

NOTITIE

Onderwerp	Trillingsanalyse RWZI Haarlem Waarderpolder
Project	HWP waterlijn en deelstroombehandeling
Opdrachtgever	Hoogheemraadschap van Rijnland
Projectcode	135467
Status	Definitief 02
Datum	29 januari 2026
Referentie	135467/26-001.353
Auteur(s)	A. Hoekstra MSc

Gecontroleerd door	Ir. T. Aelen, ir. A. Bougioukos
Goedgekeurd door	Ir. J.F. Kramer
Paraaf	

Bijlage(n)	I Sonderingen II Panden
------------	----------------------------

Aan	Hoogheemraadschap van Rijnland
Kopie	-

1 INLEIDING

Het project betreft de renovatie en nieuwbouw van de rioolwaterzuiveringsinstallatie Haarlem Waarderpolder gelegen in Haarlem. Ten behoeven van het project wordt er een MER (milieueffect rapportage) opgesteld om te bepalen wat het effect op de omgeving is. Deze notitie is ter onderbouwing van het effect van de trillingen van de aanlegfase op de omgeving. In het MER worden 4 verschillende varianten en een basis variant beschouwd. Echter is voor trillingen enkel de basis variant beschouwd, dit omdat de overige varianten niet leiden tot extra of andere trillingsbronnen.

Het ontwerp omvat onder andere funderingspalen die door middel van heien worden geïnstalleerd en een damwandinstallatie die trillend wordt aangebracht. Tijdens deze werkzaamheden kunnen trillingen worden geïntroduceerd die de streefwaarden voor schade aan gebouwen en hinder voor mensen overschrijden. In dit document worden de risicocontouren voor schade en hinder afgeleid ten gevolge van het heidend installeren van palen en het trillend installeren damwanden.

1.1 Doel van dit document

Het doel van dit document is het vastleggen van de uitgangspunten, de berekeningsaanpak en de resultaten van een trillingsanalyse, zijnde de risicocontouren voor schade aan panden en hinder voor personen als gevolg van trillingen.

Deze risicocontouren geven een globale indicatie van het schade- en hinderrisico aan de nabije omgeving als het gevolg van de werkzaamheden. Een resultaat van de trillingsanalyse is de minimale afstand van de trillingsbron tot de bebouwing waarop het risico op schade en/of hinder acceptabel klein is.

Op basis van de uitkomsten van dit onderzoek kunnen de risico's voor de uitvoeringsmethode wat betreft trillingen worden ingeschat. Hierdoor kan een afweging worden gemaakt of de geplande werkzaamheden mogelijk zijn, of er nog aanvullende analyses nodig zijn of dat er moet worden gekeken naar een alternatieve, trillingsarme installatietechniek. In dit rapport wordt bij de risico's enkel gekeken naar panden in de omgeving van de zuiveringsinstallatie. Trillingen op objecten van de bestaande zuivering worden niet in beschouwing genomen. Daarnaast wordt mogelijke hinder als gevolg van geluid ook niet meegenomen in dit rapport.

2 UITGANGSPUNTEN

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste uitgangspunten voor het bepalen van de risicocontouren toegelicht, volgens de geldende richtlijnen van de SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken [ref. 5] en de SBR Trillingsrichtlijn B: Hinder voor personen in gebouwen [ref. 6]. In paragraaf 2.1 worden de locatie en werkzaamheden toegelicht. Vervolgens worden in respectievelijk paragraaf 2.3 en 2.2 de geotechnische informatie en informatie over de panden beschreven.

2.1 Locatie en werkzaamheden

Een schematische weergave van de projectlocatie is gegeven in afbeelding 2.1 en afbeelding 2.2. In afbeelding 2.1 geven de rode vlakken aan waarbinnen palen voor fundering moeten worden geheid. Het gaat om 362 prefab beton CEMII3A palen met een afmeting van 350x350 mm, die tot een diepte van NAP -21,5 m in de grond moeten worden ingebracht. De dominante frequentie voor heiwerkzaamheden zijn 10 Hz. Er bevindt zich een woonhuis met manege op ongeveer 40 meter afstand loodrecht gemeten vanaf de grenzen van het aanbrengvlak nummer 4 van de funderingspalen. Hierna bevindt de dichtstbijzijnde bebouwing (aan de straat) zich op ongeveer 50 meter loodrecht gemeten vanaf de grenzen van aanbrengvlak nummer 1.

