

# Trillingsonderzoek

Fase 2



**PROJECT**  
**Meanderende Maas**

**PLANUITWERKING**

11 oktober 2022

Project  
Opdrachtgever

Planuitwerking Meanderende Maas  
Stuurgroep Meanderende Maas

Document  
Status  
Datum  
Referentie  
Referentie (MM)

Trillingsonderzoek Fase 2  
1.0  
11 oktober 2022  
WSE.5.1.c/22-014.176  
WSE.5.1-0115

Projectcode  
Projectleider  
Projectdirecteur

124679-WSE.5.1.c  
[REDACTED]  
[REDACTED]

Auteur(s)  
Gecontroleerd door  
Goedgekeurd door

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

Paraaf

Adres

Ingenieursteam Meanderende Maas  
Leeuwenbrug 8  
Postbus 233  
7400 AE Deventer  
+31 (0)570 69 71 52

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

## INHOUDSOPGAVE

1	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
2	<b>METHODE EN TOETSINGSKADER</b>	<b>7</b>
2.1	Bronsterkte: Slagkracht en brontrillingen	8
2.2	Trillingsoverdracht	8
2.3	Beoordelingskader schade door trillingen (SBR-A)	9
3	<b>TRILLINGSANALYSE</b>	<b>12</b>
3.1	Uitgangspunten	12
3.2	Prognose trillingen	13
3.3	Toetsingskader en kritische afstanden	14
4	<b>VERVOLG TRILLINGSONDERZOEK</b>	<b>16</b>
5	<b>REFERENTIES</b>	<b>17</b>
	Laatste pagina	17
	<b>Bijlage(n)</b>	<b>Aantal pagina's</b>
I	Berekeningen kritische afstand	5

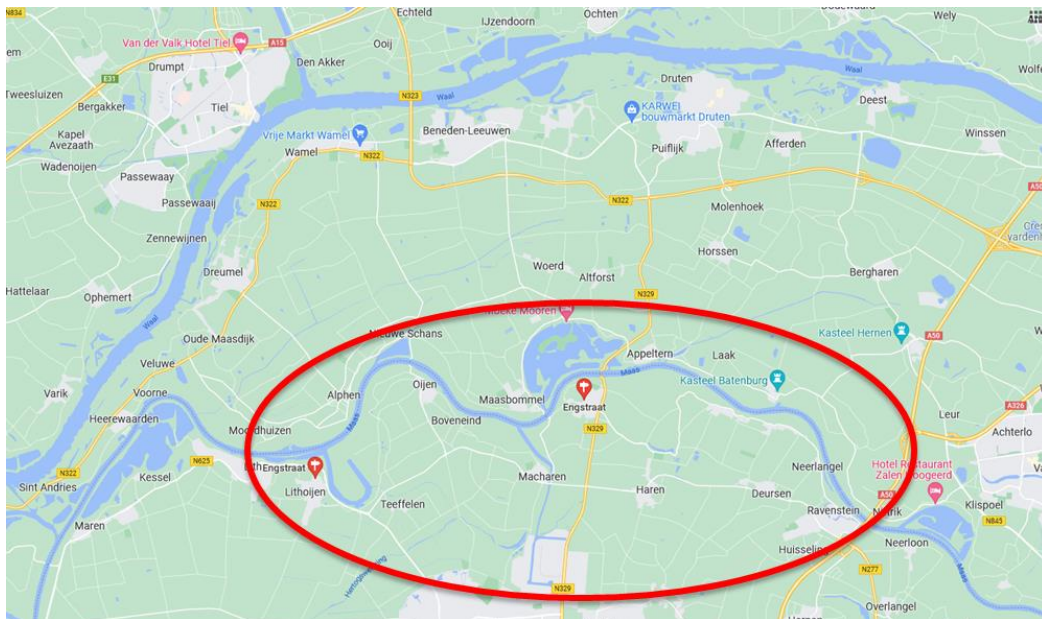
# 1

## INLEIDING

### Aanleiding

Voor het project dijkversterking Meanderende Maas wordt langs een traject van bijna 20 km werkzaamheden uitgevoerd, een overzicht van het traject is te zien in afbeelding 1.1. Deze werkzaamheden hebben mogelijk hinder en/of schade voor de omgeving als gevolg. Om schadevrij te kunnen werken is het van belang om inzicht te hebben op het risico op schade als gevolg van de werkzaamheden, zodat hier bij de uitvoering van de werkzaamheden rekening mee gehouden kan worden.

Afbeelding 1.1 Overzicht van het traject langs de Maas, het gebied waar de werkzaamheden zullen plaatsvinden is aangegeven met de rode cirkel



### Doel van dit document

Met deze trillingsprognose op basis van drie locatie specifieke berekeningen in beeld gebracht tot welke afstand van het werkgebied tot de bebouwing een risico bestaat op schade aan gebouwen. Dit document geeft daarmee inzicht aan het ontwerpteam bij de te maken keuzes over de uitvoering van de dijkversterking.

### Aanpak

Verwachte werkzaamheden zijn het trillend inbrengen van damwanden, grondverzet, transport en laad- en losactiviteiten. Als uitgangspunt voor dit onderzoek is het trillend inbrengen van damwanden genomen, aangezien (1) het (trillend) inbrengen van damwanden naar verwacht maatgevend is bij dit soort werkzaamheden en (2) de damwanden zullen over het gehele traject geplaatst kunnen worden. Mogelijk worden binnen de woonkernen de damwanden drukkend ingebracht, om schade en hinder door het intrillen zoveel mogelijk te vermijden.

Het gehele trillingsonderzoek bestaat uit twee fases:

- Fase 1: op basis van een indicatieve berekening bepalen wat de kritische afstand is waarbinnen op voorhand niet uitgesloten kan worden dat schade optreedt ten gevolge van het intrillen van damwanden;
- Fase 2: uitvoeren van een locatie specifieke berekening aan de hand van drie aangeleverde scenario's.

Dit document beschrijft de tweede fase van het trillingsonderzoek. Voor de bepaling van de kritische afstand zijn een tweetal factoren van belang: het trillingsniveau op het bouwwerk en de gevoeligheid van het bouwwerk voor die trilling. Voor het eerste aspect is gebruik gemaakt van de berekeningsmethode CUR166 [ref. 1 en ref. 2], voor het tweede aspect is de SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken [ref. 3] het toetsingskader.

