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.

Opgemerkt wordt dat omdat de bebouwing nog niet aanwezig is, niet gemeten is aan de draagconstructie dan wel op vloeren. Door het in rekening brengen van overdrachtsfactoren is een vertaalslag gemaakt.

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:

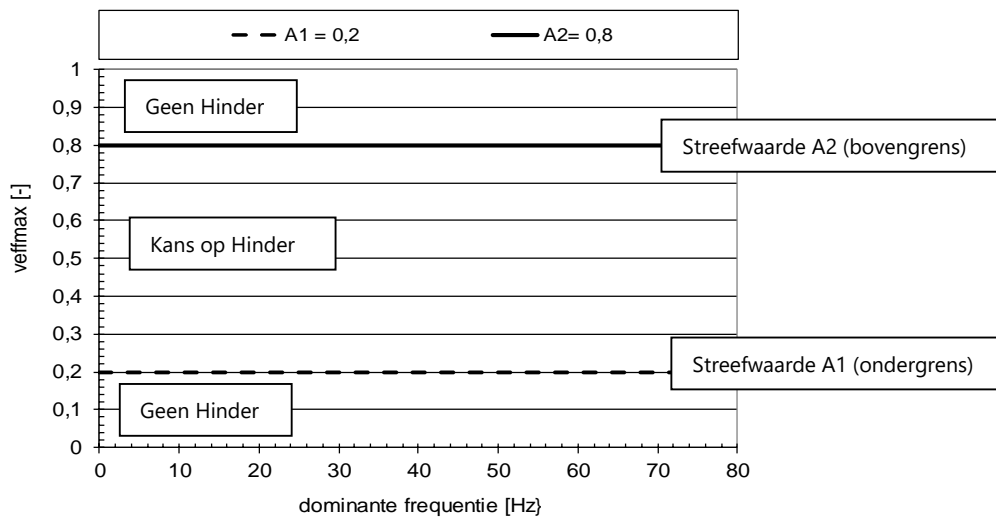
$V_r \leq V_{top}$	Ja?	--> risico op schade
	Nee?	--> risico op schade aanvaardbaar klein

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	$v_{\text{eff,max}} < A1$	Ja?	Geen hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2 (a en b)
Toets 2a	$v_{\text{eff,max}} > A2$	Ja?	Mogelijke hinderbeleving (verwachting)
		Nee?	Toets 2b
Toets 2b	$v_{\text{per}} < A3$	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 trillingsnelheid (gemeten of afgeleid) 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 trillingsnelheid 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 trillingsnelheid 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 hoeft 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 (=geen risico voor draagkracht)

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:

- Verlies van draagkracht
- 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 trillingsnelheid uitgevoerd. De beoordeling of de kans op schade acceptabel is volgt uit een vergelijking van de opgelegde trillingsnelheid 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 het 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
De karakteristieken van een trilling veroorzaakt door passages van (rail)verkeer worden beschouwd als vergelijkbaar met die van een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt ("heien"), waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.
- Type fundering
Ondanks dat op enige diepte een samendrukbare laag aanwezig is, wordt verwacht dat de toekomstige woningen gefundeerd gaan worden op staal (geen palen), waarbij de zandlaag onder de fundering minimaal 8 m is.

- *Categorie bebouwing*
Omdat de woningen opgetrokken worden 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 worden 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)*
1 meetpunt aan de draagconstructie (gevel) wordt aangehouden (conservatieve benadering). Een "indicatieve meting" is daarmee van toepassing. Het aantal meetpunten heeft invloed op de grootte van de toe te passen partiële veiligheidsfactor (hoe meer meetpunten, hoe lager de factor).
- *Overdrachtsfactor*
Omdat de nieuwbouw nog niet aanwezig is, is een verwachte overdrachtsfactor van grond naar draagconstructie in rekening gebracht. Bij op staal gefundeerde woningen geldt een overdrachtsfactor van 1,0.

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 voor een draagconstructie gefundeerd op palen en gefundeerd op staal.

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

Dominante frequentie	Karakteristieke waarden		Partiële veiligheidsfactor			Rekenwaarde grenswaarde trillingssnelheid ²⁾	
			TB ¹⁾	BG ¹⁾	TM ¹⁾	Cat. 2 ²⁾	Cat. 2(M) ^{2,3)}
Freq.	Cat. 2		TB ¹⁾	BG 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, BG = Bouwkundige gevoelig, 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⁾
		TB = 1,6, BG= 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, BG = Bouwkundige gevoelig, 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). Zoals bijvoorbeeld verkeerspassages of treinen. Er is sprake van een risico op **cosmetische schade**. In deze zijn de amplitude, het aantal herhalingen en de combinatie van toegepaste materialen van belang. 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

3.4 Streefwaarde SBR B

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

Op basis van het type trilling(sbron), de functie van de ruimte en de situatie, wordt de streefwaarde voor een beoordelingsperiode bepaald (dag-, avond- of nachtperiode).

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 (rail)verkeer beschouwd als een trillingsbron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt.
- Situatie
Een toekomstige situatie is van toepassing. Wel de trillingsbron (spoor) maar niet de woning(en) zijn aanwezig.
- Functie ruimte
De functie van de ruimte is wonen.
- Duur van de periode
Alle perioden van de dag zijn van toepassing (dag-, avond- en nachtperiode).
- Overdrachtsfactor
Omdat de nieuwbouw nog niet aanwezig is, is een overdrachtsfactor van draagconstructie naar vloeren in rekening gebracht. Een overdrachtsfactor van 1,4 is aangehouden.