Afbeelding 2.1 Schematische weergave van de projectlocatie. Binnen de rode vlakken moeten prefab betonpalen worden geheid



Daarnaast wordt een damwandinstallatie toegepast. De locatie hiervoor staat in het rood weergegeven in afbeelding 2.2. De planktypes en inbrengdiepte zijn nog niet in detail vastgelegd, maar er kan worden uitgegaan van stalen damwanden tot een diepte van circa NAP -11 m. De dichtstbijzijnde woning (woonhuis met manege) bevindt zich op ongeveer 80 meter afstand. Standaard wordt bij het intrillen van dubbele stalen damwandplanken gebruik gemaakt van hoogfrequent (38 Hz) trilblokken. In de predicties in dit document is uitgegaan van een frequentie van 30 Hz, omdat in de praktijk de frequentie van de trilblokken lager uit kunnen vallen.

Tenslotte worden er ook tijdelijke damwanden ten behoeve van kabels en leidingen geplaatst. Deze damwanden worden aangebracht door elektrisch te drukken. Dit wordt als een trillingsarme methode beschouwd en de aanbreng van deze damwanden hoeven daarom niet meegenomen te worden in de trillingsanalyse voor risico op schade en/of hinder.

Afbeelding 2.2 Schematische weergave van de projectlocatie. Binnen de oranje vlakken moeten damwanden worden aangebracht



In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de afstanden van de verschillende aanbrengvlakken voor heien en intrillen tot de dichtstbijzijnde bebouwing. Bij het raadplegen van deze tabel moet er rekening mee worden gehouden dat deze afstanden slechts bij benadering zijn.

Tabel 2.1 Overzicht van de kleinste afstand van de bron tot de bebouwing voor de verschillende aanbrengvlakken

No Aanbrengvlak	Werkzaamheden	Kleinste afstand tot bebouwing straat [m]	Kleinste afstand tot woning manege [m]
1	heien funderingspalen	50	> 180
2	heien funderingspalen	75	160
3	heien funderingspalen	100	80
4	heien funderingspalen	160	40
5	heien funderingspalen	> 180	100
6	intrillen damwandinstallatie	> 180	80
7	intrillen damwandinstallatie	> 180	160

2.2 Uitgangspunten bebouwing

De grenswaarden voor trillingen waarop wordt getoetst verschillen per situatie en pand en worden vastgesteld volgens de trillingsrichtlijn SBR-A [ref. 5]. De beoordeling van de panden nabij de beschouwde locatie is uitgevoerd op basis van logische aannames op basis van het bouwjaar van de panden, waarnemingen op Google Maps en de grondopbouw. Een overzicht van de locatie met afbeeldingen van de panden kan worden gevonden in bijlage II.

Het gaat om een vijftal woningen die zich dichtbij de werkzaamheden bevinden. Daarnaast zijn het voornamelijk bedrijfspanden in de nabijgelegen omgeving. Er zijn geen speciale factoren die erop duiden dat de panden extra trillingsgevoelig zijn, daarom is de bouwkundige status 'normaal' aangenomen (voor de bouwkundige status, zie paragraaf 3.3.2). Er zijn geen aanvullende gegevens over de draagconstructie. Op basis van de waarnemingen via Google Maps is uitgegaan dat de dichtstbijzijnde bebouwing van metselwerk is, waardoor de panden volgens de SBR-A [ref. 5] kunnen worden beschouwd als gebouwcategorie 2 (voor de categorieën, zie paragraaf 3.3.2). Het type fundering en vloermateriaal is niet bekend, maar vanwege het feit dat het vrij nieuwe woningen zijn is het aannemelijk dat de fundering op palen is en de vloeren van beton. Daarom is dit als uitgangspunt genomen in de predicties.

2.3 Uitgangspunten geotechniek

De bodemopbouw heeft invloed op de trillingen bij het heien en intrillen van constructies, zowel op de sterkte van de brontrilling, als op de voorplanting van de golven tussen bron en ontvanger. In bijlage I zijn drie representatieve bodemprofielen op de projectlocatie weergegeven. De bodem bestaat uit een deklaag van ongeveer 3 meter van zand, dan 2 meter zachtere bodemlagen en vervolgens voornamelijk zandlagen.