Bij deze trillingsanalyse is uitgegaan van de beschikbaar gestelde grondprofielen en is alleen getoetst aan de grenswaarde volgens SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken.

### Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 zijn de aanpak en het toetsingskader van het trillingsonderzoek beschreven. In hoofdstuk 3 staan de project specifieke uitgangspunten en zijn de resultaten van de trillingspredicties weergegeven. In hoofdstuk 4 staan kort de vervolgstappen genoemd.

# 2

## METHODE EN TOETSINGSKADER

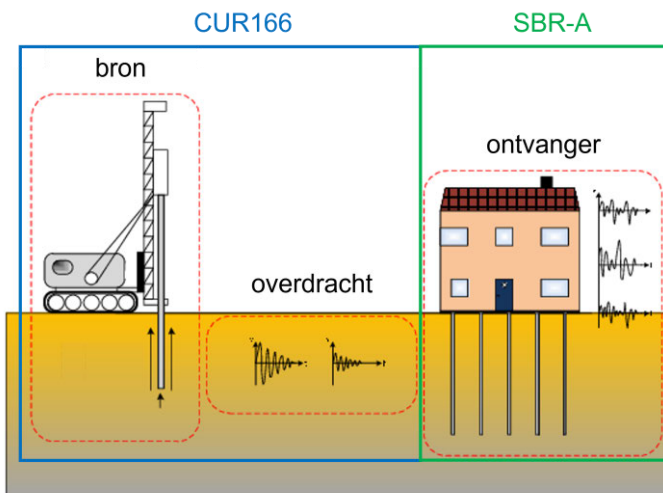
In dit hoofdstuk wordt de methode beschreven en het toetsingskader volgens de SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken [ref. 3] toegelicht. In dit document wordt de eerste fase van het trillingsonderzoek beschreven, hierbij wordt op basis van een indicatieve berekening bepaald wat de kritische afstand is waarbinnen op voorhand niet uitgesloten kan worden dat schade optreedt ten gevolge van het intrillen van damwanden.

Voor de bepaling van de kritische afstand zijn de volgende elementen van belang:

- 1 Bronsterkte (paragraaf 2.1);
- 2 Trillingsoverdracht door bodem naar een stijf punt op het gebouw (de fundering) (paragraaf 2.2);
- 3 Gevoeligheid van het bouwwerk voor trillingen en schade (paragraaf 2.3).

Deze drie aspecten zijn in de volgende paragrafen verder uitgewerkt. De aanpak voor het bepalen van de bronsterkte en de trillingsoverdracht is primair gebaseerd op de methodiek beschreven in de CUR166 [ref. 1 en ref. 2]. Het bepalen van de gevoeligheid van het bouwwerk voor trillingen en het toetsen van het risico op schade volgt uit de methodiek beschreven in de SBR deel A [ref. 3]. In Afbeelding 2.1 is schematisch weergegeven hoe de CUR166 en SBR-A met elkaar samenhangen en hoe een trilling van bron naar ontvanger loopt.

Afbeelding 2.1 Schematisering van de trillingsoverdracht van bron naar ontvanger



## 2.1 Bronsterkte: Slagkracht en brontrillingen

De berekening van de trillingsintensiteit met de empiristische methode uit CUR 166 [ref. 1 en ref. 2] vindt plaats op basis van de karakteristieken van het bodemprofiel en de trillingsbron. De bronsterkte van de trillingsintensiteit op 5 meter afstand van de bron wordt bepaald met:

$$v_0 = \eta_t(u_0 + c_{vel}(F - 350))$$

Waarin  $F$  is de slagkracht in kN,  $\eta_t$  is de efficiëntie van het trilblok,  $u_0$  is de referentie trillingsnelheid op 5 m afstand in mm/s en  $c_{vel}$  is de correctiefactor om de invloed van de slagkracht van het trilblok in rekening te brengen. De parameters  $u_0$  en  $c_{vel}$  zijn empirisch bepaald en afhankelijk van het bodemprofiel. In (Rijnerveld & Snethlage, 2014) zijn deze parameters nauwkeuriger bepaald wat resulteert in aangescherpte waarden ten opzichte van de CUR 166 die dichter bij de realiteit liggen. Deze aangescherpte waarden zijn dan ook gebruikt in dit onderzoek. Er zijn verschillende methodes om de slagkracht te bepalen, voor dit onderzoek wordt deze bepaald aan de hand van de NVAF-PSD grafieken<sup>1</sup> beschreven in de CUR166, deel 1.

## 2.2 Trillingsoverdracht

De tweede stap in het bepalen van de omgevingseffecten is het bepalen van de overdracht van de trillingen aan de bron naar een stijf punt van het gebouw. Deze overdracht bestaat uit twee delen:

- 1 Trillingsintensiteit op een zekere afstand van de bron.
- 2 Overdracht van maaiveld naar fundering.

De afname in trillingsintensiteit op zekere afstand van de bron wordt veroorzaakt door materiaaldemping (dissipatie van trillingsenergie in de bodem door interne wrijving) en geometrische demping (geometrische verspreiding van energie afhankelijk van het type bron). De trillingsintensiteit  $v(x)$  op een afstand  $x$  van de bron wordt berekend volgens de vergelijking:

$$v(x) = v_0 \sqrt{\frac{x_0}{x}} \exp(-\alpha(x - x_0))$$

Waarin  $\alpha$  is de dempingswaarde en  $x_0$  is de referentie afstand behorende bij de bronsterkte  $v_0$ .

De trillingen in de bodem worden vervolgens overgedragen op de bebouwing gefundeerd op of in contact met de ondergrond. Er wordt aangenomen dat de trillingsintensiteit bij de overdracht van maaiveld naar fundering wordt gereduceerd met een factor  $\eta_{of} = 0,7$  [ref. 2]. Dit betekent dat trillingen op de fundering 30 % lager liggen dan die op maaiveld. Voor een beschouwing van de kans op schade wordt niet gekeken naar de overdracht van fundering naar vloer, deze moet wel meegenomen worden in de beschouwing van trillingshinder.