Streefwaarden / omrekenfactor CUR 166

De streefwaarde is dimensieloos (=geen meeteenheid). De trillingsniveaus ($v_{\text{eff,max}}$) worden getoetst aan streefwaarden (A1, A2 en A3) uit SBR B. De streefwaarden voor hinder zijn, in tegenstelling tot grenswaarden bij schade, niet primair frequentieafhankelijk. 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 snelheden in mm/s. Omdat de karakteristieken van de trillingen veroorzaakt door passerend railverkeer, lijkt op dat van een herhaald kortdurende trilling, is hiervoor een factor 0,42 gedefinieerd (CUR166 (6de druk) tabel 5.23).

Streefwaarden

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

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

Beoordelingsperiode	Streefwaarde A1	Streefwaarde A2	Streefwaarde A3
	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]	[-] / [mm/s]
Dag en avond	0,10 / 0,24	0,40 / 0,96	0,05 / 0,12
Nacht	0,10 / 0,24	0,20 / 0,48	0,05 / 0,12

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

$v_{\text{eff,max}}$ [-]	$v_{\text{eff,max}}^{1)}$ [mm/s]	Hinderkwalificatie
< 0,1	<0,24	Geen hinder
0,1-0,2	0,24-0,48	Weinig hinder
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

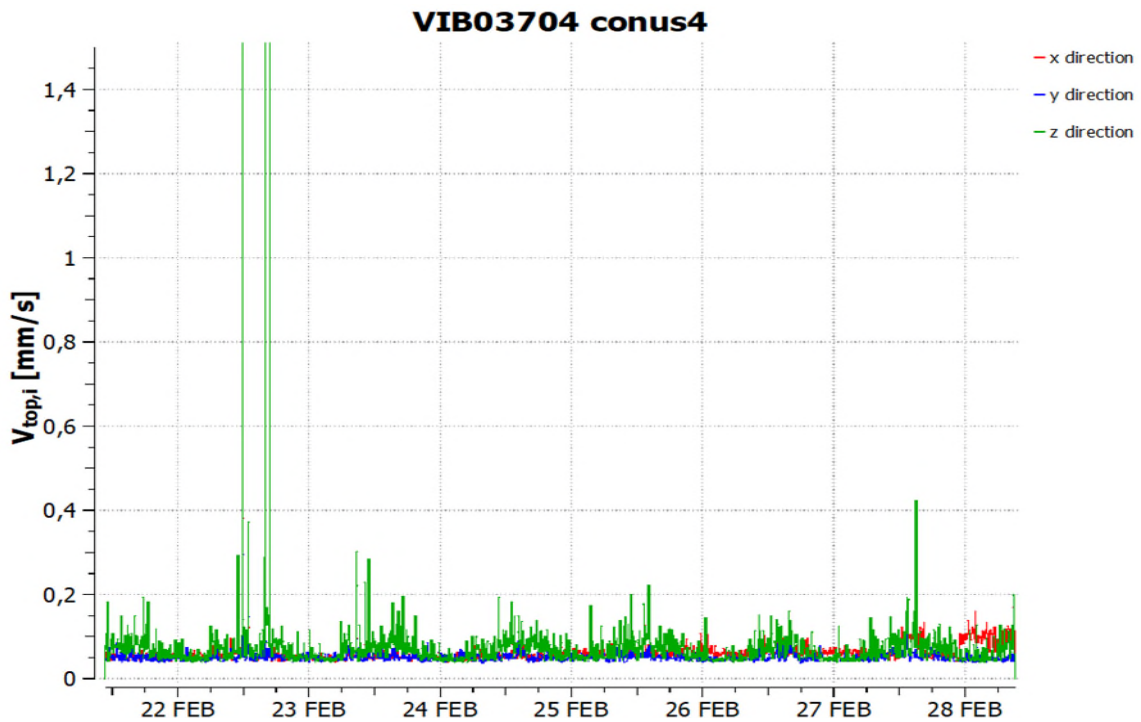
SBR-richtlijn B vermeldt:

"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.

