

Trillingsonderzoek dijkversterking GoWa

Onderwerp	Eindconcept Trillingsonderzoek dijkversterking GoWa
Kenmerk	GO-WA-MEM-23785
Opsteller	Hans Schinck
Datum	17-2-2020
Aan	Maura Niessen, Nicole Geurts van Kessel

1 Inleiding

De dijk tussen Gorinchem en Waardenburg (GoWa) wordt versterkt. Ten behoeve van de dijkversterking is de procedure van de milieueffectrapportage doorlopen en zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd. Daarbij is ook onderzoek uitgevoerd naar de effecten van de dijkversterking op trillingen.

1.1 Aanpak

De trillingsberekeningen zijn uitgevoerd voor dijkvakken 8 en 9. Op deze dijkvakken worden de drie mogelijke oplossingen – grond binnenwaarts, grond buitenwaarts en langsconstructie – toegepast. Omdat er langs deze dijkvakken relatief veel woningen staan en vanwege de nadere uitwerking van het Definitief Ontwerp kunnen deze dijkvakken qua werkzaamheden als representatief worden beschouwd voor het gehele project. De dijkvakken 8 en 9 zijn weergegeven in figuur 1.



Figuur 1: dijkvak 8 en 9

Naast de 3 geschetste oplossingen worden er ook op diverse locaties pipingmaatregelen toegepast. Op een aantal plekken is er een verticale maatregel nodig om piping te voorkomen. In dit trillingsonderzoek wordt er vanuit gegaan dat op deze plaatsen een damwandconstructie wordt toegepast. In de verdere uitwerking van het Definitief Ontwerp wordt daadwerkelijk bepaald of hier een damwand nodig is of dat deze constructie ook lichter uitgevoerd kan worden, bijvoorbeeld met behulp van verticaal zanddicht geotextiel.

Ten slotte moet er soms een zogenaamde 'maatwerkoplossing' worden toegepast. Een maatwerkoplossing is bijvoorbeeld een damwand ter hoogte van een woning om deze goed in te kunnen passen in de nieuwe dijk. De locaties van de maatwerkoplossingen vallen buiten de scope van het voorliggende onderzoek.

Op basis van de inzet van het materieel in dijkvak 8 en 9 wordt de invloedssfeer voor de damwand oplossing en de binnendijkse en buitendijkse grondoplossing bepaald. De inzet van het type materieel voor de damwand oplossing en de binnendijkse en buitendijkse oplossing in de andere dijkvakken is gelijk. De invloedssfeer zoals berekend op basis van dijkvak 8 en 9 kan vervolgens geprojecteerd worden op de dijkvakken 1 t/m 14.

1.2 Beoordelingskader trillingen

Het juridisch kader voor trillingen in de aanlegfase wordt voor hinder bepaald door het bouwbesluit. Hierin wordt verwezen naar de SBR B richtlijn "Hinder voor personen in gebouwen". Naast het juridisch kader voor hinder geeft de jurisprudentie aan voor schade de SBR A richtlijn "Schade aan gebouwen" van belang is. Onderstaand wordt ingegaan op beide richtlijnen.

Normstelling hinder voor personen

Voor hinder is de maximale trillingssterkte V_{max} en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} relevant. Deze worden dimensieloos uitgedrukt in [--].

In artikel 8.5 Trillingshinder in het bouwbesluit zijn de volgende voorschriften opgenomen

1. Trillingen veroorzaakt door het uitvoeren van bouw- of sloopwerkzaamheden bedragen in geluidsgevoelige ruimten als bedoeld in [artikel 1 van de Wet geluidhinder](#) en in verblijfsruimten als bedoeld in [artikel 1.1, onderdeel e, van het Besluit geluidhinder](#) niet meer dan de trillingsterkte, genoemd in tabel 4 van de Meet- en beoordelingsrichtlijn deel B «Hinder voor personen in gebouwen» 2006.
2. Het bevoegd gezag kan ontheffing verlenen van de trillingsterkte, bedoeld in het eerste lid.