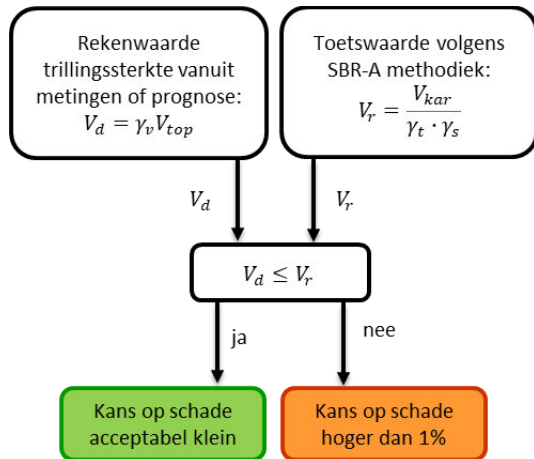
---

<sup>1</sup> Grafieken ontstaan vanuit samenwerking tussen de Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken (NVAF) en de vereniging Promotie Stalen Damwand (PSD), waarmee aan de hand van een relatie tussen planklengte en weerstandsmoment kan worden geschat of schadevrij installeren haalbaar is. De 38 grafieken gaan uit van verschillende uniforme grondprofielen en bodemopbouw van verschillende karakteristieke locaties in Nederland. Hanteren van de grafieken dient met enige voorzichtigheid gedaan te worden, aangezien bij samenstellen van de grafieken in 2002 andere standaard dimensies gebruikelijk waren (er is uitgegaan van een plankbreedte 60 cm). Tegenwoordig worden aanzienlijk bredere planken toegepast met een lager gewicht per vierkante meter die een vergelijkbaar weerstandsmoment kunnen opleveren als de oudere planktypes, maar compleet andere eigenschappen kunnen hebben. [ref. 5]

## 2.3 Beoordelingskader schade door trillingen (SBR-A)

Het risico van schade aan bouwwerken als gevolg van trillingen wordt getoetst volgens de SBR-richtlijn deel A [ref. 3]. De SBR-richtlijn deel A geeft de grenswaarden ten aanzien van schade voor de trillingsterkte op funderingsniveau en (onderdelen van) de draagconstructie. Als de trillingssterkte  $V_d$  kleiner is dan de grenswaarde  $V_r$  (de uiteindelijke waarde waaraan getoetst wordt), dan zal volgens de richtlijn de kans op schade acceptabel klein zijn (ordegrootte 1 % of minder), zie Afbeelding 2.2. Hierbij is de trillingssterkte  $V_d$  de rekenwaarde van de topwaarde ( $V_{top}$ ) van de trillingssnelheid gemeten op de bebouwing.

Afbeelding 2.2 Procedure voor beoordeling kans op schade



Aangezien er geen meetgegevens beschikbaar zijn en het doel van dit trillingsonderzoek is het geven van een prognose, is uitgegaan van een berekende waarde voor de topsnelheid van het trillingsniveau op de bebouwing aan de hand van de methodiek beschreven in paragraaf 2.1 en 2.2 (CUR166). Hierin wordt het berekende trillingsniveau beschouwd als een indicatieve meting, waarvoor een partiële veiligheidsfactor  $\gamma_v = 1,6$  ten opzichte van  $V_{top}$  geldt. Dit geeft:

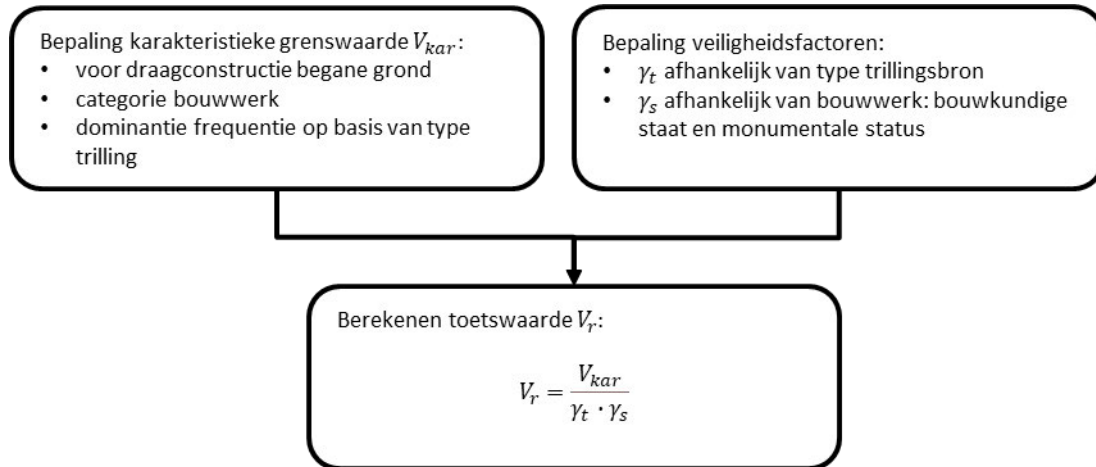
$$V_d = \gamma_v V_{top}$$

Waarbij  $V_{top}$  gelijk genomen wordt aan de berekende waarde voor de trillingsintensiteit  $v(x)$ .

De grenswaarde voor de bebouwing ( $V_r$ ) is afhankelijk van de staat van het bouwwerk (1) en de gevoeligheid van het bouwwerk voor trillingen (2). In de SBR-richtlijn wordt aan de hand van verschillende gebouwkenmerken en trillingskenmerken de grenswaarde bepaald, dit is schematisch weergegeven in Afbeelding 2.3.



Afbeelding 2.3 Schema ter bepaling van rekenwaarde van de grenswaarde  $V_r$ .



De gebouwkenmerken die van belang zijn voor de toetsing zijn de gebouwcategorie, de bouwkundige staat en de monumentale status van het gebouw. In de SBR-A [ref. 3] wordt onderscheid gemaakt tussen twee gebouwcategorieën, die als volgt gedefinieerd zijn.

Tabel 2.1 Overzicht gebouwcategorieën [ref. 3, tabel 10.1]

Gebouwcategorie 1	Gebouwcategorie 2
<ul style="list-style-type: none"> <li>- onderdelen van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout</li> <li>- onderdelen van een bouwwerk, die geen deel uitmaken van de draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies), indien deze bestaan uit gewapend beton of hout</li> <li>- draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijnde, welke bestaan uit metselwerk, zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk</li> <li>- onderdelen van een gebouw, die niet tot de draagconstructie behoren, zoals scheidingsconstructies, welke bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen</li> </ul>

Bij de beoordeling van het risico op schade wordt rekening gehouden met de bouwkundige staat, zie Tabel 2.2, en de eventuele monumentale status, bijvoorbeeld rijksmonumenten, provinciale monumenten of gemeentelijke monumenten. In Tabel 2.3 staan de bijbehorende veiligheidsfactoren.