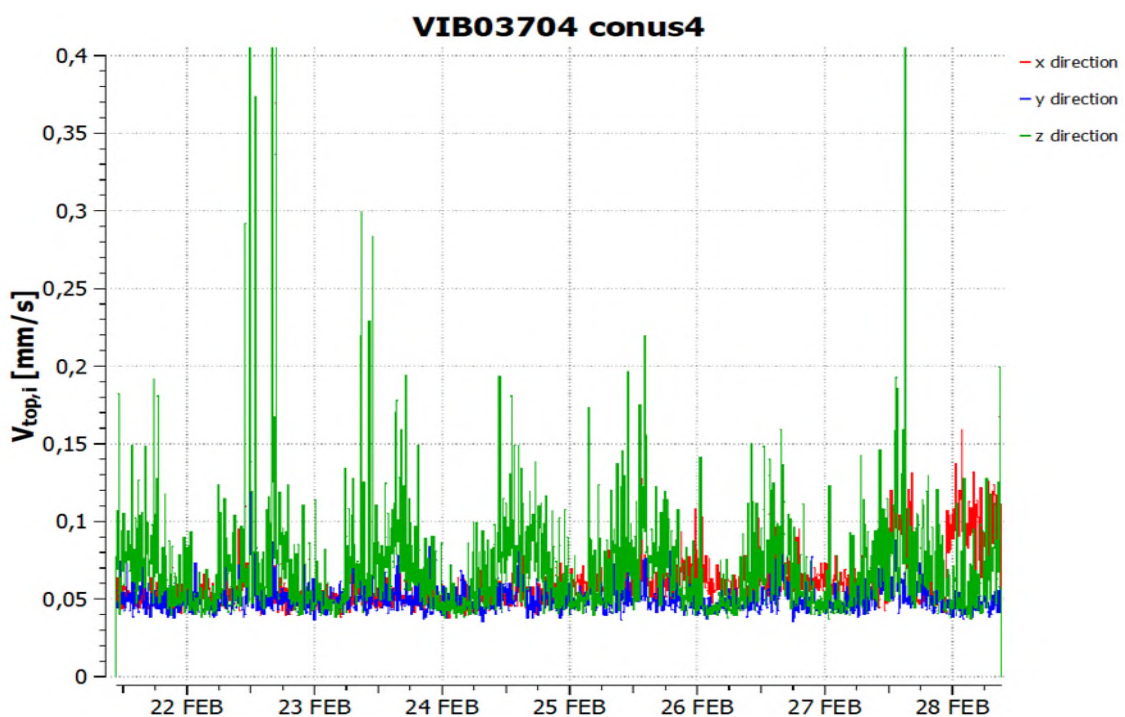
4. Meetresultaten en Toetsing

In de onderstaande grafieken is het verloop van de trillingsnelheid versus de tijd weergegeven. Weergegeven (uitslagen) zijn optredende trillingsnelheden veroorzaakt door een bron (dan wel passerende trein dan wel andere bronnen (b.v. deuren).

4.1 Meetresultaat



Figuur 4.1: MP 4, VIB 3704, Snelheid versus tijd (t.b.v. SBR A beoordeling)

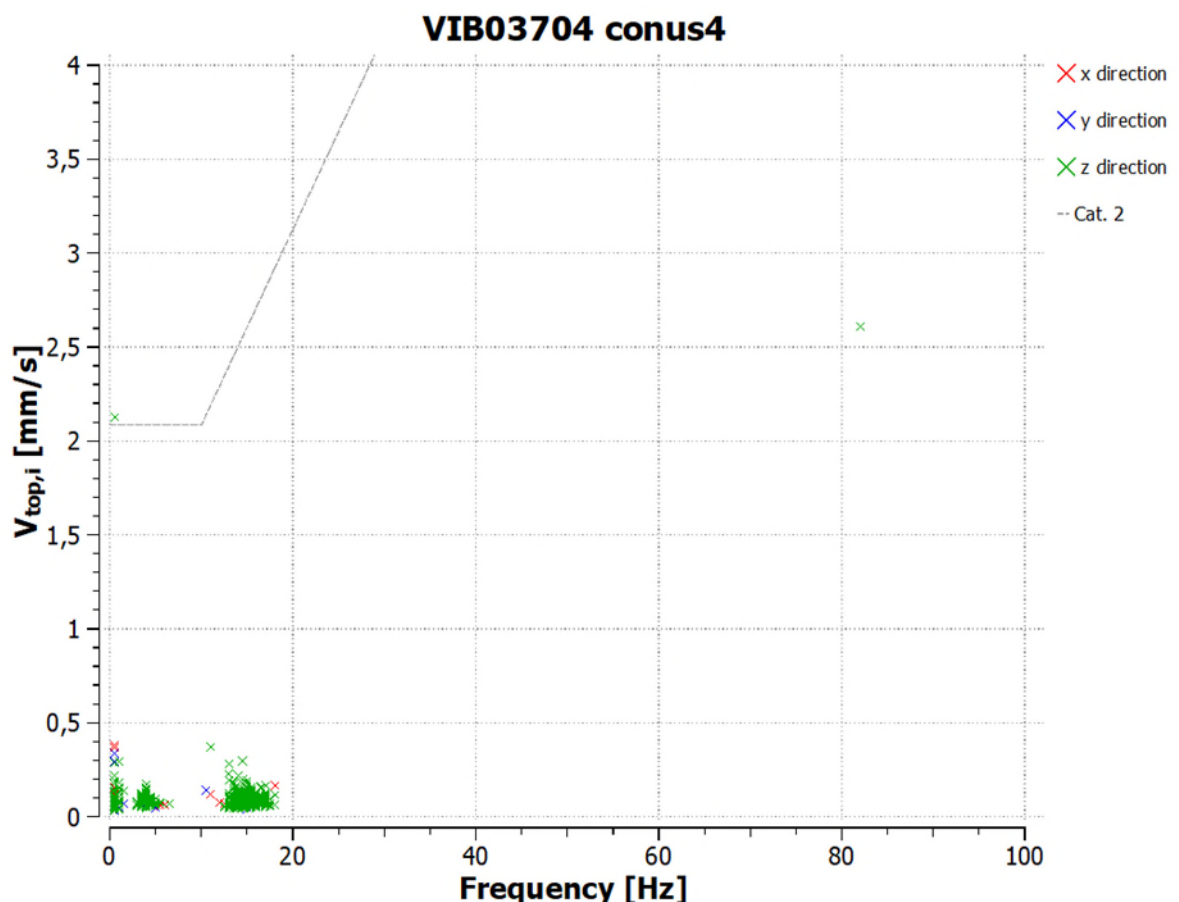


Figuur 4.2: MP 4, VIB 3704, Effectieve snelheid versus tijd (t.b.v. SBR B beoordeling)

Opgemerkt wordt dat op 22 februari (en enkele momenten op andere dagen) sporadisch relatief hoge waarden zijn gemeten (waarden van 2,1 tot 6,1 mm/s). Omdat deze vele malen hoger zijn dan de waarden veroorzaakt door treinpassages kan aangenomen worden dat deze niet veroorzaakt zijn door passerend railverkeer.