Tabel 1 Streefwaarden in de dagperiode voor continu of herhaald voorkomende trillingen gedurende een korte periode voor alle gebouwfunctie.

duur D van de activiteiten gedurende korte periode								
D ≤ 1 dag			6 dagen < D ≤ 26 dagen			26 dagen < D ≤ 78 dagen		
A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
0,8	6	0,4	0,4	6	0,3	0,3	6	0,2

Uitgangspunt is dat de werkzaamheden die relevante trillingen met zich meebrengen vanuit het perspectief van een woning tussen de 6 en 26 dagen duren. Hiermee bedraagen de streefwaarden A₁ 0,4 [--] de A₂ 6 [--] en de A₃ 0,1 [--]. Bij deze waarden worden de volgende opmerkingen geplaatst: de waarde van de maximale trillingssterkte van de ruimte (V_{max}) dient kleiner te zijn dan A₁, of; de waarde van de maximale trillingssterkte dient kleiner te zijn dan de waarde A₂ én de trillingssterkte over de beoordelingsperiode (V_{per}) dient kleiner te zijn dan de waarde A₃.

Voor de bepaling van de invloedssfeer gaan we als worst case benadering we uit van de A₁ waarde. Dit houdt in dat ten aanzien van objecten binnen de invloedssfeer alleen geconcludeerd dat deze mogelijk niet aan de normstelling voldoen. Immers als er vervolgens wel aan de A₂ en A₃ waarde wordt voldaan dan wordt alsnog aan de normstelling voldaan. Dit vergt echter een meer gedetailleerde berekening op woningniveau voor alle woningen. Dit valt in het voorgaande onderzoek buiten de scope.

Normstelling schade aan gebouwen

Voor schade is de topwaarde van de trillingssterkte V_{top} relevant. Deze schade trillingssterkten V_{top} wordt uitgedrukt in mm/s.

De trillingen van bouwkundige objecten worden getoetst aan SBR meet- en beoordelingsrichtlijn deel A schade aan gebouwen, welke in 2002 door Stichting Bouw Research is uitgebracht . In juli 2006 is de laatste herdruk ervan verschenen. In SBR-richtlijn A worden grenswaarden voor maximaal aanvaardbare trillingen vermeld, teneinde schade aan gebouwen zoveel mogelijk te voorkomen. Deze grenswaarden dienen

afhankelijk van de meetwijze en het type trilling te worden gedeeld door veiligheidsfactoren, teneinde de maximum toelaatbare trilling vast te stellen waarbij nog wordt voldaan aan de richtlijn. In de richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen drie categorieën bouwwerken en tussen drie typen trillingsbronnen. Afhankelijk van de kwaliteit wordt een bouwwerk ingedeeld in één van de volgende categorieën:

Categorie 1: In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout. Onderdelen van een bouwwerk, die geen deel uitmaken van de draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies), indien deze bestaan uit gewapend beton of hout. Draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijnde, welke bestaan uit metselwerk, zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke. Volgens de richtlijn zijn gebouwen gemaakt uit staal in het algemeen minder kwetsbaar dan gebouwen in categorie 1. Onderdelen bestaande uit staal of voorgespannen beton kunnen in categorie I worden ingedeeld, waarbij moet worden bedacht dat de mate waarin deze onderdelen tegen de effecten van trillingen bestand zijn aanzienlijk groter is dan de grenswaarden die hierna voor deze categorie zijn gegeven.

Categorie 2: In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk. In goede staat verkerende onderdelen van een gebouw, die niet tot de draagconstructie behoren, zoals scheidingsconstructies die bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.

Categorie 3: Onderdelen van oude en monumentale gebouwen met grote cultuurhistorische waarde. In slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of in slechter staat verkerende onderdelen van gebouwen. Omstandigheden die duiden op een slechte bouwkundige staat zijn bijvoorbeeld: reeds aanwezige scheurvorming, kieren, sterke vervormingen, verzakkingen en scheefstand van een gebouw. De gebouwen in Nederland waarin wordt gemeten bestaan meestal uit metselwerk, zodat deze gebouwen in het algemeen in categorie 2 vallen. Wanneer het monumentale panden betreft, dan wel dat de gebouwen in zeer slechte staat van onderhoud verkeren, vallen ze in categorie 3. Gebouwen van alleen beton, staal of hout vallen in categorie 1.

Aangenomen wordt dat de bouwkundige objecten voor het grootste gedeelte worden geplaatst in categorie 2. Er wordt voor deze objecten uitgegaan van de laagste voorkomende relevante grenswaarden voor een categorie 2 object "*gebouwen uit metselwerk*".