Tabel 2.2 Overzicht van indeling naar bouwkundige staat [ref. 3, tabel 10.2]

Staat	Omschrijving
gevoelig	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bouwwerken of onderdelen waarvan de sterkte is verminderd</li> <li>- bouwwerken of onderdelen waarin sprake is van extra initiële spanningen</li> </ul>
normaal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bouwwerken of onderdelen waarvan de bouwkundige staat niet gevoelig is</li> </ul>

Tabel 2.3 Veiligheidsfactoren bouwkundige staat en monumentale status

Situatie	Veiligheidsfactor $\gamma_s$
bouwkundige staat: normaal monumentale status: geen	1,0
bouwkundige staat: gevoelig monumentale status: monument	1,7

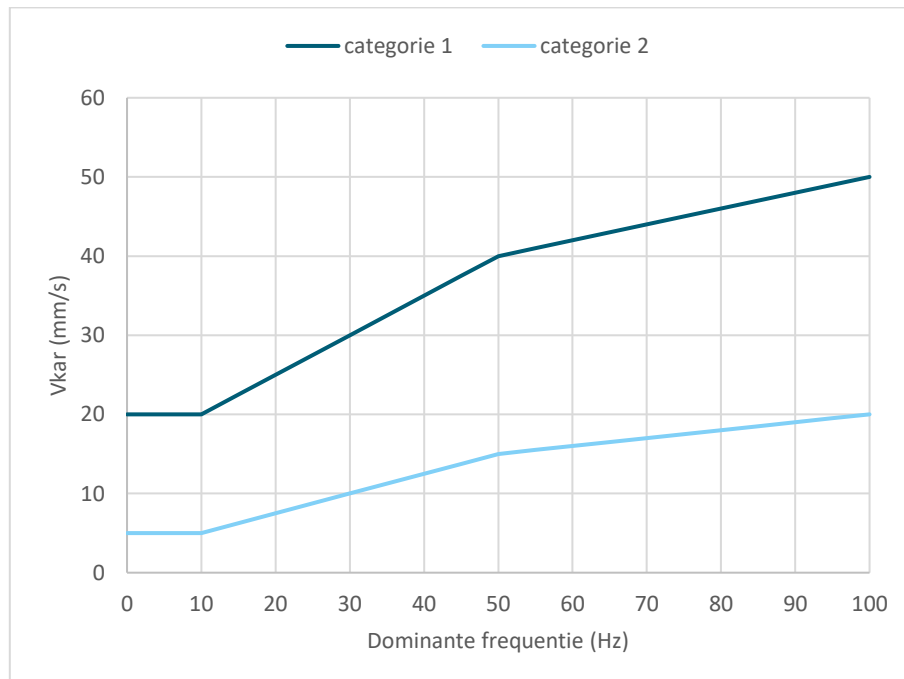
Het type trilling kan kortdurend, herhaald kortdurend of continu zijn, zie Tabel 2.4. De genoemde veiligheidsfactoren gelden voor de situatie waarbij er geen kans is op zettingen onder de fundering van de bebouwing.

Tabel 2.4 Veiligheidsfactoren type trilling bij beoordeling van draagconstructie en onderdelen [ref. 3, tabel 10.4 en tabel 10.6]

Type trilling	Omschrijving	Veiligheidsfactor $\gamma_t$
kortdurend	explosie, vallende constructie	1,0
herhaald kortdurend	heien, sloophamers, wegverkeer	1,5
continu	intrillen palen/damwanden, verdichten door middel van trilwalsen	2,5

Uit Afbeelding 2.4 is af te leiden wat de karakteristieke grenswaarde ( $V_{kar}$ ) voor de werkzaamheden zijn. Deze hangt af van de categorie van het bouwwerk en de dominante frequentie van de trilling.

Afbeelding 2.4 Karakteristieke grenswaarden begane grond voor de twee categorieën bouwwerk



# 3

## TRILLINGSANALYSE

De methodiek uit hoofdstuk 2 is toegepast voor de predictie van de trillingen, aan de hand van de uitgangspunten behorend bij de drie scenario's. Op basis van een prognose van de trillingsniveaus voor deze drie scenario's is bepaald wat de kritische afstand is waarbinnen op voorhand niet uitgesloten kan worden dat schade optreedt ten gevolge van het intrillen van damwanden. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen drie situaties aan de kant van de ontvanger.