4.2 Toetsing SBR A

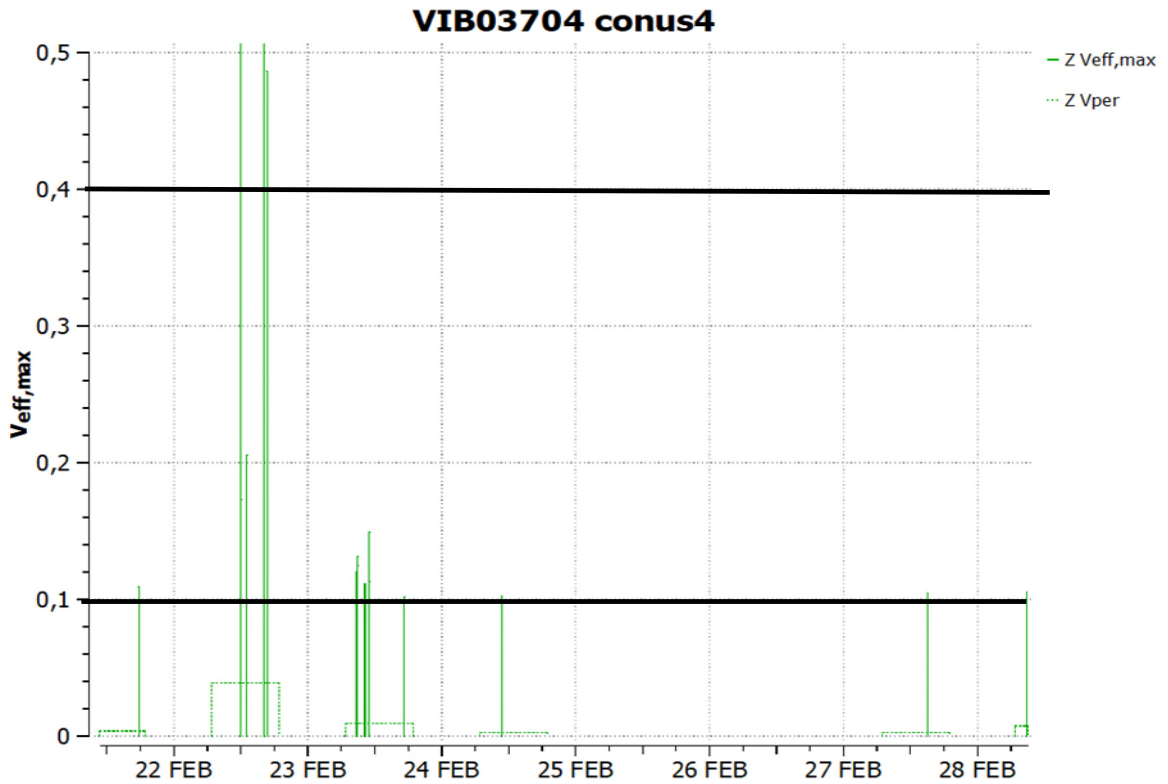
Een grafische toetsing op risico op schade (SBR A) is uitgevoerd. Bij de grafische toetsing is de overdrachtsfactor van grond naar draagconstructie niet verwerkt. Wordt deze toegepast, dan blijven de meetresultaten (ver) onder de grenswaardelijn. In de figuur zijn zowel de meetwaarden versus frequentie (puntjes) als de grenswaarde lijn (cat.2 lijn) weergegeven.



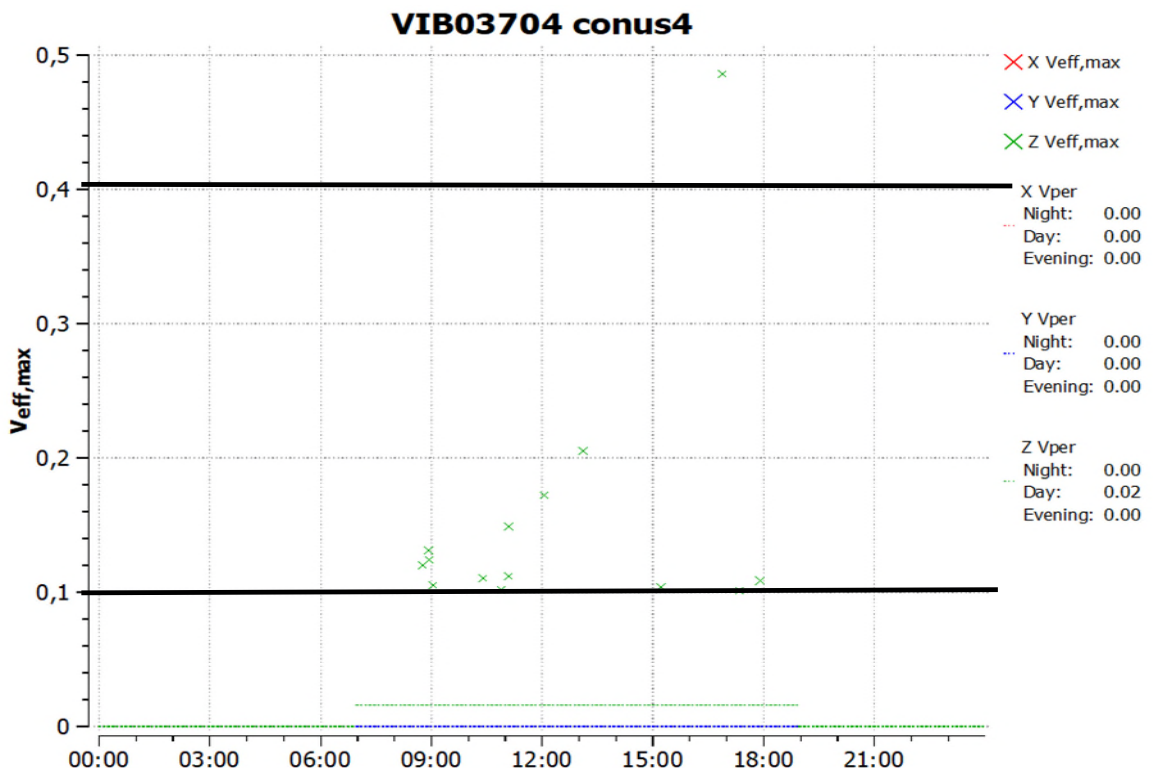
Figuur 4.3: SBR A, MP 4, VIB 3704, snelheid versus frequentie