De voorplantingssnelheid van trillingen in matig tot vast gepakt zand is rond de 200 m/s. In tabel 2.2 staan de uitgangspunten voor de bodemversnelling weergegeven voor het heien en intrillen van constructies. Het blijkt uit verschillende relaties en veldproeven [ref. 3] [ref. 4] dat de bodemversnelling waardes heeft tussen circa 0,1 en 0,3 g (valversnelling = $9,81 \text{ m/s}^2$). Bij een bodemversnelling lager dan 0,1 g vindt geen verdichting plaats, waardoor het installeren van het object niet mogelijk is. Bij waardes van de bodemversnelling hoger dan 0,3 g vindt sterke vervorming van de bodem plaats, wat zorgt voor een sterke demping van de trillingen. De verdichtingszone heeft een lengte van ongeveer 1 meter. Voor het intrillen van een damwandinstallatie in vaste zandlagen wordt de maximale bodemversnelling van 0,3 g op 1 meter van de bron aangehouden. Het blijkt in de praktijk dat bij heien deze waarde niet wordt gehaald. Daarom wordt hierbij een bodemversnelling van 0,2 g op 1 meter van de bron als uitgangspunt genomen.

Tabel 2.2 Uitgangspunten voor de bodemversnelling bij het installeren van een object

	Bodemversnelling [g]
heien funderingspalen	0,2
intrillen damwandinstallatie	0,3

3 REKENMETHODE TRILLINGSPREDICTIE EN RISICOCONTOUREN

In dit hoofdstuk wordt de berekeningsaanpak beschreven voor de trillingspredictie en het bepalen van de risicocontouren. Deze methode en toetsing is gedaan volgens de SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken [ref. 5] en SBR Trillingsrichtlijn B: Hinder voor personen in gebouwen [ref. 6]. In paragraaf 3.1 wordt een globaal overzicht van de berekeningsaanpak gegeven, die in de paragrafen daarna verder wordt toegelicht.

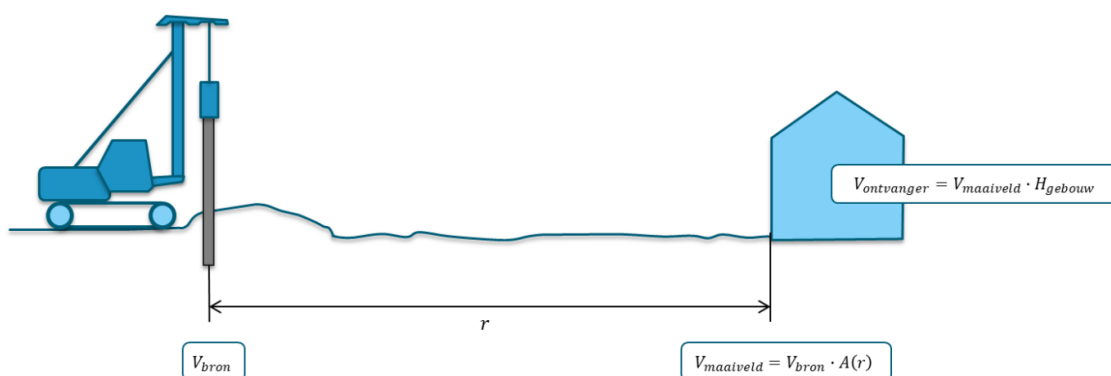
3.1 Werkwijze trillingspredictie en risicocontouren

De berekeningsaanpak kan worden opgedeeld in de volgende onderdelen:

- 1 bepalen van de bronsterkte. Dit is afhankelijk de installatiemethode en de lokale grondeigenschappen;
- 2 bepalen van de trillingsoverdracht van de bron naar de plaats van ontvanger (het pand). Dit is wordt bepaald door de grondeigenschappen en is afhankelijk van de afstand;
- 3 bepalen van de trillingsniveaus in het pand;
- 4 bepalen van de grenswaardes:
 - a voor schade van het pand gebaseerd op de eigenschappen van het pand en de trillingsbron;
 - b voor hinder voor personen gebaseerd op type trilling, tijdstip en duur van de trilling;
- 5 toetsing van de berekende trillingsniveaus in het pand met de grenswaardes.

De trillingspredictie, inclusief het bepalen van de bronsterkte, de overdracht door de ondergrond en de trillingsoverdracht naar de fundering en vloeren van het pand, wordt beschreven in paragraaf 3.2. Dit staat schematisch weergegeven in afbeelding 3.1. Vervolgens wordt het beoordelingskader voor toetsing en de grenswaarden voor schade aan de panden (SBR deel A, ref. 5) toegelicht in paragraaf 3.3. Het beoordelingskader voor toetsing en de grenswaarden voor hinder voor personen (SBR deel B, ref. 6) worden uitgewerkt in paragraaf 3.4. Gebaseerd op de grenswaardes en de trillingspredictie wordt de kritische afstand van de trillingsbron tot de woning bepaald waarbinnen er sprake is van een reëel risico op schade en/of hinder als gevolg van deze trillingsbron. De werkwijze is uitgevoerd voor zowel het heien van palen als het intrillen van damwanden.