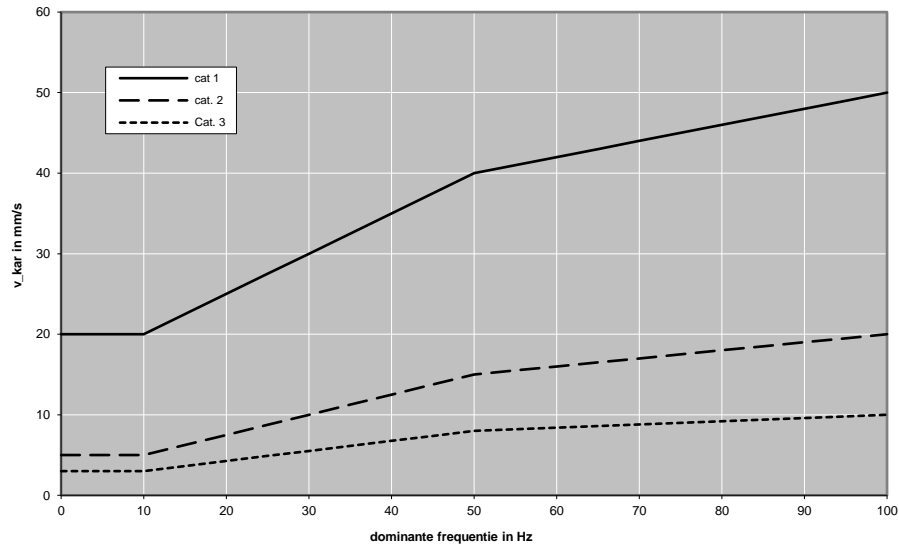
Afhankelijk van de trillingsbron wordt onderscheid gemaakt in de volgende drie typen trillingsbronnen:

- Type 1: Bronnen die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken door een stootvormige excitatie. Het aantal malen dat het trillingsverschijnsel voorkomt is zo gering, dat vermoeiing van constructiematerialen niet kan optreden. Voorbeelden: explosies en botsingen.
- Type 2: Bronnen, die herhaalde kortdurende trillingen veroorzaken bij een stootvormige excitatie. Hieronder worden verstaan bronnen, die zo vaak voorkomen, dat vermoeiingseffecten in bouwmaterialen kunnen voorkomen. Voorbeelden: heiwerkzaamheden en bouwverkeer.
- Type 3: Bronnen die continue trillingen veroorzaken. Hieronder worden verstaan alle bronnen die niet onder de voorgaande twee categorieën kunnen worden ingedeeld of waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in de onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden.

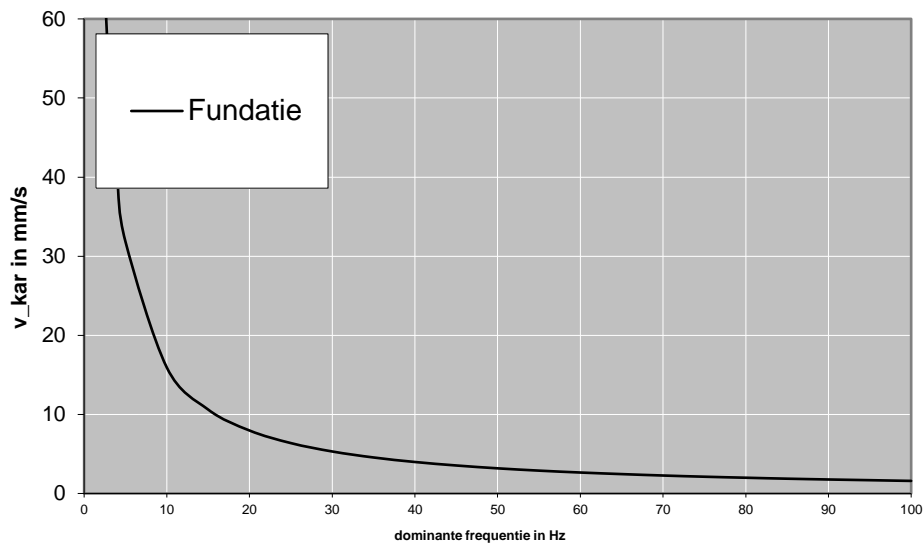
Damwand trillen is een continue trilling in het licht van de beoordelingssystematiek. Grondverdichten met een trilwals is een continue trilling in het licht van de beoordelingssystematiek. Trillingen ten gevolge van Shovels

Hydraulische kranen en dumpers en vrachtwagens zijn herhaald kortdurende trilling in het licht van de beoordelingssystematiek.