4.3 Toetsing SBR B

De toetsing op hinderbeleving (SBR B) dient uitgevoerd te worden op meetwaarden van het meetpunt geplaatst op een vloer. Bij de grafische toetsing is de overdrachtsfactor van draagconstructie naar vloer niet verwerkt. Wordt deze toegepast, dan overschrijden de meetresultaten de streefwaardelijn A1 sporadisch. In de figuren zijn de dimensieloze waarden versus tijd en versus de periode van de dag (dag-, avond-, nachtperiode) tezamen met de streefwaarde lijnen A1 (=0,1) en A2 (=0,4) weergegeven.



Figuur 4.4a SBR B, MP 4, VIB 3704, Veff,max versus tijd



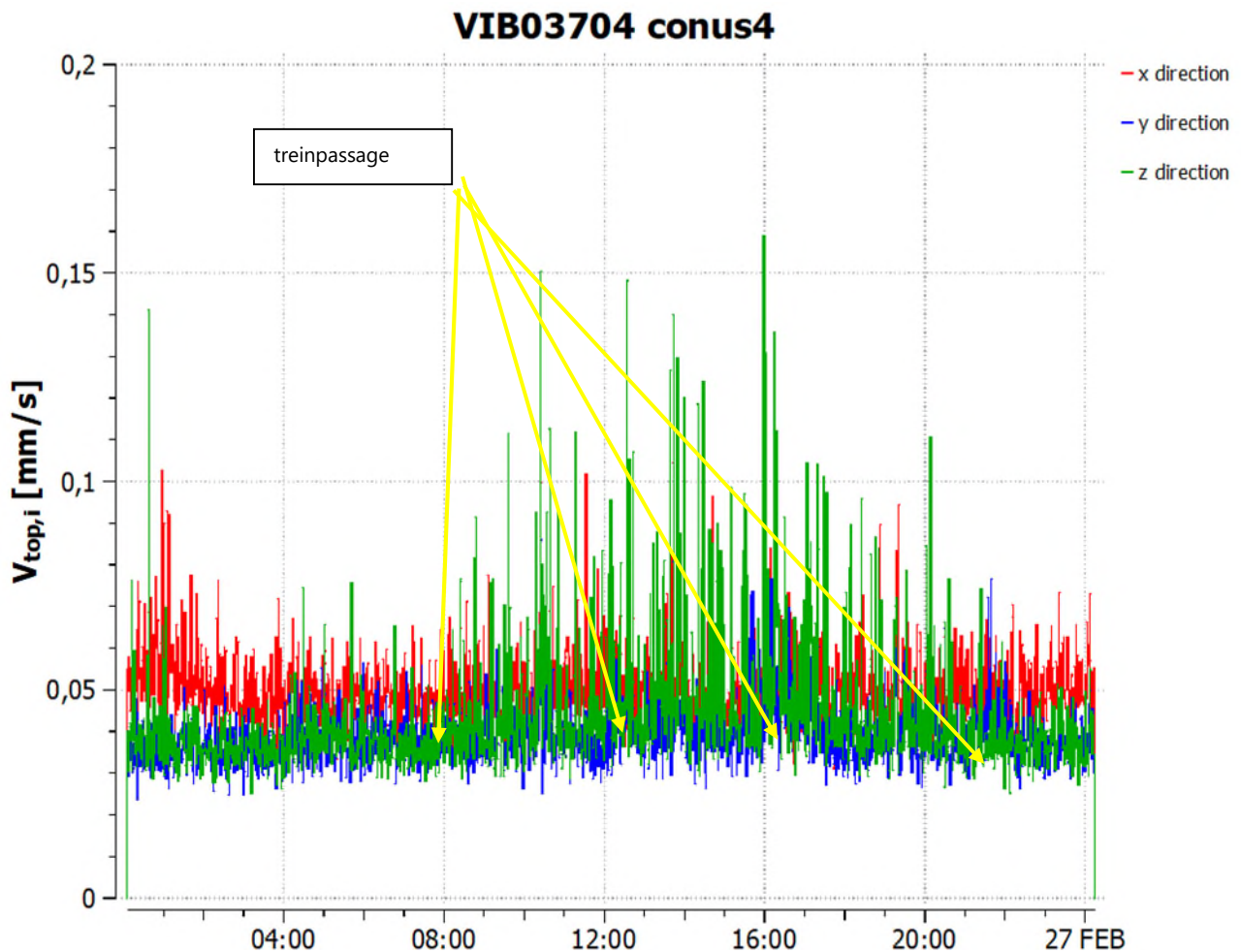
Figuur 4.4b SBR B, MP 4, VIB 3704, Veff,max versus tijd op de dag

Opgemerkt wordt dat op 22 februari (en enkele momenten op andere dagen) sporadisch relatief hoge waarden zijn gemeten, deze waarden zijn buiten beschouwing gelaten.

