

## MEMO

VAN	Boon PM (Pieter)
TELEFOON	+31610039454
PROJECTNUMMER	RM006527
KENMERK	D79-P.M.-HS-MEMO-23003047
STATUS	Vrijgegeven
VERSIE	3.0
ONDERWERP	Beoordeling trillingsschade en trillingshinder
DATUM	1 september 2023

### Inleiding

Tijdens de realisatiefase van het project PHS Amsterdam Centraal worden op drie locaties relaishuizen gerealiseerd. Tijdens de bouwwerkzaamheden ten behoeve van deze relaishuizen is een kans op trillingsschade aan omliggende gebouwen niet op voorhand uit te sluiten. Deze trillingsschade kan optreden door bijvoorbeeld het intrillen van damwanden of heiwerkzaamheden. Ook kunnen de werkzaamheden tot hinder in gebouwen in de omgeving leiden. Conform art. 8.4 van het Bouwbesluit gelden daarnaast streefwaarden t.a.v. trillingshinder in omliggende gebouwen, ook deze streefwaarden worden mogelijk overschreden tijdens de bouwwerkzaamheden.

Daarom is een analyse uitgevoerd naar de kans op overschrijding van de streefwaarden voor trillingshinder en trillingsschade als gevolg van de bouwwerkzaamheden. Deze analyse is beschreven in dit memo.

### Werkwijze en beoordelingskader

#### Werkwijze

In lijn met het trillingsonderzoek voor het Tracébesluit voor PHS Amsterdam Centraal, is een analyse uitgevoerd met behulp van een rekenmodel gebaseerd op de CUR166-richtlijn. De opbouw van de bodem is daarbij gebaseerd op sonderingen uit het projectgebied. Met deze analyse bepalen we voor welke gebouwen trillingshinder of trillingsschade niet kan worden uitgesloten, en waar daarom een trillingsarme bouwmethode of, indien dat technisch niet mogelijk is, een vooropname en eventueel maatregelen dienen te worden getroffen tijdens de uitvoering van de werkzaamheden. Deze vooropnames zijn bedoeld om de huidige schade van gebouwen vast te stellen, zodat na de werkzaamheden een causaal verband kan worden gelegd tussen de eventueel opgetreden schade en de uitgevoerde werkzaamheden.

Omdat er nog geen gedetailleerd ontwerp beschikbaar is van de fundering van de relaishuizen, is in het onderzoek naar schade een conservatieve aanname gedaan over de werkzaamheden en afmetingen van de objecten. Bij verdere detaillering kan een nauwkeuriger beschouwing worden gehouden.

#### Uitgangspunten

In het huidige ontwerp worden de volgende werkzaamheden met kans op schade voorzien:

1. Heien van de fundering van de relaishuizen. Er is nog geen detailinformatie over de fundering van de relaishuizen bekend, daarom is hier conservatief gerekend en is uitgegaan van een conventioneel geheide fundering, zie Tabel 1. Hierbij is uitgegaan van een maatgevende frequentie van 10 Hz bij het heien, een

## MEMO

conservatieve aanname op basis van de analyse van metingen bij eerdere heiwerkzaamheden.

Tabel 1 Uitgangspunten modelberekeningen

Model	Omschrijving	Werkzaamheden
1	Fundatie relaishuizen	Heien palen, 350x350 mm, 19 m lang

Andere werkzaamheden, zoals het verdichten van de bodem of zwaar transport van materieel en materialen of hijswerkzaamheden leiden normaal gesproken niet tot trillingsniveaus boven de grenswaarden voor trillings schade of boven de streefwaarden voor trillingshinder.

Mogelijk dat een of meer relaishuizen op staal worden gefundeerd, dus zonder palenfundering, maar op een in het werk gestorte fundering. In dat geval leidt de realisatie van de relaishuizen niet tot hoge trillingsniveaus, en is schade of hinder (in de zin van overschrijdingen van de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn) niet waarschijnlijk.

Verder vinden op een aantal locaties verdichtingswerkzaamheden van de bodem plaats. Bij de uitvoering van de werkzaamheden past de aannemer lichtere verdichtingsmachines toe in de nabijheid van bebouwing, waardoor er geen kans is op trillings schade aan de bebouwing.

