

Achtergrondrapport  
Trillingen

**STERKE  
LEKDIJK**

Culemborgseveer - Beatrixsluis



HOOGHEEMRAADSCHAP  
**DE STICHTSE  
RIJNLANDEN**

# Achtergrondrapport Trillingen

## Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Poldermolen 2  
3994 DD Houten

030 634 57 00 **T**  
sterkelekdijk@hdsr.nl **E**  
hdsr.nl/sterkelekdijk **W**

# STERKE LEKDIJK

Titel:	Achtergrondrapport Trillingen
Documentnummer:	834-H
Revisie:	2.0
Datum:	22/10/2024
Projectnaam:	Sterke Lekdijk CUB
Projectnummer:	154860
Status code:	Definitief

Opgesteld Door:

[Redacted]

Vrijgegeven Door:

[Redacted]

Datum:  
22/10/2024

Datum:  
22/10/2024

## Colofon

Verantwoordelijkheid	Functie	Naam	Paraaf
Opsteller:	Adviseur trillingen	[REDACTED]	
Verificateur:	Coördinator planproces	[REDACTED]	
Autorisator	Omgevingsmanager	[REDACTED]	
Vrijgever	Projectmanager	[REDACTED]	

Rapportgegevens	
Rapporttitel	Achtergrondrapport MER CUB Trillingen
Ondertitel	Dijkversterking Culemborgse Veer - Beatrixsluis
Versie:	2.0
Datum:	22 oktober 2024

Versie	Datum	Toelichting
Reviewversie 0.1	14/04/2023	Ruwe versie voor interne review projectteam Culemborgse-veer - Beatrixsluis
Conceptversie 1.0	16/10/2023	Afgeronde conceptversie
Eindconcept 1.0	16/10/2023	Versie voor conceptvergunningaanvraag CUB
Reviewversie 1.1	16/02/2024	Versie voor interne review projectteam Culemborgse-Veer - Beatrixsluis
Reviewversie 1.2	15/03/2024	Versie voor externe review bevoegde gezagen
Definitief	21/06/2024	Definitief voor bestuurlijke besluitvorming HDSR
Definitief	22/10/2024	Definitief

<b>1. INLEIDING</b>	<b>5</b>
<b>2. WETTELIJK EN BELEIDSMATIG KADER</b>	<b>6</b>
<b>3. WIJZE VAN EFFECTBEOORDELING</b>	<b>9</b>
3.1 Uitgangspunten	9
3.2 Rekenmethode	10
3.3 Rekenresultaten	11
<b>4. EFFECTBEOORDELING</b>	<b>13</b>
<b>5. MITIGERENDE EN COMPENSERENDE MAATREGELEN EN MONITORING</b>	<b>16</b>
<b>6. KENNISLEEMTEN</b>	<b>17</b>
<b>7. CONCLUSIE</b>	<b>18</b>

# 1. Inleiding

## **Dijkversterking Culemborgse Veer - Beatrixsluis**

De Lekdijk voldoet niet aan de waterveiligheidsnormen en daarom versterkt Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) de dijk tussen Amerongen en Schoonhoven onder de noemer Sterke Lekdijk. De dijkversterking Culemborgse Veer – Beatrixsluis is een deelproject van Sterke Lekdijk. Dit deelproject bevindt zich aan het einde van de verkenningsfase.

## **Doel van de milieueffectrapportage (MER) en de m.e.r.-procedure**

Op voorhand is duidelijk dat de dijkversterking Culemborgse Veer – Beatrixsluis belangrijke nadelige milieugevolgen kan hebben. Daarom is besloten om direct de m.e.r.-procedure te volgen en dit milieueffectrapport (MER) op te stellen. De m.e.r.-procedure heeft als doel om de effecten op milieu en leefomgeving zorgvuldig mee te kunnen nemen bij de besluitvorming over de dijkversterking. De voorbereiding van de dijkversterking gebeurt in twee fasen: de verkenningsfase (MER deel 1) en de planuitwerkingsfase (MER deel 2). Het aspect trillingen is in de aanleg en gebruiksfase in potentie een relevant omgevingseffect voor een dijkversterking.