Volgens SBR-richtlijn A is de kans op trillingschade < 1 % in het geval de trillingen kleiner zijn dan de uit de richtlijn af te leiden toelaatbare waarden. Onderstaand is ter indicatie de grenswaarde voor en categorie 1, 2 en 3 gebouw en de grenswaarde voor de fundatie grafisch weergegeven.



Figuur 2: karakteristieke waarde van de grenswaarde op begane grond niveau als functie van de dominante frequentie



Figuur 3: karakteristieke waarde van de grenswaarde met het oog op zetting, op begane grond niveau

In Richtlijn A zijn toetsingswaarden opgenomen ter voorkoming van schade aan de draagconstructie, fundering en elementen van het bouwwerk.

Het damwandtrillen wordt hoogfrequent uitgevoerd dit houdt in dat de maatgevende frequentie 38 Hz is.

Het verdichten van grond met een trilwals gebeurt met circa 35 Hz.

Voor een categorie 2 object bedraagt de schade grenswaarde voor fundering en begane grond ten minste 5 mm/s. De grenswaarde is frequentieafhankelijk en bedraagt voor hoogfrequent trillen en grondverdichten 11,25 mm/s. In verband met het type trilling is een partiele veiligheidsfactor van 2,5 voor damwandtrillen van toepassing. Hiermee bedraagt de rekenwaarde van de grenswaarde voor damwandtrillen en grondverdichten 4,5 mm/s. De grenswaarde voor een trillingsgevoelige fundering, zie figuur 2, is minder maatgevend dan de grenswaarde voor het gebouw, zie figuur 1.

2 Uitgangspunten en rekenmethode

2.1 Uitgangspunten

Op basis van de diverse benodigde werkzaamheden voor de drie verschillende oplossingen is de inzet van de volgende machines relevant voor het aspect trillingen:

- Trilblok;
- Trilwals;
- Shovel;
- Bulldozer;
- Hydraulische kraan;
- Vrachtwagen;
- Dumper.

Voor de berekeningen zijn de onderstaande kentallen gehanteerd.

Tabel 2: Overzicht kentallen bronnen

methode	Relevante materieel	Referentie	Afstand tot de bron	Bron
Damwand oplossing	Hoogfrequent damwandtrillen met een trilblok VM2350 Slagkracht 2900 kN	--	--	Methode CUR 166
Binnen- en buitendijkse grond oplossing	Trilwals	V _{top} 3,8 [mm/s] V _{max} 2,5 [--]	7 m	Meting
	Shovel, Buldozer	V _{max} 0,85 [--]	7 m	Archief RHDHV
	Hydraulische kraan	V _{top} 1 [mm/s] V _{max} 2,5 [--]	7 m	Meting
	Dumper Vrachtwagen op bouwweg met stalen platen snelheid circa 20 kmh	V _{max} 0,85 [--]	7 m	Archief RHDHV

De maatgevende bron voor de oplossing langsconstructie is het intrillen van damwanden. De maatgevende bron voor de binnen- en buitendijkse grond oplossing is de inzet van de trilwals. Daar waar binnen een grondoplossing een verticale pipingvoorziening benodigd is, is eveneens het intrillen van damwanden de maatgevende bron.

De trilwals is op locatie in Zeewolde gemeten. De lokale bodemopbouw in Zeewolde kan als een bodem met veenachtige lagen worden gekenmerkt. De bodemopbouw van de dijkversterking Gorinchem-Waardenburg kan

als rivierafzetting met klei en zandlagen worden gekenmerkt. Dit betekent dat de metingen in Zeewolde voor de dijkversterking als een worst case benadering kan worden gekenmerkt.

Er wordt uitgegaan van een duur van werkzaamheden welke relevante trillingen met zich meebrengen vanuit het perspectief van een woning van 6-26 dagen. Hiermee bedraagt de streefwaarden A1 0,4 [--] de A2 6 [--] en de A3 0,1 [--].

2.2 Rekenmethode

Op basis van de referentie trillingsstrekke is de theoretische overdracht op basis van de empirische formule van Barkan voor trillingen in het verre veld van een homogene isotrope halfruimte bepaald. Voor de overdracht van trillingen door de bodem wordt gebruikgemaakt van de formule van Barkan [1].

$$V_R = V_{R0} * \left[\frac{R_0}{R} \right]^n e^{-\alpha(R-R_0)}$$

Waarin:

- V_R trillingssterkte (m/s) op een afstand R van de bron;
- V_{R0} referentie trillingssterkte (m/s) op een afstand R_0 van de bron;
- R afstand tussen immissiepunt en de bron;
- R_0 afstand tussen meetpunt en de bron;
- α materiaaldemping in de bodem (1/m);
- n n = 1 tot 2 voor P- en S-golven;
n = 0.5 voor R-golven.