Tenslotte, voor de werkzaamheden is uitgegaan van uitvoering overdag, omdat in de avonden en nachten sowieso trillingsarme bouwmethoden nodig zijn.

### Beoordelingskader

Bij het voorkomen van trillingen zijn drie aspecten relevant: het voorkomen van schade aan gebouwen, het voorkomen van hinder aan personen en het voorkomen van verstoring van gevoelige apparatuur. Voor alle drie de aspecten is geen wettelijk kader voorhanden. In dit onderzoek wordt daarom, in lijn met de jurisprudentie en het eerdere onderzoek, voor trillings schade de SBR A-richtlijn (schade aan gebouwen) gehanteerd. Voor trillingshinder tijdens de bouw fase wordt, conform het Bouwbesluit art. 8.4 gebruik gemaakt van de SBR B-richtlijn. Voor verstoring van apparatuur wordt de SBR C-richtlijn (verstoring van gevoelige apparatuur) gehanteerd. Deze drie beoordelingskaders worden in Bijlage 1 van dit memo nader toegelicht.

## Resultaten

### Trillings schade

De contourafstanden voor categorie 1-, en 2 gebouwen, gevoelige categorie 2 gebouwen en gebouwen met een zettingsgevoelige fundering zijn weergegeven in Tabel 2. De contourafstanden zijn vervolgens geprojecteerd rond de werkzaamheden van de verschillende locaties, zie Figuur 1 tot en met Figuur 3.

Binnen de aangegeven afstanden tot de werkzaamheden is trillings schade ten gevolge van de bouw werkzaamheden niet op voorhand uit te sluiten. Kans op trillings schade treedt op bij de volgende gebouwen:

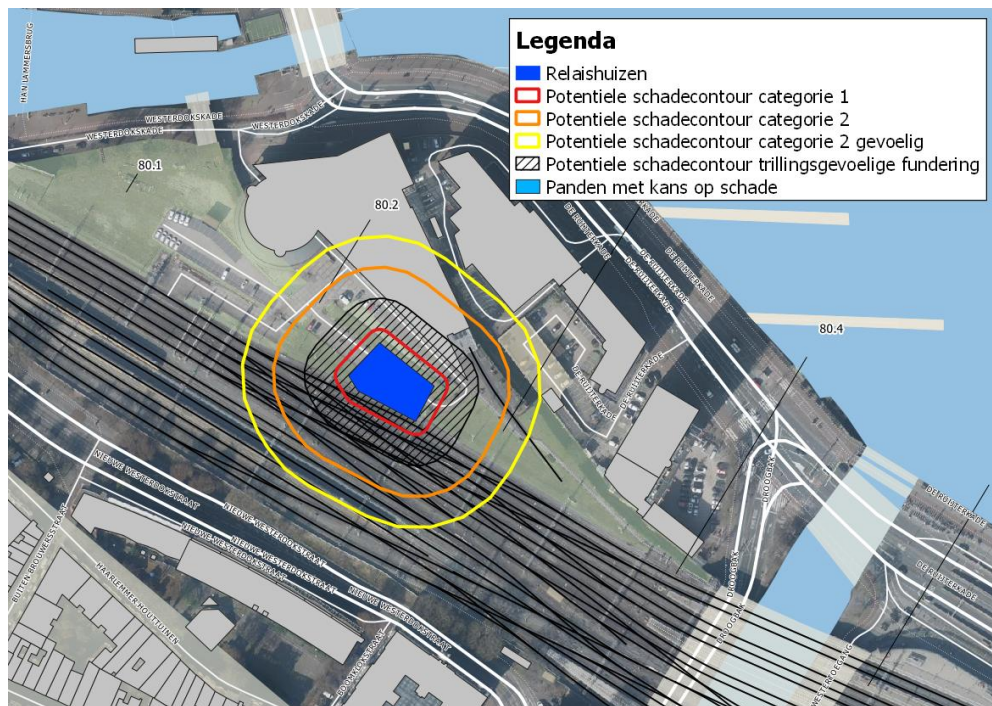
1. De Ruijterkade 146 tot 150, t.g.v. heien fundering relaishuis 2
2. De Ruijterkade 152, t.g.v. heien fundering relaishuis 2

## MEMO

3. Bestaand gebouw achter De Ruiterkade 146 tot 150, t.g.v. heien fundering relaishuis 2
4. VOC-kade 600 (Inntel hotel), t.g.v. heien fundering Relaishuis 3.