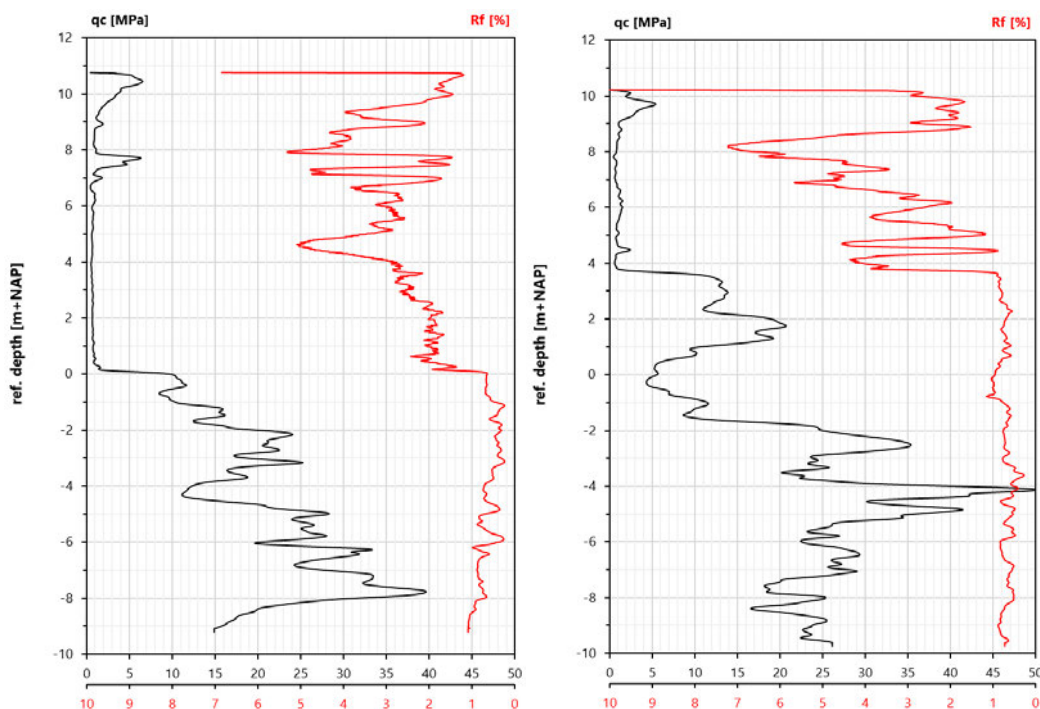
### 3.1 Uitgangspunten

#### Projectgebied

De dijkversterking vindt plaats langs de Maas van Ravenstein tot aan Lithoijen, zie Afbeelding 1.1. Langs het gehele traject zijn sonderingen uitgevoerd om de bodemeigenschappen te bepalen. Hieruit volgt dat de bodemopbouw locatie afhankelijk is en over het algemeen een toplaag bevat van enkele meters dik met klei, met daar onder een zandpakket.

Door de aannemer is een studie gedaan naar de bodemopbouw langs het dijktraject [ref. 7], hieruit is geconcludeerd dat in Ravenstein de hoogste conusweerstand zijn gemeten en in Megen de laagste conusweerstand. Daartoe zijn de kritische afstanden aan de hand van deze twee lokale bodemprofielen berekend. De bodemprofielen voor Megen en Demen-Dieden-Ravenstein zijn afgebeeld in Afbeelding 3.1.

Afbeelding 3.1 Links: CPT000000167864 (Megen); Rechts: CPT000000167718 (Demen-Dieden-Ravenstein)



## Type damwanden

Er zijn drie verschillende scenario's opgesteld, deze staan samengevat in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Overzicht van scenario's

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
planktype	AZ 26-700	AZ 28-700	AZ 32-700
planklengte	13 m	13,5 m	17 m
sondering	CPT000000167718 (Demem-Dieden- Ravenstein)	CPT000000167864 (Megen)	CPT000000167864 (Megen)

## Materieel

De aannemer heeft aangegeven dat het trilblok ICE36RF gebruikt zal worden. Dit is een hoogfrequent trilblok (38 Hz) met een slagkracht van 2088 kN.

## 3.2 Prognose trillingen

### Slagkracht en bronsterkte

De maximaal benodigde slagkracht is bepaald aan de hand van de NVAF-PSD grafieken beschreven in de CUR166, deel 1 [ref. 1], waarbij wordt uitgegaan van de locatie specifieke bodemeigenschappen, het gecorrigeerde weerstandsmoment en de lengte van de planken in combinatie met de beschikbare grafieken. Er is aangenomen dat het trilblok een efficiëntie van 90 % heeft (conform CUR166). Bij het bepalen van de trillingen amplitude op 5 m van de bron zijn de aangescherpte waarden volgens [ref. 4] zijn gebruikt. Voor een overschrijdingskans van 1 % (gangbaar bij de beoordeling van schade) en het bodemprofiel van Tiel gelden de parameters  $u_0 = 9,3$  mm/s en  $c_{vel} = 0,012$  mm/s/kN. Het overzicht in Tabel 3.2 geeft de gebruikte parameters weer voor de bepaling van de trilling op de fundering van een gebouw.

### Overdracht

De topwaarde  $V_{top}(x)$  van de trillingsintensiteit op een afstand  $x$  van de bron wordt bepaald met behulp van de afstandsrelatie uit paragraaf 2.2. Per bodemprofiel is de dempingswaarde bepaald afhankelijk van de schuifgolfsnelheid in de bovenste meters van de ondergrond en de dominante frequentie. Vervolgens is de rekenwaarde voor het trillingsniveau wordt bepaald met:

$$V_d = \gamma_v V_{top}$$

Tabel 3.2 Parameters voor trillingsprognose per scenario's

Omschrijving	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
slagkracht	2000 kN	1150 kN	2000 kN
overdracht trillingsenergie blok naar damwand ( $\eta_t$ )	0,9	0,9	0,9
referentie trillingsnelheid op 5 m afstand voor 99 % prognose waarde ( $u_0$ )	9,3 mm/s	9,3 mm/s	9,3 mm/s
correctiefactor voor 99 % prognose waarde ( $c_{vel}$ )	0,012 mm/s/kN	0,012 mm/s/kN	0,012 mm/s/kN
referentie afstand ( $x_0$ )	5 m	5 m	5 m
trillingssnelheid op 5 m afstand ( $v_0$ )	26 mm/s	17 mm/s	26 mm/s
dempingswaarde ( $\alpha$ )	0,019	0,017	0,017
overdracht trillingsenergie van maaiveld naar fundering ( $\eta_{of}$ )	0,7	0,7	0,7

Omschrijving	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
partiële veiligheidsfactor voor rekenwaarde trillingsniveau ( $\gamma_v$ )	1,6	1,6	1,6

### 3.3 Toetsingskader en kritische afstanden

#### Grenswaarden

Het intrillen van damwanden en palen valt onder het type continue trilling, zie Tabel 2.4. Dit geeft een veiligheidsfactor  $\gamma_t = 2,5$ . Aangezien dit een indicatieve berekening is en niet op detail niveau naar de bebouwing gekeken is, zal voor alle gebouwclassificaties de grenswaarden worden berekend. Hierbij is geen rekening gehouden met de kans is op zettingen onder de fundering van de bebouwing. Voor deze analyse is aanvullende informatie over de fundering per woning nodig.

In deze memo is de kritische afstand bepaald voor drie toetsingssituaties:

- 1 gebouwcategorie 1, goede bouwkundige staat;
- 2 gebouwcategorie 2, goede bouwkundige staat;
- 3 gebouwcategorie 2, slechte bouwkundige staat/monument.

De bijbehorende karakteristieke grenswaarde is vervolgens voor alle drie de toetsingssituaties berekend. Het overzicht staat in Tabel 3.3 waarbij  $V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t \gamma_s}$ .