De geometrische demping is afhankelijk van het type golf en de richting vanuit de bron waarin de trillingsuitbreiding plaatsvindt. Voor de R (Rayleigh)-golven of oppervlaktegolven (n = 0.5) is de geometrische demping kleiner dan voor de P-(pressure) golven of compressiegolven en de S-(shear) golven of schuifgolven. Dit geeft voor de Rayleigh-golven op grotere afstand van de bron ten opzichte van de P- en S-golf de grootste energie (>67%).

De bodemopbouw van het achterland kan als een bodemopbouw van een rivierafzetting met klei en zand worden gekarakteriseerd. Dit vertoont de meeste overeenkomst met het standaard bodemopbouw Tiel een rivierafzetting met klei en zand conform de CUR 166. Op basis van de publicatie Trillingen van Sdu Dr. R.E. Noorman en Y.K. Wijnia wordt voor kleiachtige bodems een materiaal demping in de bodem van 0,03 [--] gehanteerd voor 30 t/m 40 Hz.

In de CUR166 is een rekenmethodiek voor de trillingssnelheid van trilblokken opgenomen. Hierbij is de referentietrillingssnelheid V_0 afhankelijk van de kans dat deze niet wordt overschreden. Hierbij kan worden gekozen tussen 95% en 99%. De kans dat deze niet wordt overschreden is in feite een te kiezen veiligheids factor. Als de kans dat deze niet wordt overschreden 99% wordt gekozen wordt de prognose middels deze veiligheidsfactor in feite erg conservatief. Voor schade wordt gekozen voor een conservatieve benadering en is een de kans dat deze niet wordt overschreden 99% gehanteerd. De referentiesnelheid op 5 afstand van de bron voor damwandtrillen voor het bodemprofiel Tiel bedraagt

$$V_{0,cor} = V_0 + C_{vel} * (F - 350)$$

Hierin is

$V_0=18,3$

$C_{vel}=0,023$

Slagkracht $F= 2900$ kN (slagkracht van VM2350 trilblok)

Voor de overdracht van maaiveld naar fundatie van een gebouw is een overdracht van 0,7 [--] gehanteerd. Op basis van een globale inventarisatie van de bouwkundige constructie van de woningen in de nabijheid van dijkvak 8 gaan we uit van een worst case benadering waarbij de maatgevende bouwkundige constructie van de woningen met houten vloervelden in de woningen. We gaan daarom in de berekeningen uit van een opslingerfactor van de vloeren van maximaal 3 [--].

De grootte voor schade is V_{top} [mm/s]. De grootte voor hinder is V_{max} [--]. Het verband tussen de grootte voor hinder en schade is voor damwandtrillen $V_{max} = 0,64 * V_{top}$

3 Rekenresultaten

Bij trillingsberekeningen kan onderscheid worden gemaakt tussen een invloedssfeer voor risico op schade en een invloedssfeer voor hinder tijdens de uitvoering van de werkzaamheden. Beide invloedssferen zijn bepaald op basis van berekeningen en weergegeven in tabel 3.

In de berekeningen is voor het damwandzetten de binnenkruinlijn van de dijk aangehouden. De exacte locatie van de damwand was ten tijde van het uitvoeren van de trillingsberekeningen nog niet bekend. Voor het grondwerk is het gehele werkgebied in het dijkvak gehanteerd. Voor piping is dezelfde invloedssfeer gehanteerd als voor damwand trillen.

Tabel 3: Overzicht berekende invloedssfeer

	Invloedssfeer [m] Risico op schade (cat 2)	Invloedssfeer [m] Hinder (A1=0,4)
Grondwerk binnendijs of buitendijs	3 m	43 m
Damwand trillen	50 m	130 m

De invloedssfeer voor risico op schade is de afstand waarbij voldaan wordt aan de rekenwaarde van de grenswaarde voor een categorie 2 object. Dit zijn in goede staat verkerende gebouwen met een draagconstructie die bestaat uit metselwerk.