Tabel 2 Contourafstanden trillingssschade in meters

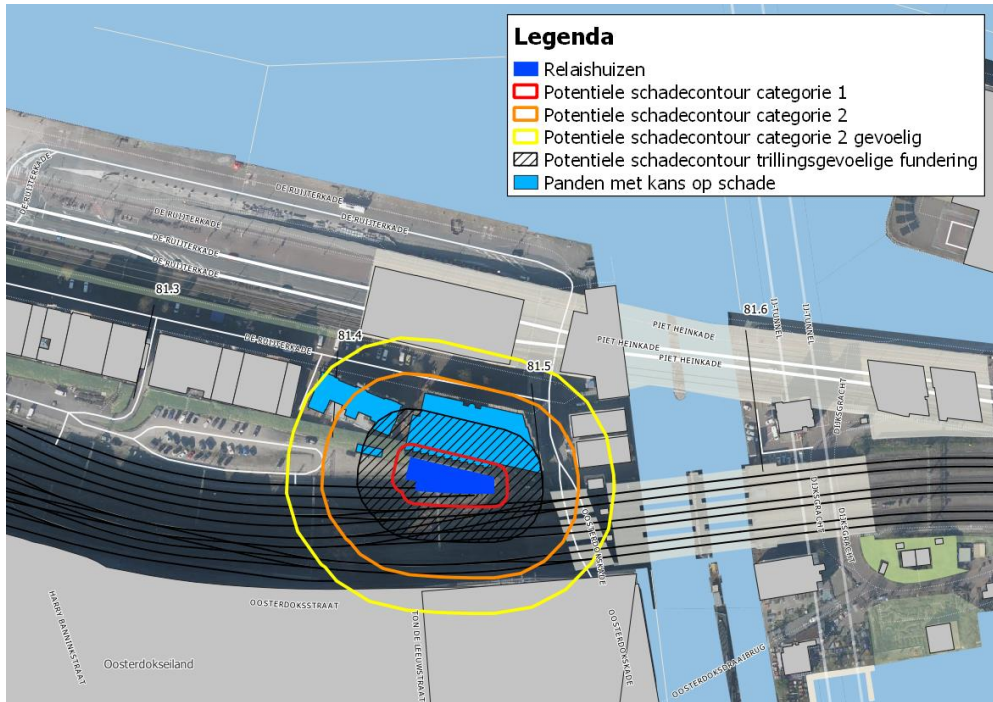
Object	Categorie 1	Categorie 2	Categorie 2 gevoelig	Fundering
Relaishuis 1, Westereiland	6	34	48	20
Relaishuis 2, De Ruiterkade	6	38	54	22
Relaishuis 3, Dijksgracht	6	45	67	24