Tabel 3.3 Overzicht van parameters toetsing van bouwwerken

Cat 1, goede bouwkundige staat	Cat. 2, goede bouwkundige staat	Cat. 2, slechte staat en/of monument
$\gamma_t = 2,5$	$\gamma_t = 2,5$	$\gamma_t = 2,5$
$\gamma_s = 1,0$	$\gamma_s = 1,0$	$\gamma_s = 1,7$
$V_{kar} = 34 \text{ mm/s}$	$V_{kar} = 12 \text{ mm/s}$	$V_{kar} = 12 \text{ mm/s}$
$V_r = 13,6 \text{ mm/s}$	$V_r = 4,8 \text{ mm/s}$	$V_r = 2,8 \text{ mm/s}$

#### Kritische afstanden

Voor de drie situaties uit Tabel 3.2 is de kritische afstand bepaald, deze is gedefinieerd als de afstand waar het verwachte trillingsniveau gelijk is aan de vastgestelde grenswaarde. In bijlage I zijn de berekeningen opgenomen. De kritische afstand per scenario voor de verschillende situaties bij het intrillen van damwanden staan in Tabel 3.3. In bijlage I zijn de analyses per scenario opgenomen.

Uit Tabel 3.4 is af te lezen dat voor scenario 1, bij een gebouw van categorie 1 schade niet kan worden uitgesloten als de trillingsbron binnen 16 m van het gebouw staat. Voor gebouwen van categorie 2 geldt hiervoor een afstand van 44 m. Als de afstand tussen de trillingsbron en het bouwwerk groter is dan 62 m kan naar verwachting schade in alle situaties worden uitgesloten. Tussen de 16 en de 61 m moet aan de hand van het type en de staat van het bouwwerk bekeken worden wat het risico is op schade en of een trillingsarme methode nodig is om schade te voorkomen. Voor de andere twee scenario's geldt dezelfde redenering.

Tabel 3.4 Verwachte kritische afstand bij intrillen van damwanden

Situatie	Kritische afstand (m)	Kritische afstand (m)	Kritische afstand (m)
	scenario 1	scenario 2	scenario 3
gebouwcategorie 1, goede bouwkundige staat	16	9	16
gebouwcategorie 2, goede bouwkundige staat	44	32	46
gebouwcategorie 2, slechte bouwkundige staat en/of monument	62	49	66

# 4

## VERVOLG TRILLINGSONDERZOEK

Op basis van de kritische afstanden in deze trillingsprognose is in beeld worden gebracht bij welke gebouwen langs het dijkversterkingstraject een risico bestaat op schade als gevolg van trillingen. Deze berekeningen gelden voor drie specifieke scenario's en zijn niet toe te passen voor het gehele project gebied.

### Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

- bij woningen binnen de schadecontouren (woningen waarbij de afstand tot de dijk korter is dan de kritische afstand) wordt aangeraden om te kiezen voor een trillingsarme installatie methode, zoals drukken;
- er wordt aangeraden om bij een volgende fase van het ontwerp locatie specifieke berekeningen uit te voeren, waarbij:
  - per locatie de dichtstbijzijnde sonderingen gebruikt worden bij benaderen van de bronkracht en de overdracht naar de woning;
  - een gedetailleerde beoordeling van het gebouw uitgevoerd wordt;
  - aanvullend onderzoek naar zettingen door installatie en trillingen gedaan wordt;
- er wordt aangeraden om de overige werkzaamheden (grondverzet, gebruik van de dumper, etcetera) in beeld te brengen en ook hiervan de risicocontouren te berekenen;
- er wordt geadviseerd om een nulopname te laten uitvoeren van de woningen in gebieden waar de kans op schade aanwezig is;
- er wordt aangeraden om tijdens de werkzaamheden de trillingsniveaus bij de maatgevende gebouwen te monitoren.

# 5

## REFERENTIES

Tabel 5.1 Referenties

Referentie	Omschrijving
ref. 1	CUR166, Damwandconstructies, 6 <sup>e</sup> herziene druk, deel 1, CURNET, juli 2012
ref. 2	CUR166, Damwandconstructies, 6 <sup>e</sup> herziene druk, deel 2, CURNET, juli 2012
ref. 3	SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken: 2017, SBRCURnet, november 2017
ref. 4	Aanscherping trillingsprognoses met nauwkeuriger bepaalde veiligheidsfactoren, B. Rijnveld en A. J. Snethlage, Geotechniek, oktober 2014
ref. 5	Handboek Hei- en trilbaarheid, Palen en damwanden, SBRCURnet, april 2017
ref. 6	SBR Trillingsrichtlijn B: Hinder voor personen in gebouwen, SBRCURnet, herdruk juli 2006
ref. 7	Memo MER trillingen, 3 <sup>e</sup> herziening, Suayip Yurt, 21-09-2022



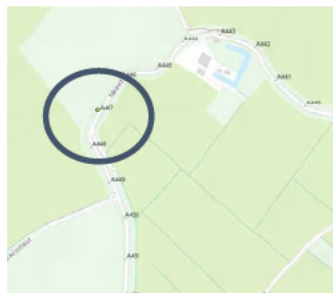
Bijlage(n)



## BIJLAGE: BEREKENINGEN KRITISCHE AFSTAND

## OVERZICHT SCHADEPREDICTIE

adres	--
woonplaats	Dieden
bouwjaar	--
monument	--
type	verblijfsobject
functie	woonfunctie
fundering	onbekend
materiaal vloeren	onbekend
afwerking gevel	onbekend
positie tov dijk	onbekend



### Uitgangspunten analyse ontvanger

gebouwcategorie	1
bouwkundige status	normaal
monumentale status	normaal
trillings gevoelige fundering	normaal
overdrachtsfactor fundering	0.7

### Grenswaarden ontvanger

draagconstructie begane grond	amplitude snelheid	Vr	13.60 mm/s
fundering	amplitude snelheid	Vr	5.00 mm/s
	amplitude versnelling	ar	1.0 m/s <sup>2</sup>

### SBR-A schadeverwachting

draagconstructie begane grond	amplitude snelheid	Vd/Vr	1.0 *
-------------------------------	--------------------	-------	-------

\* Vd/Vr < 1 kans op schade aanvaardbaar klein  
 \*\* Vd/Vr > 1 kans op schade

## OVERZICHT REKENWAARDE TRILLINGSSNELHEID

### Gegevens bron

damplank	AZ26-700
diepte plank	-3 m
lengte plank	13 m
weerstandsmoment damwand	2600 cm <sup>3</sup> /m
sondering	CPT000000167718
niveau kruin	10.22 m