Afbeelding 3.1 Schematische weergave van de trillingsoverdracht van bron naar ontvanger



3.2 Brontrillingen

Zoals beschreven in paragraaf 2.3 wordt voor het heien van funderingspalen een bodemversnelling van 0,2 g op 1 meter van de bron aangenomen, en voor het intrillen van damwandplanken een versnelling van 0,1 g op 1 meter van de bron.

3.2.1 Overdracht door ondergrond

De trillingen die ontstaan bij de bron verspreiden zich via de bodem, waarbij de trillingsamplitude afneemt door zowel geometrische demping en materiaal demping. De Barkan relatie combineert deze twee dempingen. De CUR166 [ref. 2] geeft de volgende variant van deze overdrachtsrelatie:

$$A(r) = \sqrt{\frac{R_0}{R}} \exp(-\alpha(R - R_0)).$$

Hierbij is R_0 de referentieafstand voor de trillingssterkte $V_{0,corr}$ en α is de frequentieafhankelijke materiaaldemping. De materiaaldemping is 0,013 voor heien (dominante frequentie 10 Hz) en 0,038 voor intrillen (dominante frequentie 30 Hz), uitgaande van een dempingratio van 0,04 en een voortplantingssnelheid van 200 m/s (zie paragraaf 2.3). Bij een kleine trillingsamplitude treedt niet langer materiaal demping op, omdat er niet genoeg energie beschikbaar is om de zandstructuur voldoende te vervormen om de trilling door te geven. In de predictie is de materiaaldemping als nul genomen bij een trillingsamplitude kleiner dan 1 mm/s.

3.2.2 Gebouwoverdracht

De trillingen worden vanaf de bodem overgedragen naar de fundering van een pand. Hierbij kunnen de trillingen worden gedempt of juist opgeslingerd worden, afhankelijk van het beschouwde constructiedeel. Voor de trillingspredictie wordt gebruik gemaakt van een overdrachtsfactor die de verhouding tussen de trillingssterkte in het gebouw en de trillingssterkte op maaiveld beschrijft. In de CUR166 [ref. 2] wordt dit beschreven als een vermenigvuldiging van een overdrachtsfactor van de bodem naar de fundering en een overdrachtsfactor van de fundering naar vloeren van een gebouw.

Voor de beoordeling van schade aan gebouwen volgens SBR-A [ref. 5] wordt alleen de overdracht van maaiveld naar fundering meegenomen. Dit leidt tot een trillingssnelheid in de fundatie v_{top} die wordt gegeven door:

$$v_{top} = H_{fundering} \cdot v_{bron} \cdot A(r),$$

waarbij de overdracht coëfficiënt $H_{fundering}$ afhankelijk is van de stijfheid van de fundering en de dominante frequentie [ref. 1]. Voor heien is een waarde van 0,9 aangenomen en voor intrillen een waarde van 0,7 (zie tabel 3.1).

Omdat voor trillingshinder met name trillingen op de vloeren van belang zijn, wordt hierbij volgens SBR-B [ref. 6] naast de overdrachtsfactor voor maaiveld naar fundering ook de overdracht van fundering naar vloeren meegenomen. In het geval van continue trillingen wordt het totale trillingsniveau voor de beoordeling van hinder als volgt berekend:

$$v_{max} = 0.64 \cdot H_{fundering} \cdot H_{vloer} \cdot v_{bron} \cdot A(r).$$

De overdracht coëfficiënt H_{vloer} van fundering naar vloeren heeft een waarde van 1,4 voor herhaald kortdurende trillingen (heien) en 1,8 voor continue trillingen (intrillen) bij een betonnen vloer volgens de CUR166 [ref. 2], zie tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waarde voor de overdracht van maaiveld naar fundering ($H_{fundering}$) en fundering naar vloeren (H_{vloer}) voor heien en intrillen. Hierbij is uitgegaan van betonnen vloeren [ref. 2]

	$H_{fundering}$	H_{vloer}
heien funderingspalen	0,9	1,4
intrillen damwandinstallatie	0,7	1,8