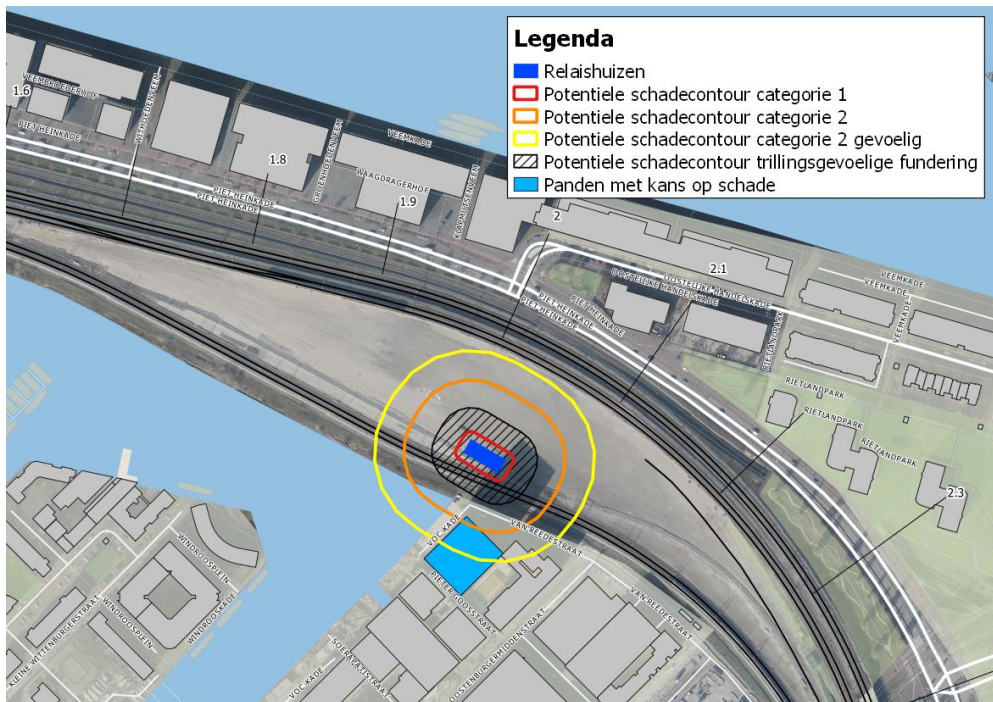
Figuur 1 Schadecontouren bij relaishuis 1, Westereiland



MEMO



Figuur 2 Schadecontouren bij relaishuis 2, De Ruijterkade



Figuur 3 Schadecontouren rond zoekgebied voor Relaishuis 3, Dijkgracht

## MEMO

### Trillingshinder

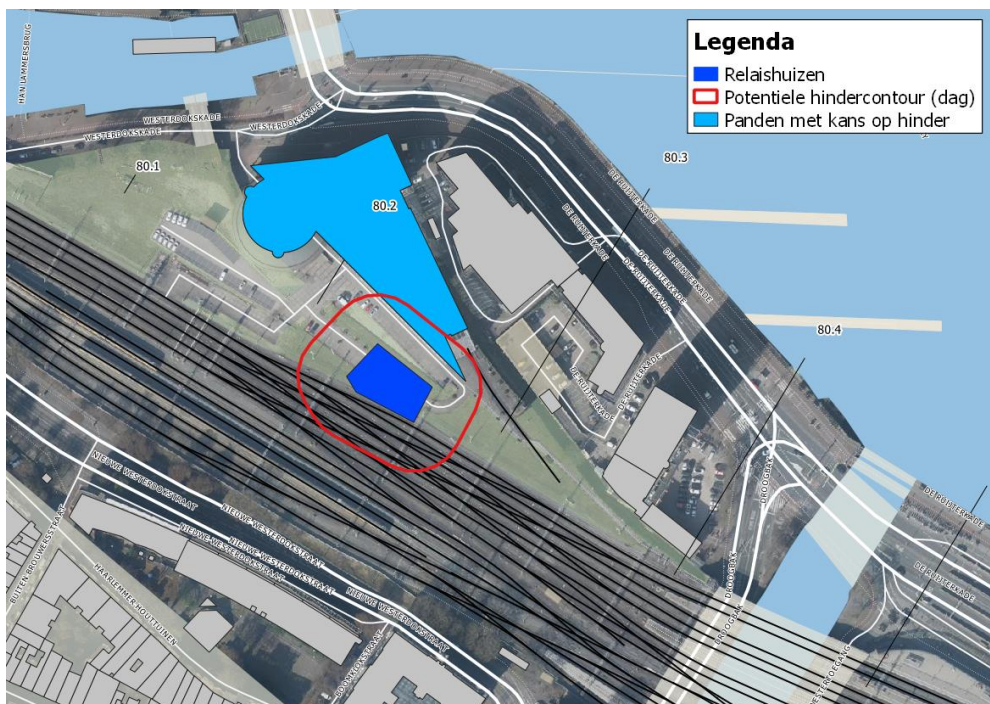
De contourafstanden voor trillingshinder bij werkzaamheden overdag (in de avond en nacht is uitsluitend een trillingsarme bouwmethode toegestaan) zijn weergegeven in Tabel 3. De contourafstanden zijn vervolgens geprojecteerd rond de werkzaamheden van de verschillende locaties, zie Figuur 4 tot en met Figuur 6.