### Uitgangspunten analyse brontrillingen

max. bronkracht	2000 kN
qc_gem	10 MPa
frequentie	38 Hz
gecorrigeerd weerstandsmoment	2063 cm <sup>3</sup> /m

trillingsamplitude bron op r0=5m	
bij 99% betrouwbaarheidsindex	26.2 mm/s

### Uitgangspunten analyse overdracht naar ontvanger

referentie afstand	5 m
frequentie	38 Hz
afstand tot pand	16 m
schuifgolfsnelheid	124 m/s
dempingsmaat	0.01 -
karacteristieke dempingsconstante	0.02 -

### Berekening trillingsniveau bij ontvanger

rekenwaarde amplitude maaiveld		
99% betrouwbaarheidsindex		11.8 mm/s
rekenwaarde amplitude draagconstructie		
99% betrouwbaarheidsindex	V top	8.3 mm/s
rekenwaarde trillingsnelheid	Vd	13.3 mm/s
rekenwaarde amplitude fundering		
99% betrouwbaarheidsindex	V top	8.3 mm/s
rekenwaarde trillingsnelheid	Vd	13.3 mm/s
rekenwaarde versnelling fundering		
99% betrouwbaarheidsindex	a top	2.0 m/s <sup>2</sup>
rekenwaarde versnelling	ad	3.2 m/s <sup>2</sup>

## OVERZICHT SCHADEPREDICTIE

adres	--
woonplaats	Dieden
bouwjaar	--
monument	--
type	verblijfsobject
functie	woonfunctie
fundering	onbekend
materiaal vloeren	onbekend
afwerking gevel	onbekend
positie tov dijk	onbekend



### Uitgangspunten analyse ontvanger

gebouwcategorie	2
bouwkundige status	normaal
monumentale status	normaal
trillings gevoelige fundering	normaal
overdrachtsfactor fundering	0.7

### Grenswaarden ontvanger

draagconstructie begane grond	amplitude snelheid	Vr	4.80 mm/s
fundering	amplitude snelheid	Vr	5.00 mm/s
	amplitude versnelling	ar	1.0 m/s <sup>2</sup>

### SBR-A schadeverwachting

draagconstructie begane grond	amplitude snelheid	Vd/Vr	1.0 *
-------------------------------	--------------------	-------	-------

\* Vd/Vr < 1 kans op schade aanvaardbaar klein  
 \*\* Vd/Vr > 1 kans op schade

## OVERZICHT REKENWAARDE TRILLINGSSNELHEID

### Gegevens bron

damplank	AZ26-700
diepte plank	-3 m
lengte plank	13 m
weerstandsmoment damwand	2600 cm <sup>3</sup> /m
sondering	CPT000000167718
niveau kruin	10.22 m

### Uitgangspunten analyse brontrillingen

max. bronkracht	2000 kN
qc_gem	10 MPa
frequentie	38 Hz
gecorrigeerd weerstandsmoment	2063 cm <sup>3</sup> /m

trillingsamplitude bron op r0=5m	
bij 99% betrouwbaarheidsindex	26.2 mm/s

### Uitgangspunten analyse overdracht naar ontvanger

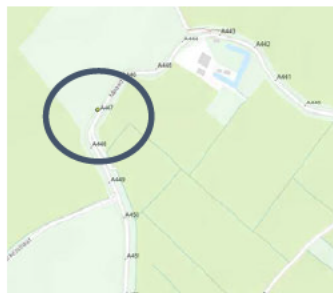
referentie afstand	5 m
frequentie	38 Hz
afstand tot pand	44 m
schuifgolfsnelheid	124 m/s
dempingsmaat	0.01 -
karacteristieke dempingsconstante	0.02 -

### Berekening trillingsniveau bij ontvanger

rekenwaarde amplitude maaiveld		
99% betrouwbaarheidsindex		4.2 mm/s
rekenwaarde amplitude draagconstructie		
99% betrouwbaarheidsindex	V top	2.9 mm/s
rekenwaarde trillingssnelheid	Vd	4.7 mm/s
rekenwaarde amplitude fundering		
99% betrouwbaarheidsindex	V top	2.9 mm/s
rekenwaarde trillingssnelheid	Vd	4.7 mm/s
rekenwaarde versnelling fundering		
99% betrouwbaarheidsindex	a top	0.7 m/s <sup>2</sup>
rekenwaarde versnelling	ad	1.1 m/s <sup>2</sup>

## OVERZICHT SCHADEPREDICTIE

adres	--
woonplaats	Dieden
bouwjaar	--
monument	monument
type	verblijfsobject
functie	woonfunctie
fundering	onbekend
materiaal vloeren	onbekend
afwerking gevel	onbekend
positie tov dijk	onbekend



### Uitgangspunten analyse ontvanger

gebouwcategorie	2
bouwkundige status	gevoelig
monumentale status	monument
trillings gevoelige fundering	normaal
overdrachtsfactor fundering	0.7

### Grenswaarden ontvanger

draagconstructie begane grond	amplitude snelheid	Vr	2.82 mm/s
fundering	amplitude snelheid	Vr	2.94 mm/s
	amplitude versnelling	ar	1.0 m/s <sup>2</sup>

### SBR-A schadeverwachting

draagconstructie begane grond	amplitude snelheid	Vd/Vr	1.0 *
-------------------------------	--------------------	-------	-------

\* Vd/Vr < 1 kans op schade aanvaardbaar klein  
 \*\* Vd/Vr > 1 kans op schade

## OVERZICHT REKENWAARDE TRILLINGSSNELHEID

### Gegevens bron

damplank	AZ26-700
diepte plank	-3 m
lengte plank	13 m
weerstandsmoment damwand	2600 cm <sup>3</sup> /m
sondering	CPT000000167718
niveau kruin	10.22 m

### Uitgangspunten analyse brontrillingen

max. bronkracht	2000 kN
qc_gem	10 MPa
frequentie	38 Hz
gecorrigeerd weerstandsmoment	2063 cm <sup>3</sup> /m

trillingsamplitude bron op r0=5m	
bij 99% betrouwbaarheidsindex	26.2 mm/s

### Uitgangspunten analyse overdracht naar ontvanger

referentie afstand	5 m
frequentie	38 Hz
afstand tot pand	62 m
schuifgolfsnelheid	124 m/s
dempingsmaat	0.01 -
karakteristieke dempingsconstante	0.02 -