Aangenomen wordt dat deze niet veroorzaakt zijn door passerend railverkeer. Deze waarden leiden tot waarden die boven streefwaarde A2 liggen.

4.4 Spoortrillingen met beoordeling

In detail is van 26 februari in onderstaande figuur het trillingsbeeld opgenomen. Enkele treinpassages zijn (net) waarneembaar.



Figuur 4.5: MP 4, VIB 3704, detail d.d. dag 26 februari, treinpassages

Door de treinpassages worden meetwaarden variërend van 0,10 mm/s tot 0,15 mm/s veroorzaakt met bijbehorende frequenties van circa 3,5 tot 4,5 Hz.

Omdat de nieuwbouw nog niet aanwezig is, is in de grond gemeten. Met het in rekening brengen van overdrachtsfactoren zijn de meetresultaten te vertalen naar beoordelingen op risico op schade (SBR A) en hinderbeleving (SBR B). In de grafische weergave/beoordelingen zijn geen overdrachtsfactoren verwerkt. In onderstaande tabel is van mogelijke treinpassages een samenvatting van de meetresultaten opgenomen (inclusief overdrachtsfactoren).

Tabel 4.1: Samenvatting meetwaarden, MP 4 VIB 3704, Langeweide

Situatie	Systeemnr	Meetwaarde ¹⁾ [mm/s]	Frequentie [mm/s]
Langeweide	VIB 3704	0,20 – 0,25 (2,1 – 6,1)	1,5 – 6,0 en 12,5 – 17,5

Treinpassages	VIB 3704	0,10 – 0,2 (0,25)	3,5 – 4,5
Incl. factor grond-> draag		0,10 – 0,2 (0,25)	3,5 – 4,5
Incl. factor draag-> vloer		0,14 – 0,28 (0,33)	3,5 – 4,5

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn sporadische uitschieters

In onderstaande tabel is een beoordeling van de meetresultaten opgenomen.

Tabel 4.2: 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⁾	Hinder ²⁾ Wonen
Langeweide MP 4, VIB 3704	G	GR	A1: SP – N A2: G A3: G	GH
1) NBG = niet bouwkundig gevoelig. 2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot 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 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, marginale overschrijding wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding.

5. Conclusie en aanbevelingen

Opdrachtverstrekking

In opdracht van de Gemeente Zevenaar heeft Fugro een trillingsonderzoek uitgevoerd op een locatie voor de toekomstige woningen plan Middag oost fase 3 te Babberich. De onbemande trillingsmetingen zijn in de periode van 22 t/m 28 februari 2023 uitgevoerd. 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

Op grote afstand tot het spoor is nieuwbouw gepland, bouwfase 3 plangebied Middag Oost. Omdat de trillingen bij enkele woningen aan het Kloosterpad (goed) voelbaar zijn, is een onderzoek uitgevoerd waarmee het risico op voelbare trillingen voor het plangebied Middag Oost beschouwd wordt.

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". Wettelijk gezien mogen trillingen geen schade berokkenen (SBR A). Voor het voorkomen / aanpakken van voelbare trillingen (SBR B) bestaat geen wettelijk verplichting. De SBR-richtlijnen gelden als richtlijn (=geen normgeving).

Omdat de nieuwbouw nog niet aanwezig is, is in de grond gemeten. Met het in rekening brengen van overdrachtsfactoren zijn de meetwaarden te vertalen naar beoordeling op risico op schade en hinderbeleving.

Grens en streefwaarden

(SBR A) Aan de draagconstructie (gevel) is een grenswaarde van 2,1 mm/s (frequentie 0 – 10 Hz van toepassing). De grenswaarde is frequentie-afhankelijk en wordt bepaald op basis van een 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).

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

(SBR B). Op een vloer gelden de streefwaarden. Bij de beoordeling zijn een ondergrens (streefwaarde A1), een bovengrens (streefwaarde A2) en een gewogen gemiddelde streefwaarde A3 van toepassing. De streefwaarden zijn frequentie onafhankelijk en worden bepaald op basis van een nieuwe situatie (wel de trillingsbron maar niet de ontvanger (woning) is aanwezig), een herhaald kortdurende trilling (stochastisch) en de functie "wonen" van de ruimte.

De streefwaarden zijn conform SBR B dimensieloos (=geen meeteenheid), maar kunnen conform CUR 166 met een factor omgerekend worden. De ondergrens A1 bedraagt 0,1 [-]

(of 0,24 mm/s), de bovengrens A2 bedraagt 0,4 (of 0,96 mm/s) en de gewogen waarde A3 bedraagt 0,05 (of 0,12 mm/s).

Bij onderschrijden van streefwaarde A1 (ondergrens) is hinderbeleving niet aannemelijk. Bij overschrijden van streefwaarde A2 (bovengrens) 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 ook een rol speelt.

Overdrachtsfactoren

Een factor 1,0 is aangehouden bij overdracht van trillingen vanuit de grond naar de draagconstructie. Een factor 1,4 is aangehouden bij overdracht van trillingen vanuit de draagconstructie naar vloeren.