Binnen de aangegeven afstanden tot de werkzaamheden is trillingshinder ten gevolge van de bouwwerkzaamheden niet op voorhand uit te sluiten. Trillingshinder is mogelijk bij de volgende gebouwen:

1. De Ruijterkade 4, t.g.v. heien fundering relaishuis 1.
2. De Ruijterkade 146 tot 150, t.g.v. heien fundering relaishuis 2
3. De Ruijterkade 152, t.g.v. heien fundering relaishuis 2

*Tabel 3 Contourafstande trillingshinder in meters*

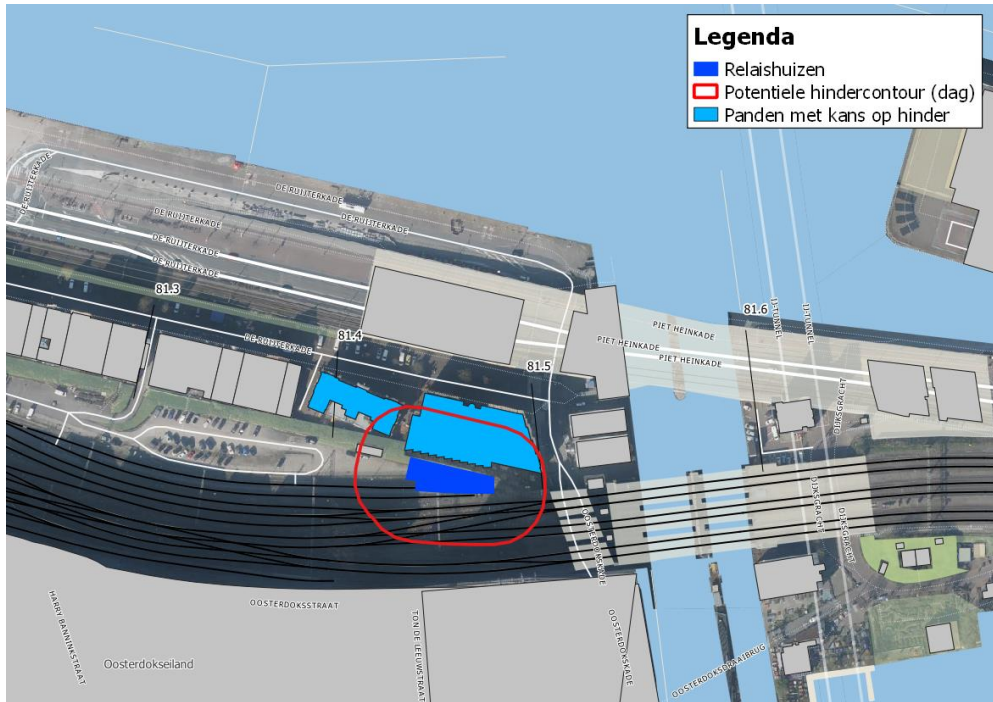
Object	Hinder
Relaishuis 1, Westereiland	22
Relaishuis 2, De Ruijterkade	23
Relaishuis 3, Dijksgracht	26