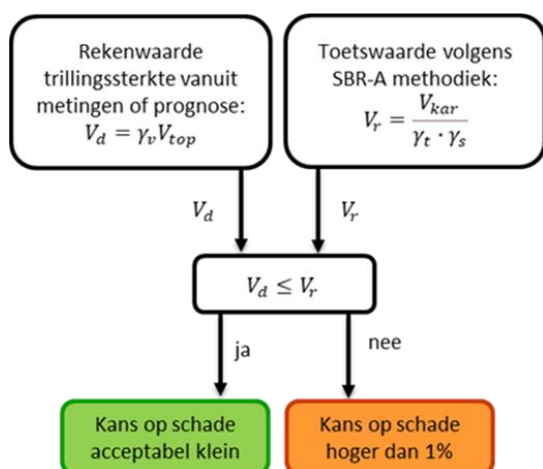
3.3 Beoordelingskader en grenswaarden SBR-A

Het risico op schade aan panden als gevolg van de berekende trillingen uit paragraaf 3.2 wordt getoetst volgens de SBR-richtlijn deel A [ref. 5]. In paragraaf 3.3.1 wordt het beoordelingskader voor de toetsing gegeven. Vervolgens wordt in paragraaf 3.3.2 aangegeven welke grenswaarden zijn gebruikt.

3.3.1 Beoordelingskader

In afbeelding 3.2 is schematisch weergegeven wat de procedure is voor beoordeling van de kans op schade. De trillingssterkte v_{top} op het te toetsen onderdeel volgt uit de predictie als beschreven in de vorige paragrafen en wordt vermenigvuldigd met een partiële veiligheidsfactor γ_v (= 1,6 voor indicatieve meting). In het geval dat de trillingssterkte v_d lager is dan de grenswaarde v_r is de kans op schade acceptabel klein (in de orde grootte 1 % of minder).

Afbeelding 3.2 Beoordelingskader voor kans op schade volgens SBR-A [ref. 5]



3.3.2 Grenswaarden

De grenswaarde v_r hangt af van de staat en gevoeligheid van het bouwwerk en het type trillingsbron:

$$v_r = \frac{1}{\gamma_v} \cdot \frac{v_{kar}}{\gamma_s \cdot \gamma_t},$$

waarbij v_{kar} de karakteristieke grenswaarde aan, γ_s de partiële veiligheidsfactor voor het type trillingsbron en γ_t de partiële veiligheidsfactor voor de bouwkundige staat en de monumentale status aangeeft. Hierbij is de partiële veiligheidsfactor γ_v in dit geval meegenomen in de grenswaarde in plaats van in de rekenwaarde voor de trillingssterkte.

Het SBR-A schrijft in totaal vier toetsen voor, zijnde:

- 1 toets voor schade bij de hoofddraagconstructie;
- 2 toets voor schade bij bovenste verdieping en onderdelen;
- 3 toets op schade bij de fundering op basis van trillingssnelheid van de grond;
- 4 toets op schade bij de fundering op basis van grondversnelling.

In deze analyse is alleen toets 1 uitgevoerd. De tweede toets voor schade van trillingen op de bovenste verdieping en onderdelen die niet tot de draagconstructie behoren niet uitgevoerd vraagt om gedetailleerde kennis over de panden. Omdat in dit project geen sprake is van hele hoge panden, wordt verwacht dat opslingeringseffecten een beperkte rol spelen bij schade bij bovenste verdieping en onderdelen. Toets 3 en 4 moeten worden uitgevoerd in het geval dat de fundering van een bouwwerk trillingsgevoelig is en er kans op zettingen is. Zoals aangegeven in paragraaf 2.2 wordt in deze analyse uitgegaan van bebouwing op palen, waardoor er geen sprake is van een trillingsgevoelige fundering.

De SBR-richtlijn deel A [ref. 5] maakt onderscheid in twee verschillende categorieën bouwwerken, zoals weergegeven in tabel 3.2. Verder wordt een eventuele monumentale status en de bouwkundige staat meegenomen in de veiligheidsfactor γ_s . In het geval dat er sprake is van een monumentaal pand en/of een gevoelige bouwkundige staat is geldt er een waarde van $\gamma_s = 1,7$. In alle andere gevallen geldt een veiligheidsfactor van $\gamma_s = 1$. In dit geval is er enkel sprake van bouwwerken van categorie 2, met een 'normale' bouwkundige staat.