Meetwaarden

In de grafische weergave van de meetresultaten en beoordelingsgrafieken zijn geen overdrachtsfactoren verwerkt. In tabel 5.1 is van mogelijke treinpassages (herkenbaar in de grafische weergave in Hoofdstuk 4) een samenvatting van de meetresultaten opgenomen (inclusief overdrachtsfactoren).

Tabel 5.1: Samenvatting meetwaarden, MP 4 VIB 3704, Langeweide

Situatie	Systeemnr	Meetwaarde ¹⁾ [mm/s]	Frequentie [mm/s]
Langeweide	VIB 3704	0,20 – 0,25 (2,1 – 6,1)	1,5 – 6,0 en 12,5 – 17,5
Treinpassages	VIB 3704	0,10 – 0,2 (0,25)	3,5 – 4,5
Incl. factor grond-> draag		0,10 – 0,2 (0,25)	3,5 – 4,5
Incl. factor draag-> vloer		0,14 – 0,28 (0,33)	3,5 – 4,5

1) Tussen haakjes vermelde waarden zijn sporadische uitschieters

Beoordeling

Bij de beoordeling van de vertaalde meetwaarden op de vloer, is onderscheid gemaakt in de mate van overschrijdingen en de tijdsduur ervan. Een structurele veel voorkomende optredende overschrijding die net tot een overschrijding leidt, wordt doorgaans als minder hinderlijk ervaren dan een sporadische forse overschrijding. In onderstaande tabel (=tabel 5.2) is een beoordeling van de meetresultaten 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⁾	Hinder ²⁾ Wonen

Langeweide MP 4, VIB 3704	G	GR	A1: SP – N A2: G A3: G	GH
	1) NBG = niet bouwkundig gevoelig. 2) GR = geen risico, R = risico, RZG = risico zeer groot WH = weinig hinder (net voelbaar), MH = matige hinder (=voelbaar), H = hinder (=goed voelbaar) 3) G = geen, SP = sporadisch, ST = structureel, F = fors, N = net			

Eindbeoordeling, conclusie t.a.v. risico op schade, SRB A

Geconcludeerd kan/mag worden dat voor de nieuwbouwwoningen Midden oost fase 3, het **risico op schade aanvaardbaar klein** is. De waarden overschrijden de grenswaarde niet.

Eindbeoordeling, conclusie t.a.v. hinderbeleving, SRB B

Omdat trillingen doorgaans voelbaar zijn vanaf circa 0,35 mm/s tot circa 0,5 mm/s. De verhoogde waarden door treinpassages treden met name overdag op. In de avond- en nachtperiode zijn sporadisch verhoogde waarden opgetreden.

Streefwaarde A1 wordt sporadisch overschreden, streefwaarde A2 wordt niet overschreden. Gezien het aantal maal dat de trilling zich voordoet, wordt streefwaarde A3 niet overschreden. Daarmee is het **niet aannemelijk dat hinderbeleving optreedt**. Qua perceptie, gezien de sporadisch verhoogde waarden, kunnen de trillingen wel (**net**) **voelbaar** zijn.

Advies

De trillingsintensiteiten zijn op de vloer net voelbaar (verwachting). Het risico op schade is aanvaardbaar klein. Er bestaat geen wettelijke verplichting om voelbare trillingen "aan te pakken", de verplichting bestaat er wel ten aanzien van schadelijke trillingsintensiteiten. Het is wenselijk (advies) te overwegen de intensiteiten met trillingsreducerende maatregelen te reduceren. Daarbij kan gedacht worden aan een verloren bekisting naast de fundering (PS scherm) of extra verstijving in de vloeren op te nemen (dikker maken).