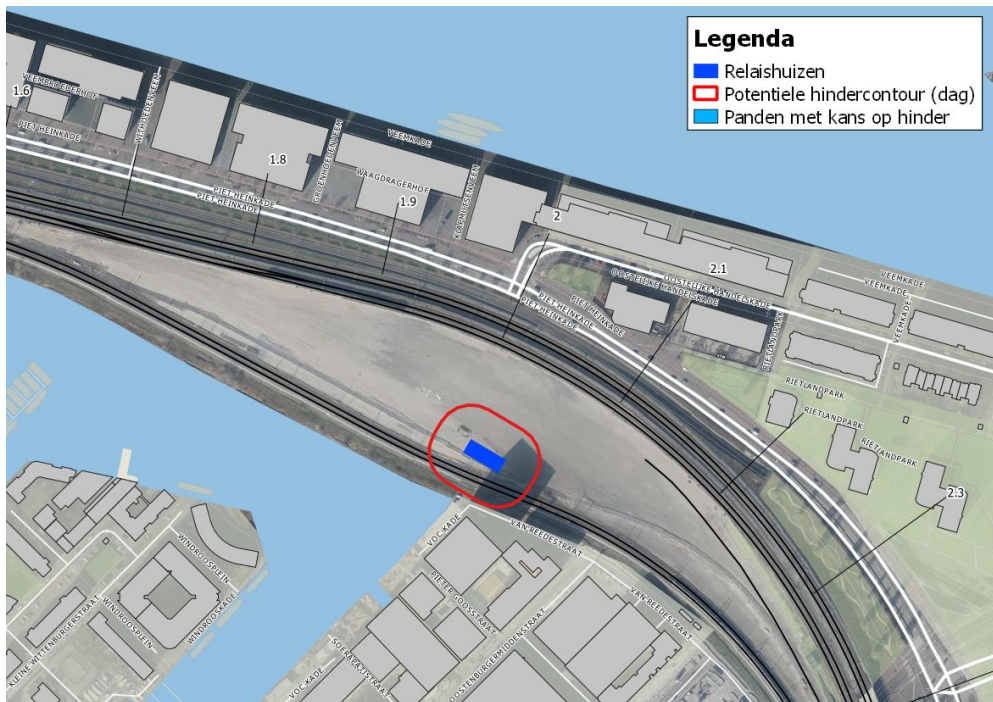
*Figuur 4 Hindercontouren bij relaishuis 1, Westereiland*



MEMO



Figuur 5 Hindercontouren bij relaishuis 2, De Ruijterkade



Figuur 6 Hindercontouren rond zoekgebied voor Relaishuis 3, Dijkgracht

## MEMO

### **Verstoring van trillingsgevoelige apparatuur**

Op basis van gegevens van de Kamer van Koophandel zijn alle bedrijven in een zone van 200 meter rond de relaishuizen geanalyseerd. Uit deze analyse blijkt dat er geen gebouwen met gevoelige apparatuur zijn in de onmiddellijke nabijheid van de relaishuizen. De realisatie van de relaishuizen zal daarom niet tot verstoring van gevoelige apparatuur leiden.

### **Conclusies en aanbevelingen**

Uit dit onderzoek zijn de volgende conclusies te trekken:

- Bij relaishuis 1 adviseren we een trillingsarme bouwmethode (geboord paalsysteem), om hinder bij omliggende panden te voorkomen.
- Bij relaishuis 2 adviseren we een trillingsarme bouwmethode (geboord paalsysteem), om schade aan omliggende panden en hinder te voorkomen.
- Bij Relaishuis 3 adviseren we een trillingsarme bouwmethode (geboord paalsysteem), om schade aan omliggende panden te voorkomen.

Tenslotte, in dit onderzoek is uitgegaan van worst-case uitgangspunten, omdat de fundering van de relaishuizen nog niet is gedetailleerd. Bij een lichtere paalfundering worden de contouren kleiner, en zeker bij relaishuis 1 en 4 kan dat ervoor zorgen dat er geen gebouwen in de hinder- en schadecontouren staan. Bij relaishuis 2 zal altijd sprake zijn van een kans op schade, en wordt een trillingsarme bouwmethode bij een fundering op palen geadviseerd.

## MEMO

### Bijlage 1 – Beoordelingskader

#### Beoordelingskader trillingsschade

De toetsing van trillingsschade vindt in Nederland vrijwel altijd plaats op basis van de SBR A-richtlijn. Deze richtlijn beschrijft de meetmethodiek en toetsingscriteria voor trillingsschade.

De grenswaarden voor trillingen t.a.v. schade volgens de SBR A-richtlijn (2017) worden vastgesteld op basis van drie beoordelingscriteria:

1) Type bouwwerk. De volgende verschillende typen van bouwwerken onderscheiden:

- a) Categorie 1: in goede staat verkerende onderdelen van een draagconstructie indien deze bestaan uit gewapend beton of hout; onderdelen van een bouwwerk die geen deel uitmaken van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout en draagconstructies van bouwwerken die geen gebouw zijn en bestaan uit metselwerk zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke;
- b) 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 bijvoorbeeld scheidingsconstructies, welke bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.
- c) Categorie 2 met een gevoelige bouwkundige staat of monument. In de versie uit 2017 van de SBR-A richtlijn is de eerdere gebouwcategorie 3 (oude en monumentale panden met grote cultuurhistorische waarde, en in slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of onderdelen daarvan) vervallen, en is er een veiligheidsfactor voor gebouwen met een monumentale status of slechte staat toegevoegd.