Tabel 3.2 Overzicht indeling van categorieën bouwwerken zoals beschreven in de SBR deel A [ref. 5]

Categorie	Omschrijving
1	- onderdelen van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout - onderdelen van een bouwwerk die een deel uitmaken van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout - draagconstructies van bouwwerken die geen gebouw zijn en bestaan uit metselwerk
2	- onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk - onderdelen van een gebouw die niet tot de draagconstructie behoren, die bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen

Het type trilling kan kortdurend, herhaald kortdurend of continu zijn. Dit is meegenomen in de veiligheidsfactor γ_t bij de beoordeling van risico op schade. De waarden van γ_t voor toets 1 voor de verschillende trilling types zijn gegeven in tabel 3.3. Voor het heien van funderingspalen is er sprake van een 'herhaald kortdurende' trilling en bij intrillen van damwanden is sprake van een 'continue' trilling.

Tabel 3.3 Veiligheidsfactoren voor het type trillingsbron zoals beschreven in de SBR deel A [ref. 5]

Type trilling	Omschrijving	Waarde γ_t
kortdurend	explosie, vallende constructie	1,0
herhaald kortdurend	heien, sloophamers, weg- en railverkeer	1,5
continu	intrillen palen/damwanden, verdichten d.m.v. trilwalsen	2,5

Voor de toetsing van draagconstructie begane grond worden de karakteristieke grenswaarden v_{kar} bepaald met behulp van de gebouwcategorie en de dominante trillingsfrequentie. Voor heien van funderingspalen (frequentie van 10 Hz) en gebouwcategorie 2 geldt een grenswaarde $v_{kar} = 5$ mm/s. Voor intrillen van damwanden (frequentie van 30 Hz) en gebouwcategorie 2 geldt een grenswaarde $v_{kar} = 10$ mm/s.

De uiteindelijke grenswaarden v_r die zijn gehanteerd op basis van de uitgangspunten zoals beschreven in hoofdstuk 2 en de theorie in deze paragraaf staan weergegeven in tabel 3.4.

Tabel 3.4 Grenswaarden v_r voor het heien van funderingspalen en intrillen van damwandplanken op basis van de uitgangspunten zoals beschreven in hoofdstuk 2

	v_{kar} [mm/s]	γ_t	γ_s	γ_v	v_r [mm/s]
heien funderingspalen	5	1,5	1,0	1,6	2,08
intrillen damwandinstallatie	10	2,5	1,0	1,6	2,50

3.4 Beoordelingskader en grenswaarden SBR-B

Het risico op hinder voor personen als gevolg van de berekende trillingen uit paragraaf 3.2 wordt getoetst volgens de SBR-richtlijn deel B [ref. 6]. In paragraaf 3.4.1 wordt het beoordelingskader voor de toetsing gegeven. Vervolgens geeft paragraaf 3.4.2 aan welke grenswaarden zijn gebruikt.

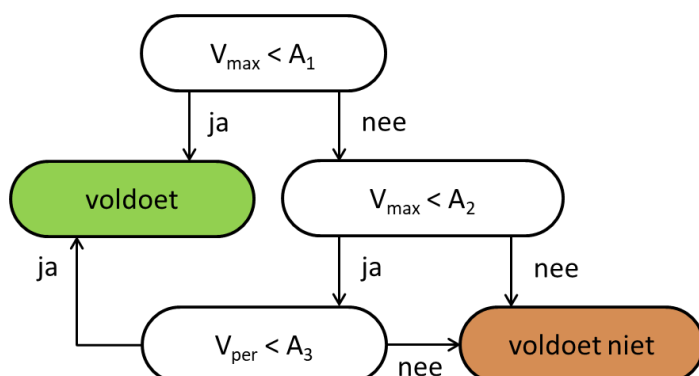
3.4.1 Beoordelingskader

In afbeelding 3.3 is schematisch weergegeven wat de procedure is voor beoordeling van de kans op hinder voor personen. Het maximum van een gewogen voortschrijdende effectieve waarde v_{max} volgt uit de predictie als beschreven in paragraaf 3.2. v_{per} geeft een gemiddelde trillingssterkte over de beoordelingsperiode. Omdat op dit moment nog onbekend is wat de exacte planning van de werkzaamheden is en hoelang de werkzaamheden zullen duren, is toetsing hierop niet mogelijk. Als alternatief is in dit geval niet direct getoetst aan de grenswaarde A_3 , maar wordt er een indicatie gegeven van de intensiteit waarmee de werkzaamheden zouden kunnen plaatsvinden om te voldoen aan het criterium $v_{per} < A_3$. Hiervoor wordt het aantal intervallen k van 30 seconden in de beoordelingsperiode met een maximale trillingssterkte v_{max} berekend, aan de hand van:

$$k = \left(\frac{A_3}{v_{max}} \right)^2 \cdot \frac{T_p}{t_0}$$

Hierin is T_p de tijdsduur van de beoordelingsperiode in seconden en t_0 de lengte van een interval van 30 seconden gegeven volgens de SBR-B richtlijn [ref. 6]. Als het aantal optredende intervallen lager is dan het berekende aantal k dan wordt voldaan aan de eis $v_{per} < A_3$ en voldoet de situatie aan de richtlijn.

Afbeelding 3.3 Beoordelingskader voor kans op hinder volgens SBR-B [ref. 6]



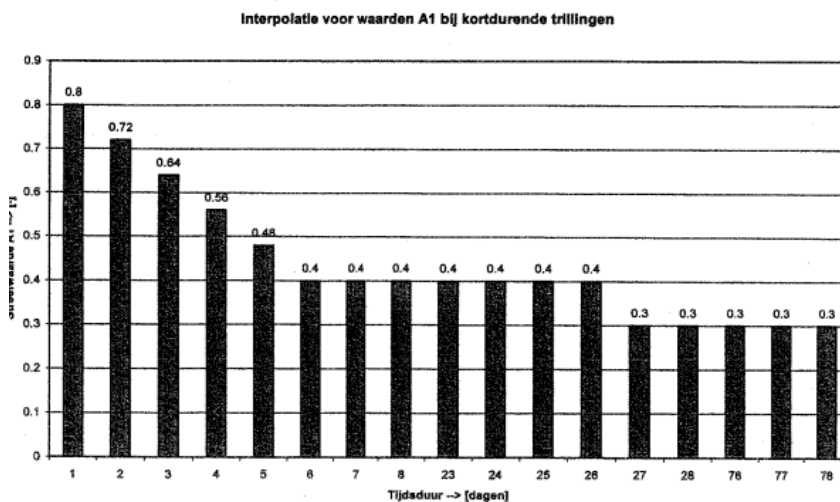
3.4.2 Grenswaarden

De grenswaarden voor hinder voor personen zijn afhankelijk van de gebruiksfunctie van een gebouw en de omstandigheden waaronder en tijdstip waarop de trillingen optreden. Voor continu of herhaald kortdurende trillingen die slechts gedurende een periode van drie maanden of minder overdag van 07.00 tot 19.00 uur voorkomen kunnen tijdelijk voor alle gebouwfuncties hogere waarden worden aangehouden. Deze streefwaarden zijn gegeven in tabel 3.5. Afbeelding 3.4 geeft de geïnterpoleerde waarden van de grenswaarde A_1 als functie van de tijdsduur van de werkzaamheden. Omdat deze verhoogde grenswaarden ruim boven de voelbaarheidsgrens van trillingen ligt, is het waarschijnlijk dat er wel hinder wordt ervaren en wordt voor deze richtlijn aanbevolen om de bewoners vooraf te informeren en hen te betrekken bij de planning van de werkzaamheden.

Tabel 3.5 Streefwaarden voor hinder gedurende de dag voor continue trillingen gedurende een korte periode voor alle gebouwfuncties [ref. 6]

Tijdsduur (overdag)	A_1	A_2	A_3
$D \leq 1$ dag	0,8	6	0,4
6 dagen $< D \leq 26$ dagen	0,4	6	0,3
26 dagen $< D \leq 78$ dagen	0,3	6	0,2

Afbeelding 3.4 Streefwaarden voor A_1 bij continu of herhaald kortdurende trillingen gedurende een korte periode voor alle gebouwfuncties als functie van de tijdsduur van de werkzaamheden [ref. 6]



Voor trillingen die langer dan drie maanden aanhouden of 's avonds (19.00 tot 23.00) of 's nachts (23.00 tot 07.00) optreden gelden strengere normen. Voor de trillingsanalyse van dit project wordt uitgegaan van continue trillingen gedurende een korte periode en kunnen de streefwaarden volgens tabel 3.5 worden gehanteerd.