In tabel 3 is te zien dat de invloedssfeer voor risico op schade voor grondwerk binnen- en buitendijs 3 m is en die voor het trillen van damwand 50 m.

De invloedssfeer voor hinder is de afstand waarbij voldaan wordt aan de A1 streefwaarde voor woningen (0,4) voor trillingen gedurende een korte periode. In tabel 3 is te zien dat de invloedssfeer voor hinder voor grondwerk binnen- en buitendijs 43 m is en die voor het trillen van damwand 130 m.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat de gepresenteerde invloedssfeer voor hinder bepaald wordt door de trillingsmissie van de maatgevende bron. De methode CUR166 houdt hierbij geen rekening met gelijktijdigheid inzet van meerdere trillingsbronnen. Er wordt daarmee uitgegaan van de aanname dat vanuit het perspectief van een woning een trillingsbron bepalend is voor de trillingsmissie.

4 Beoordeling en conclusie

Op basis van de gehanteerde prognosemethode is de invloedssfeer voor hinder en risico op schade van de verschillende bouwactiviteiten van de dijkversterking Gorinchem-Waardenburg bepaald en kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

De invloedssfeer voor risico op schade voor grondwerk binnen- en buitendijks 3 m is en die voor het trillen van damwand (inclusief pipingschermen) 50 m. Binnen de invloedssfeer voor risico op schade zijn trillingsgevoelige bouwkundige objecten aanwezig. Deze objecten lopen mogelijk een verhoogd risico op schade tijdens de werkzaamheden (de kans op schade is groter dan 1%). Bouwkundige objecten buiten deze invloedssfeer voldoen aan de grenswaarden voor risico op schade; de kans op schade is hier kleiner dan 1%.

De invloedssfeer voor hinder voor grondwerk binnen- en buitendijks 43 m is en die voor het trillen van damwand (inclusief pipingschermen) is 130 m. Ook binnen deze invloedssfeer bevinden zich bouwkundige objecten. In de uitvoeringsfase dient voor deze objecten mogelijk een ontheffing te worden aangevraagd op de trillingsvoorschriften uit het bouwbesluit.

Samenvattend kan worden gesteld dat de omgeving ten gevolge van de aanlegfase van het project Dijkversterking Gorinchem-Waardenburg tijdelijk belast wordt met een verhoogde mate van trillingen. Met name op locaties waar damwanden aangebracht worden bevinden zich veel bouwkundige objecten binnen de invloedssferen voor hinder en risico op schade. Op deze locaties dient zorgvuldig gemonitord te worden en moeten indien nodig maatregelen getroffen worden om schade en hinder (zoveel mogelijk) te voorkomen.

5 Aanbevelingen voor de volgende fase

In 2020 wordt een monitoringsplan opgesteld voor het project GoWa. In het monitoringsplan wordt o.a. aandacht aan het aspect trillingen gegeven. Bij woningen binnen de invloedssfeer voor risico op schade wordt een bouwkundige nulopname verricht voorafgaand aan de werkzaamheden. De opname van deze woningen is reeds gestart. Tijdens de werkzaamheden zullen voor de woningen die binnen de invloedssfeer voor risico op schade liggen trillingsmetingen worden voorgeschreven. In het monitoringsplan worden signalerings- en alarmwaarden omschreven gebaseerd op de schadegrenswaarden van de specifieke bouwkundige objecten.

Tevens wordt in het monitoringsplan een alarm- en communicatie protocol opgenomen met betrekking tot de werkwijze bij overschrijding van de signalerings- en alarmwaarden. De werkzaamheden zullen bij overschrijdingen van de alarmwaarden in ieder geval worden stilgelegd. In het monitoringsplan wordt omschreven hoe na het stilleggen van de werkzaamheden onder welke condities, na het bespreken van de ontstane situatie en na het nemen van mitigerende maatregelen de werkzaamheden weer worden hervat.

Binnen de invloedssfeer voor hinder bevinden zich ook trillingsgevoelige objecten. Hiermee is duidelijk dat in de uitvoeringsfase voor deze objecten mogelijk een ontheffing op de trillingsvoorschriften uit het bouwbesluit dient te worden aangevraagd. Ter onderbouwing van de bestuurlijke afweging door het bevoegd gezag zullen in de ontheffingsaanvraag trillingsreducerende technieken moeten worden overwogen en zullen na de ontheffing de bewoners op de hoogte moeten worden gebracht van de tijdelijke periode met verhoogde trillingshinder.