Daarnaast heeft de SBR A-richtlijn grenswaarden voor een trillingsgevoelige fundering (zoals funderingen op staal). Voor die funderingen is een aparte beoordeling van de trillingen nodig in verband met de kans op zettingen. De verwachting is dat alle gebouwen in het onderzoeksgebied op palen zijn gefundeerd, maar in het onderzoek is de kans op schade door zettingen wel meegenomen. De grenswaarden zijn weergegeven in Figuur 7.

2) Type trillingsbron. Er worden drie verschillende typen trillingsbronnen onderscheiden, elk met een eigen veiligheidsfactor:

- a) Bronnen die incidenteel voorkomende, kortdurende trillingen veroorzaken ten gevolge van een stootvormige excitatie. Het aantal malen dat het trillingsverschijnsel voorkomt is zo gering dat er geen rekening hoeft te worden gehouden met vermoeiingseffecten van constructiematerialen. Voorbeelden van dit type trillingen zijn explosies en botsingen. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 1.0.
- b) Bronnen die herhaalde kortdurende belastingen veroorzaken bij een stootvormige excitatie. Hieronder worden bronnen verstaan die zodanig vaak voorkomen dat met vermoeiingseffecten in materialen rekening moet worden gehouden. Een voorbeeld van dit type trillingen is heiwerkzaamheden. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 1.5.
- c) Bronnen die continue trillingen veroorzaken. Hieronder worden verstaan alle bronnen die niet onder de voorgaande twee categorieën kunnen worden ingedeeld. Als gevolg van deze trillingen kunnen resonanties en/of vermoeiingseffecten in de onderdelen van een gebouw optreden. Voorbeelden van dit type trillingen zijn machines met roterende onderdelen,



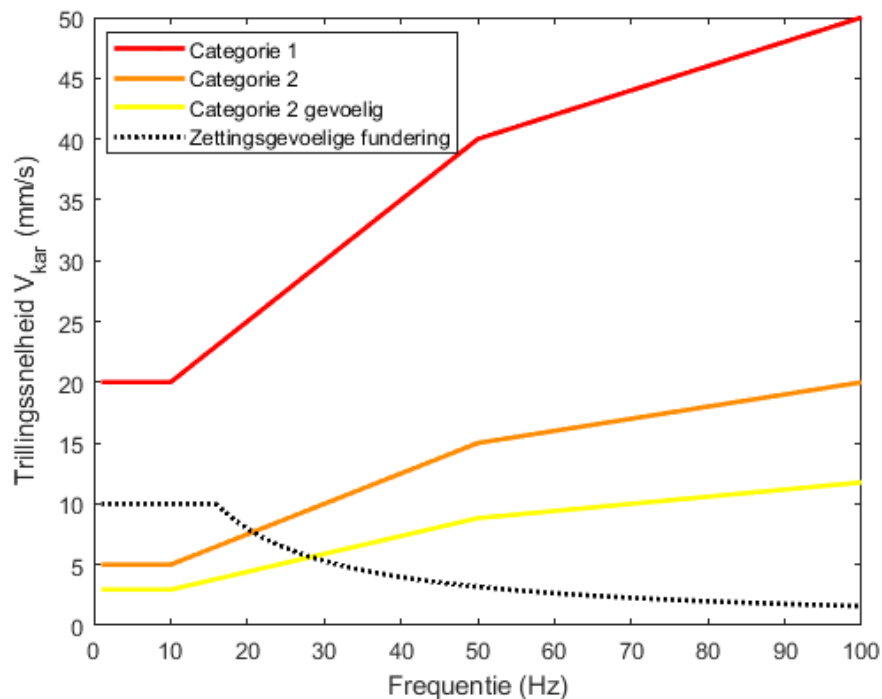
## MEMO

vibratoren, verdichtingswerk d.m.v. trilwalsen en het inbrengen van damwanden d.m.v. trilblokken. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 2.5.