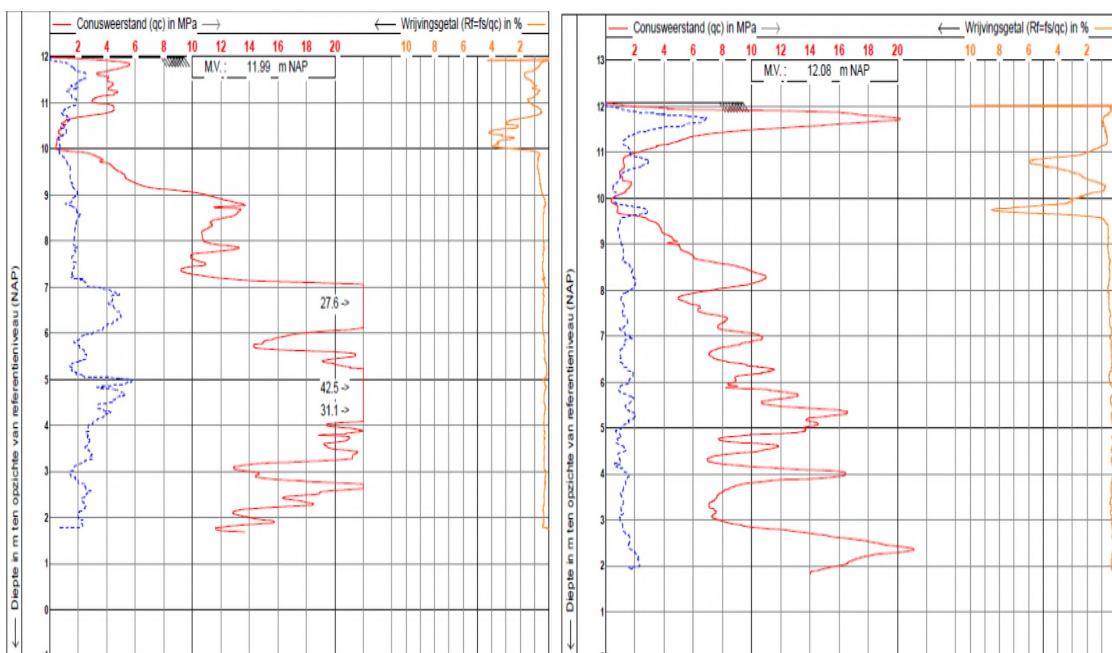
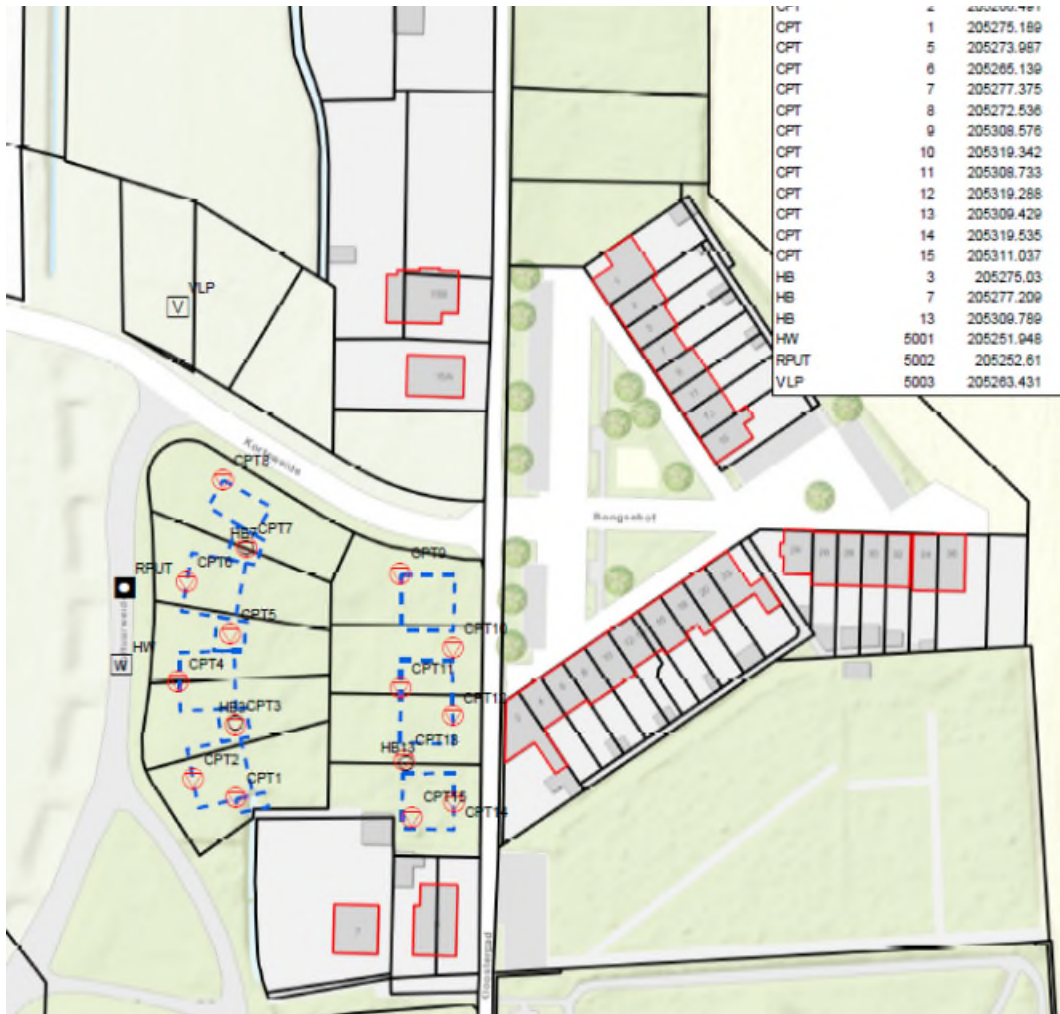
Trillingsreducerende maatregelen

Maatregelen kunnen bij het spoor, bij de woningen en in de grond tussen spoor en woningen uitgevoerd worden. In Babberich is de grondsituatie complex gezien. Maatregelen bij het spoor zijn geen optie, maatregelen in de grond zijn te overwegen. Het advies is enkele maatregelen bij de nieuwbouw te implementeren / overwegen (de nieuwbouw bestaat immers nog niet). Let wel de meetwaarden zijn dusdanig laag dat deze momenteel net tot niet voelbaar zijn. Geadviseerd wordt de effecten van mogelijke trillingsreducerende maatregelen te (laten) onderzoeken door de bouwkundig constructeur van de nieuwbouw.

Bijlagen

A. Grondonderzoek

In onderstaande figuren is door derden uitgevoerd grondonderzoek weergegeven (situatietekening en sonderingen).



ORTA GEO, 2099038-10, sonderingen 15 (links) en 9 (rechts))

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 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 veiligheidsfactor γ_t 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 partiële veiligheidsfactor γ_s 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 partiële 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:

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

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:

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	[-].
γ_m	=	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 γ_t	Herhaald kortdurend	1,5	1,6
	Continue	2,5	2,0
Bouwkundige staat γ_t	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]
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	1,0	1,0 / 1,6	18,3 / 11,5	5,8 / 3,6z
			2,5	1,0	1,0 / 1,6	11,0 / 6,9	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:

- Omstandigheden van de trillingsbron;
- Situatie;
- Functie van een ruimte in een gebouw;
- 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:

- 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 ($v_{\text{eff.max}}$) 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

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.