## 2. Wettelijk en beleidsmatig kader

### Gebruiksfasen

Het aspect trillingen in de gebruiksfase wordt bepaald door trillingen ten gevolge van zwaar verkeer over de weg op de dijk. De reconstructie van de weg is geen onderdeel van het dijkversterkingsprogramma en wordt daarom niet beoordeeld in voorliggend MER. Er is zodoende in het voorliggend MER geen effect voor trillingen in de gebruiksfase.

In artikel 5.79 lid d van het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) *toepassingsbereik voor trillingen*, zijn doorgaande wegen expliciet uitgesloten van normstelling. Hiermee is er geen wettelijk kader voor de gebruiksfase.

De reconstructie van de weg op de Lekdijk als zodanig valt buiten de scope maar de ingrepen die plaatsvinden in de icoongebieden (aanleg van verkeersremmende plateaus in de weg) vallen binnen de scope.

### Aanlegfase

Het juridisch kader voor trillingen in de aanlegfase is eveneens het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl). 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 in aanlegfase

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

### Bouw- en sloopwerkzaamheden aan een bouwwerk

In afdeling 7.1 'Bouw- en sloopwerkzaamheden aan bouwwerken' van het Artikel 7.18 van het Bbl bepaalt dat voldaan moet worden aan de waarden voor trillingen uit tabel 4 van de Meet- en Beoordelingsrichtlijn, deel B, 'Hinder voor personen in gebouwen 2006' (SBR-richtlijn). Deze waarden zijn van toepassing op de volgende trillinggevoelige ruimten van trillinggevoelige gebouwen:

- verblijfsgebied van een woonfunctie
- bijeenkomstfunctie voor kinderdagopvang
- gezondheidszorgfunctie
- onderwijsfunctie

### Maatwerkvoorschrift en beste beschikbare technieken

In concrete gevallen kan het bevoegd gezag met een afwijken van de regels (artikel 7.5 Bbl). Een maatwerkvoorschrift kan de regels over trillingen alleen versoepelen, niet strenger maken (artikel 7.5, lid 2 Bbl). Dit geldt voor de dagwaarden, blootstellingsduur, tijdstippen en perioden (7.23, lid 1 Bbl). Daarbij geldt dat voor trillingen altijd de beste beschikbare technieken verplicht zijn (artikel 7.23, lid 2 Bbl).

Tabel 1. Meet- en Beoordelingsrichtlijn, deel B streefwaarden in de dagperiode voor continu of herhaald voorkomende trillingen gedurende een korte periode

duur D van de activiteiten gedurende korte periode								
D ≤ 1 dag			16 dagen < D ≤ 26 dagen			26 dagen < D ≤ 78 dagen		
A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
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 bedragen 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 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 dit onderzoek buiten de scope.

### **Normstelling schade aan gebouwen in aanlegfase**

Voor schade is de topwaarde van de trilling sterkte  $V_{top}$  relevant. Deze schade trilling sterkten  $V_{top}$  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 2017 is de richtlijn herzien. 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. De grenswaarden zijn geënt op een kans op schade kleiner dan 1 %. Als de grenswaarden worden overschreden is er sprake van een verhoogde kans op schade (>1%).

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.

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 2 waarbij een veiligheidsfactor van 1,7 wordt toegepast zodat er een lagere grenswaarde wordt gehanteerd.

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. Grond verdichten 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.

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

Het damwand trillen 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 schadegrenswaarde voor fundering en begane grond ten minste 5 mm/s. De grenswaarde is frequentieafhankelijk en bedraagt voor hoogfrequent trillen en grond verdichten 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 damwand trillen en grond verdichten 4,5 mm/s. De grenswaarde voor een trillingsgevoelige fundering is minder maatgevend dan de grenswaarde voor het gebouw.



### 3. Wijze van effectbeoordeling

De effectbeoordeling wordt alleen voor de aanlegfase uitgevoerd. Het aspect trillingen in de gebruiksfase wordt bepaald door trillingen ten gevolge van zwaar verkeer over de weg op de dijk. De reconstructie van de weg valt buiten de scope van het voorliggend MER. Hiermee is er in het voorliggend MER geen effect voor trillingen in de gebruiksfase.

Criteria	Werkwijze
Aspect trillingen (aanlegfase)	Kwantitatief op basis van objecten in invloedssfeer voor hinder en schade voor de aanlegfase.