In dit onderzoek wordt schade gerelateerd aan de bouw van relaishuizen. Het gaat dan om bouwwerkzaamheden waarbij heipalen worden aangebracht. Het inheien van palen valt onder categorie 2 (veiligheidsfactor 1.5). De grenswaarden dienen door deze veiligheidsfactor te worden gedeeld.

- 3) Type meting. Afhankelijk van de hoeveelheid meetpunten wordt opnieuw een driedeling gemaakt:
  - a) Indicatieve meting. Bij een indicatieve meting wordt slechts op één meetpunt in drie richtingen gemeten. Dit meetpunt wordt gemonteerd op een stijf punt aan de fundering. De gekozen horizontale richtingen worden zoveel mogelijk gekozen overeen komend met de hoofdassen van het gebouw. De veiligheidsfactor is 1.6.
  - b) Beperkte meting. Bij een beperkte meting wordt ten minste in één meetpunt op het begane grondniveau en ten minste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw gemeten. De veiligheidsfactor is 1.4.
  - c) Uitgebreide meting. Bij een uitgebreide meting dient een groter aantal meetpunten te worden gemeten, als aanvulling op de beperkte meting. (een uitgebreide beschrijving is in de SBR trillingsrichtlijn deel A gegeven). De veiligheidsfactor is 1.0.

In dit onderzoek wordt een prognose gemaakt op funderingsniveau. Daarom wordt de hoogste veiligheidsfactor (1.6, indicatieve meting) gehanteerd.



*Figuur 7 Grenswaarden SBR A-richtlijn (voor zettingsgevoelige fundering is de strengste grenswaarde weergegeven)*

Na de grenswaarden voor een bepaald gebouw gedeeld te hebben door de partiële veiligheidsfactor behorend bij het type trillingsbron, kan de met behulp van berekeningen bepaalde trillingssnelheid ten gevolge van werkzaamheden getoetst

## MEMO

worden aan de grenswaarde. Daar bovenop wordt een veiligheidsfactor gehanteerd. In dit onderzoek wordt aangegeven voor hoeveel gebouwen een overschrijding van de SBR A-richtlijn wordt verwacht. Deze toetsing vindt alleen plaats in de nabijheid van hei- en trilwerkzaamheden.

### Beoordelingskader trillingshinder

Conform het Bouwbesluit art. 8.4 wordt trillingshinder beoordeeld op de SBR B-richtlijn. In deze richtlijn zijn twee grootheden van belang:

1. De trillingssterkte  $V_{max}$ . Dit is een indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen.
2. De gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$ , een dimensieloze indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen.

De SBR B-richtlijn kent drie types streefwaarden:

1. A1, de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$ ;
2. A2, de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$ ;
3. A3, de streefwaarde voor de trillingsintensiteit  $V_{per}$ .

Voor bouwwerkzaamheden overdag dient aan de SBR-B streefwaarden voor kortere perioden (3 maanden of minder) te worden getoetst. In dat geval zijn de streefwaarden afhankelijk van de duur van de werkzaamheden. Voor werkzaamheden met een duur van maximaal 26 dagen gelden de in Tabel 4 weergegeven streefwaarden, bij een kortere duur zijn de grenswaarden A1 en A3 iets soepeler.

Tabel 4 Streefwaarden SBR B-richtlijn bij bouwwerkzaamheden

Duur	A1	A2	A3
Max. 6 dagen	0.4	6	0.3

Een situatie voldoet als de trillingssterkte  $V_{max}$  lager is dan de A1-streefwaarde, of als de trillingssterkte  $V_{max}$  lager is dan de A2-streefwaarde, waarbij de gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$  tegelijk lager is dan de A3-streefwaarde.

### Beoordelingskader trillingsgevoelige apparatuur

Voor trillingsgevoelige apparatuur schrijft de SBR C-richtlijn voor dat de apparaatspecifieke eisen ten aanzien van trillingen leidend zijn.