### Berekening trillingsniveau bij ontvanger

rekenwaarde amplitude maaiveld		
99% betrouwbaarheidsindex		2.5 mm/s
rekenwaarde amplitude draagconstructie		
99% betrouwbaarheidsindex	V top	1.7 mm/s
rekenwaarde trillingsnelheid	Vd	2.8 mm/s
rekenwaarde amplitude fundering		
99% betrouwbaarheidsindex	V top	1.7 mm/s
rekenwaarde trillingsnelheid	Vd	2.8 mm/s
rekenwaarde versnelling fundering		
99% betrouwbaarheidsindex	a top	0.4 m/s <sup>2</sup>
rekenwaarde versnelling	ad	0.7 m/s <sup>2</sup>

## OVERZICHT SCHADEPREDICTIE

adres	--
woonplaats	Megen
bouwjaar	--
monument	monument
type	verblijfsobject
functie	woonfunctie
fundering	onbekend
materiaal vloeren	onbekend
afwerking gevel	onbekend
positie tov dijk	onbekend



### Uitgangspunten analyse ontvanger

gebouwcategorie	2
bouwkundige status	gevoelig
monumentale status	monument
trillings gevoelige fundering	normaal
overdrachtsfactor fundering	0.7

### Grenswaarden ontvanger

draagconstructie begane grond	amplitude snelheid	Vr	2.82 mm/s
fundering	amplitude snelheid	Vr	2.94 mm/s
	amplitude versnelling	ar	1.0 m/s <sup>2</sup>

### SBR-A schadeverwachting

draagconstructie begane grond	amplitude snelheid	Vd/Vr	1.0 *
-------------------------------	--------------------	-------	-------

\* Vd/Vr < 1 kans op schade aanvaardbaar klein  
 \*\* Vd/Vr > 1 kans op schade

## OVERZICHT REKENWAARDE TRILLINGSSNELHEID

### Gegevens bron

damplank	AZ28-700
diepte plank	-3 m
lengte plank	13.5 m
weerstandsmoment damwand	2760 cm <sup>3</sup> /m
sondering	CPT000000167864
niveau kruin	10.8 m

### Uitgangspunten analyse brontrillingen

max. bronkracht	1150 kN
qc_gem	10 MPa
frequentie	38 Hz
gecorrigeerd weerstandsmoment	2190 cm <sup>3</sup> /m

trillingsamplitude bron op r0=5m	
bij 99% betrouwbaarheidsindex	17.0 mm/s

### Uitgangspunten analyse overdracht naar ontvanger

referentie afstand	5 m
frequentie	38 Hz
afstand tot pand	49 m
schuifgolfsnelheid	137 m/s
dempingsmaat	0.01 -
karacteristieke dempingsconstante	0.02 -

### Berekening trillingsniveau bij ontvanger

rekenwaarde amplitude maaiveld		
99% betrouwbaarheidsindex		2.5 mm/s
rekenwaarde amplitude draagconstructie		
99% betrouwbaarheidsindex	V top	1.8 mm/s
rekenwaarde trillingsnelheid	Vd	2.8 mm/s
rekenwaarde amplitude fundering		
99% betrouwbaarheidsindex	V top	1.8 mm/s
rekenwaarde trillingsnelheid	Vd	2.8 mm/s
rekenwaarde versnelling fundering		
99% betrouwbaarheidsindex	a top	0.4 m/s <sup>2</sup>
rekenwaarde versnelling	ad	0.7 m/s <sup>2</sup>

## OVERZICHT SCHADEPREDICTIE

adres	--
woonplaats	Megen
bouwjaar	--
monument	monument
type	verblijfsobject
functie	woonfunctie
fundering	onbekend
materiaal vloeren	onbekend
afwerking gevel	onbekend
positie tov dijk	onbekend



### Uitgangspunten analyse ontvanger

gebouwcategorie	2
bouwkundige status	gevoelig
monumentale status	monument
trillings gevoelige fundering	normaal
overdrachtsfactor fundering	0.7

### Grenswaarden ontvanger

draagconstructie begane grond	amplitude snelheid	Vr	2.82 mm/s
fundering	amplitude snelheid	Vr	2.94 mm/s
	amplitude versnelling	ar	1.0 m/s <sup>2</sup>

### SBR-A schadeverwachting

draagconstructie begane grond	amplitude snelheid	Vd/Vr	1.0 *
-------------------------------	--------------------	-------	-------

\* Vd/Vr < 1 kans op schade aanvaardbaar klein  
 \*\* Vd/Vr > 1 kans op schade

## OVERZICHT REKENWAARDE TRILLINGSSNELHEID

### Gegevens bron

damplank	AZ32-700
diepte plank	-6 m
lengte plank	17 m
weerstandsmoment damwand	3200 cm <sup>3</sup> /m
sondering	CPT000000167864
niveau kruin	10.8 m

### Uitgangspunten analyse brontrillingen

max. bronkracht	2000 kN
qc_gem	10 MPa
frequentie	38 Hz
gecorrigeerd weerstandsmoment	2539 cm <sup>3</sup> /m

trillingsamplitude bron op r0=5m	
bij 99% betrouwbaarheidsindex	26.2 mm/s

### Uitgangspunten analyse overdracht naar ontvanger

referentie afstand	5 m
frequentie	38 Hz
afstand tot pand	66 m
schuifgolfsnelheid	137 m/s
dempingsmaat	0.01 -
karacteristieke dempingsconstante	0.02 -

### Berekening trillingsniveau bij ontvanger

rekenwaarde amplitude maaiveld		
99% betrouwbaarheidsindex		2.5 mm/s
rekenwaarde amplitude draagconstructie		
99% betrouwbaarheidsindex	V top	1.7 mm/s
rekenwaarde trillingsnelheid	Vd	2.8 mm/s
rekenwaarde amplitude fundering		
99% betrouwbaarheidsindex	V top	1.7 mm/s
rekenwaarde trillingsnelheid	Vd	2.8 mm/s
rekenwaarde versnelling fundering		
99% betrouwbaarheidsindex	a top	0.4 m/s <sup>2</sup>
rekenwaarde versnelling	ad	0.7 m/s <sup>2</sup>