#### 3.1 Uitgangspunten

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

- Damwand constructie
  - Trilblok planken slagkracht 2000 kN
- Grondplossing
  - Alle machines mogelijk
- Grondgebonden oplossingen
  - Trilblok/Trilwals;
  - Shovel;
  - Bulldozer;
  - Hydraulische kraan;
  - Vrachtwagen;
  - Dumper/trekker.

Het type trilblok kan als een relatief zwaar trilblok en derhalve als worst case aanname worden beschouwd. 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 VM2335 Slagkracht 2030 kN	--	--	Methode CUR 166
Binnen- en buitendijkse grondoplossing	Trilwals	$V_{top}$ 3,8 [mm/s] $V_{max}$ 2,5 [--]	7 m	Meting
	Shovel, Bulldozer	$V_{max}$ 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 damwandconstructie is het intrillen van damwanden. De maatgevende bron voor de binnen- en buitendijkse grond oplossing is de inzet van de trilwals.

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 CUB 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 want de grond gedraagt zich stijver.

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 [-].

### 3.2 Rekenmethode

Op basis van de referentie trillingssterkte 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].

In werkelijkheid is de bodem gelaagd en niet homogeen dus de formule van Barkan is een vereenvoudiging van de werkelijkheid.

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

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;
- $\alpha$  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 trillingsnelheid van trilblokken opgenomen. Hierbij is de referentietrillingsnelheid  $V_0$  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 veiligheidsfactor. 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

$$V_0=18,3$$

$$C_{vel}=0,0230$$

Slagkracht F= 2030 kN (slagkracht van VM2335 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 de dijkvakken 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 grootheid voor schade is  $V_{top}$  [mm/s]. De grootheid voor hinder is  $V_{max}$  [--]. Het verband tussen de grootheid voor hinder en schade is voor damwand trillen  $V_{max} = 0,64 \cdot V_{top}$

### 3.3 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 damwand zetten 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.

Tabel 3: Overzicht berekende invloedssfeer

	Invloedssfeer [m] Risico op schade Monumentaal object (cat 2)	Invloedssfeer [m] Risico op schade (cat 2)	Invloedssfeer [m] Hinder (A1=0,4)
Grondwerk binnendijs of buitendijs	8 m	3 m	43 m
Damwand trillen 2000 kN 99%	56 m	43 m	120 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. Tevens is de invloedssfeer voor een monumentaal object weergegeven.

In tabel 3 is te zien dat de invloedssfeer voor risico op schade voor een categorie 2 object voor grondwerk binnen- en buitendijs 3 m is en die voor het trillen van damwand 43 m. In tabel 3 zijn ook de invloedafstanden voor een VM2335 trilblok weergegeven.

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 4 is te zien dat de invloedssfeer voor hinder voor grondwerk binnen- en buitendijks 43 m is en die voor het trillen van damwand 120 m.

In bijlage 1 zijn de kaarten van alle dijkvakken weergegeven voor invloedssfeer voor risico op schade (99%) van een trilblok met een slagkracht van 2000 kN en hinder.

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 één trillingsbron bepalend is voor de trillingsmissie.

Effect-score	Beoordeling	Operationalisering voor het aspect trillingen
+	Positief effect	Nvt
0	Geen/ neutraal effect	Geen woningen in de invloedssfeer voor hinder en geen objecten in de invloedssfeer voor schade
-	Zeer klein negatief effect	Woningen in de invloedssfeer voor hinder
- -	Negatief effect	Woningen in de invloedssfeer voor hinder en objecten in de invloedssfeer voor schade
- - -	Zeer negatief effect	Alle woningen in de invloedssfeer voor hinder en alle objecten in de invloedssfeer voor schade

## 4. Effectbeoordeling

### Risico op schade door trillingen aan gebouwen

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 2017 is de richtlijn herzien. In SBR-richtlijn A worden grenswaarden voor schade onder deze grenswaarde is sprake van een geaccepteerde kans op schade (<1%). Boven deze grenswaarde is sprake van een verhoogde kans op schade (>1%).

### Hinder door trillingen

De beoordelingssystematiek van de SBR B richtlijn staat los van het feit of mensen hinder ervaren. De achtergrond van de streefwaarden in het Besluit bouwwerken en leefomgeving zijn vanwege de tijdelijkheid van trillingen door bouw- en sloopwerkzaamheden als verhoogd aan te merken. Ook als voldaan wordt aan de streefwaarden kunnen mensen hinder ervaren. Er wordt hier over een hinder effect (MER) gesproken als niet aan de betreffende streefwaarden wordt voldaan.

Aangezien het aspect trillingen door de aanlegfase bepaald wordt is er geen sprake van een referentiesituatie voor het aspect trillingen.

### Effectbeoordeling aanlegfase

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

In bijlage 1 zijn de kaarten van alle dijkvakken weergegeven voor invloedssfeer voor risico op schade. De invloedssfeer voor risico op schade voor grondwerk binnen- en buitendijs 3 m is en die voor het trillen van damwand 43 m. Binnen de invloedssfeer voor schade zijn trilling gevoelige 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 schade; de kans op schade is hier kleiner dan 1%.

In tabel 4 zijn per dijkvak de aantallen objecten binnen de berekende invloedssfeer weergegeven. Om een beeld te geven van het aantal gebouwen en woningen langs de dijk is ook het aantal gebouwen en woningen binnen 150 m van de dijk weergegeven.

Tabel 4 Overzicht aantallen objecten binnen berekende invloedssfeer schade en hinder en effectscores aanlegfase.

Dijkvak	Aantal Gebouwen binnen 150 m	waarvan woningen binnen 150 m	Damwandconstructie		Grondoplossing		Effect aspect trillingen
			Binnen invloedssfeer schade	Binnen invloedssfeer hinder	Binnen invloedssfeer schade	Binnen invloedssfeer hinder	
1	16	1	2	7	1	2	--
2a	0	0	0	0	0	0	0
2b	0	0	0	0	0	0	0
2c	7	2	0	0	1	6	--
3a	0	0	0	0	0	0	0
3b	79	76	0	0	3	16	--
3c	7	3	0	0	0	1	-
3d	2	2	0	0	0	2	-
3e	0	0	0	0	0	0	0
4a	0	0	0	0	0	0	0
4b	0	0	0	0	0	0	0
4c	7	4	0	0	0	0	0
5a	9	3	0	0	1	7	--
5b	6	3	0	0	0	6	-
6	15	0	6	10	0	6	--
7a	0	0	0	0	0	0	0
7b	19	7	0	0	4	15	--
7c	15	6	0	0	2	12	--
8	2	1	0	0	0	2	-
9a	15	6	0	0	2	9	--
9b	11	4	0	0	1	10	--
9c	16	1	0	0	0	0	0
9d	0	0	0	0	0	0	0

- Dijkvak 1: Kazemat (monument) ligt in de invloedssfeer van zowel de damwand als grondwerk GOP.
- Dijkvak 2c: gemeentelijk monument en woning.
- Dijkvak 3b: Vlakbij Tull en 't Waal met heel veel woningen.
- Dijkvak 5b/6: Archeologische kerkresten
- Dijkvak 6: Fort Honswijk, monumentaal
- Dijkvak 7b: monumenten in schade gebied
- Dijkvak 7c: monumenten in schade gebied
- Dijkvak 8: monumentaal gebied
- Dijkvak 9a: monument in schade gebied
- Dijkvak 9b: monumenten in schade gebied

In bijlage 1 zijn ook de kaarten van alle dijkvakken weergegeven voor de invloedssfeer voor hinder tijdens de uitvoering van de werkzaamheden. Voor grondwerk is de invloedssfeer voor hinder 43 meter. Voor het trillen van een damwand is de invloedssfeer 120 meter. 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 Besluit bouwwerken en leefomgeving.

### **Interpretatie contouren**

Als er in bijlage 1 objecten binnen de contouren van de invloedssfeer voor schade of hinder liggen betekent dit dat dat betreffende object een verhoogde kans op hinder of schade heeft ten opzichte van de normstelling. Het voorliggende onderzoek is echter geen onderzoek of prognose op objectniveau er kan ook geen conclusie op objectniveau worden getrokken. Er kunnen slechts op projectniveau conclusies worden verbonden aan de aantallen zoals in tabel 4 weergegeven.

Samenvattend kan worden gesteld dat de omgeving ten gevolge van de aanlegfase van het project CUB tijdelijk belast wordt met een verhoogde mate van trillingen tijdens de aanlegfase. Met name op locaties waar damwanden aangebracht (dijkvakken 1 en 6) 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. Mitigerende en compenserende maatregelen en monitoring

Richting de uitvoeringsfase dient een monitoringsplan te worden opgesteld voor het project CUB. 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. Tijdens de werkzaamheden zullen voor de woningen die binnen de invloedssfeer voor risico op schade liggen selectief trillingsmetingen worden uitgevoerd. 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.

### Mitigatie

Het voorliggende onderzoek is een globaal trillingsonderzoek voor de MER fase. In een latere fase zal een meer gedetailleerd trillingsonderzoek op objectniveau worden uitgevoerd. Hierbij zal de mitigatie per dijkvak worden bepaald. Daar waar objecten binnen de invloedssfeer voor schade liggen zal daar waar uitvoerbaar als mitigatie damwanddrukken worden toegepast. Damwanddrukken kan als een trillingsarme werkwijze voor het realiseren van de damwandconstructie worden gekenschetst. De verwachting is dat er met het toepassen van deze mitigatie geen verhoogde kans op schade is voor bouwkundige objecten. Bij woningen binnen de invloedssfeer voor risico op schade wordt een bouwkundige nul-opname verricht voorafgaand aan de werkzaamheden.

Binnen de invloedssfeer voor hinder bevinden zich ook trillingsgevoelige objecten. Hiervoor kan een maatwerkvoorschrift worden aangevraagd indien nodig. Artikel 7.23 lid 2 van het BBL stelt, onverkort het gestelde in een maatwerkvoorschrift als bedoeld in het eerste lid, dat bij het verrichten van de bouw- en sloopwerkzaamheden gebruik gemaakt wordt van de beste beschikbare stille technieken. De aanlegstrategie van het CUB met mitigatie met damwandrukken voor objecten binnen de schadecontour werkt tevens als mitigatie voor alle objecten binnen de hindercontour. Hiermee wordt er gebruik gemaakt van de beste beschikbare stille technieken zoals Artikel 7.23 lid 2 voorschrijft.

De trillingsvoorschriften zijn gebaseerd op tijdelijk een verhoogde mate van hinder toestaan. Er bestaat ook met mitigatie een risico op overschrijding, er kunnen dus ook met mitigatie klachten ontstaan. In het monitoringsplan wordt een protocol opgenomen hoe om te gaan met hinderklachten.



## 6. Kennisleemten

De inschattingen van de invloedssferen is gebaseerd op kentallen en aannames van de bodemprofielen en bouwkundige constructies. Het is geen prognose op object niveau. Specifieke bouwkundige constructies kunnen aanleiding geven tot afwijkingen.

## 7. Conclusie

Trillingen	Effecten dijkversterking – (waterveiligheidsopgave)		Effecten dijkversterking plus beheeropgave	
	Score gebruiksfase	Score aanlegfase	Score gebruiksfase	Score aanlegfase
Trillingshinder	n.v.t	-	n.v.t	-

De effecten voor het aspect trillingen zijn op basis van de worst case te weten het intrillen van damwanden in beeld gebracht. Op basis van het tellen van objecten binnen de invloedssfeer voor schade en hinder zijn in 9 van de 23 dijkvakken de effecten negatief. In dijkvakken 1 en 6 als gevolg van damwandconstructies, in de andere dijkvakken is dat het gevolg van grondwerkzaamheden. Er is voor de realisatie van damwandconstructies een mitigatietechniek, lokaal damwanddrukken voorhanden om deze negatieve geheel effecten te mitigeren. Hiermee is aangetoond dat het project uitvoerbaar is zonder relevante effecten voor het aspect trillingen. Met de inzet van deze mitigatie het effect geheel neutraal. Hiermee is niet gezegd dat deze mitigatie zo uitgevoerd wordt er wordt alleen gesteld dat deze mitigatie voorhanden is. Voor de uitvoering dient nader onderzoek plaats te vinden en afwegingen op alle aspecten te worden gemaakt.