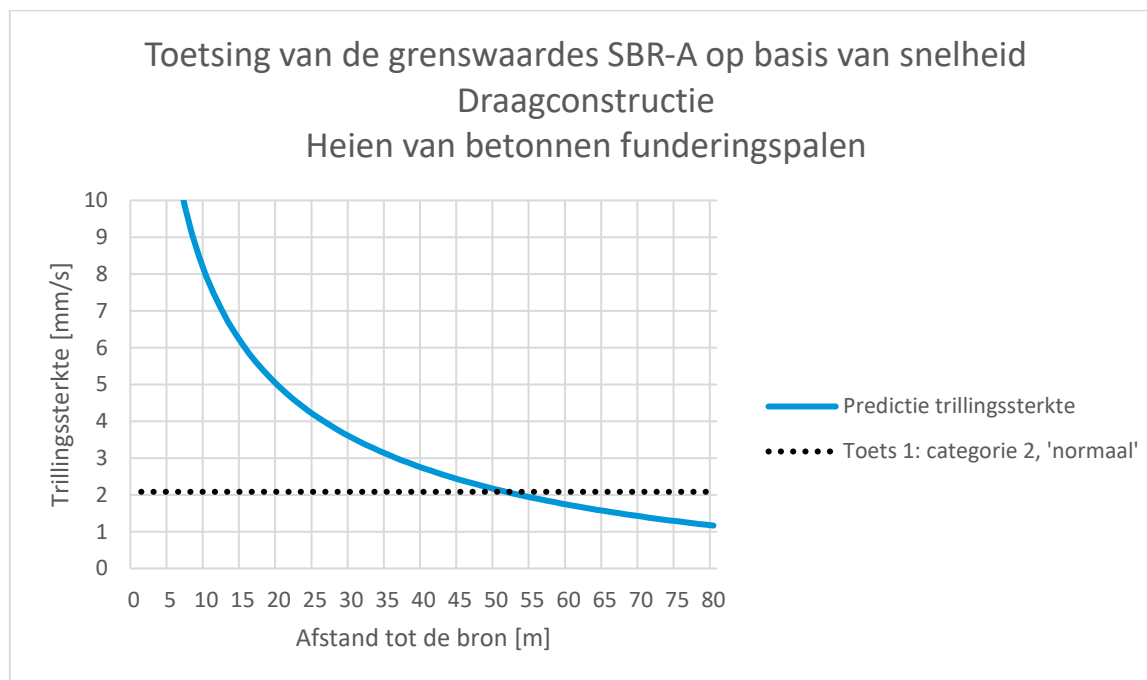
4 BEREKENINGSRESULTATEN

De predicties van de trillingssterkte als functie van de afstand worden getoetst aan de grenswaardes zoals beschreven in paragraaf 3.3 en 3.4. In paragraaf 4.1 worden de resultaten voor het heien van funderingspalen gepresenteerd. In paragraaf 4.2 worden de resultaten voor het intrillen van damwanden gepresenteerd.

4.1 Berekeningsresultaten heien van funderingspalen

De trillingssterkte op de fundering voor het heien van funderingspalen samen met de grenswaarde van toets 1 voor kans op schade (zoals benoemd in hoofdstuk 3) staat weergegeven in afbeelding 4.1. Hierbij is de grenswaarde geldig voor panden van categorie 2 met een bouwkundige status 'normaal', bij een indicatieve meting. Op basis van afbeelding 4.1 kan de kritische afstand worden bepaald. Deze is gedefinieerd als de afstand waarbij het trillingsniveau als gevolg van het heien van de funderingspaal gelijk is aan de grenswaarde. De kritische afstand voor kans op schade door het heien van funderingspalen is 52 meter.

Afbeelding 4.1 Trillingsniveau op fundering van het pand bij heien van funderingspalen



De trillingssterkte op vloerniveau staat weergegeven in afbeelding 4.2, samen met de grenswaardes voor kans op hinder (zoals benoemd in hoofdstuk 3). Voor de grenswaarde A_1 wordt onderscheid gemaakt in een waarde voor werkzaamheden korter dan één dag en werkzaamheden met een duur van 6 tot 26 dagen (zie tabel 3.5 in paragraaf 3.4.2). Voor werkzaamheden met een duur hiertussen gelden geïnterpoleerde streefwaarden A_1 zoals weergegeven in afbeelding 3.4 in paragraaf 3.4.2. De kritische afstanden waarbij de trillingssterkte lager is dan A_1 voor verschillende streefwaardes staan weergegeven in tabel 4.2. Aan de grenswaarde A_2 wordt na 7 meter voldaan.

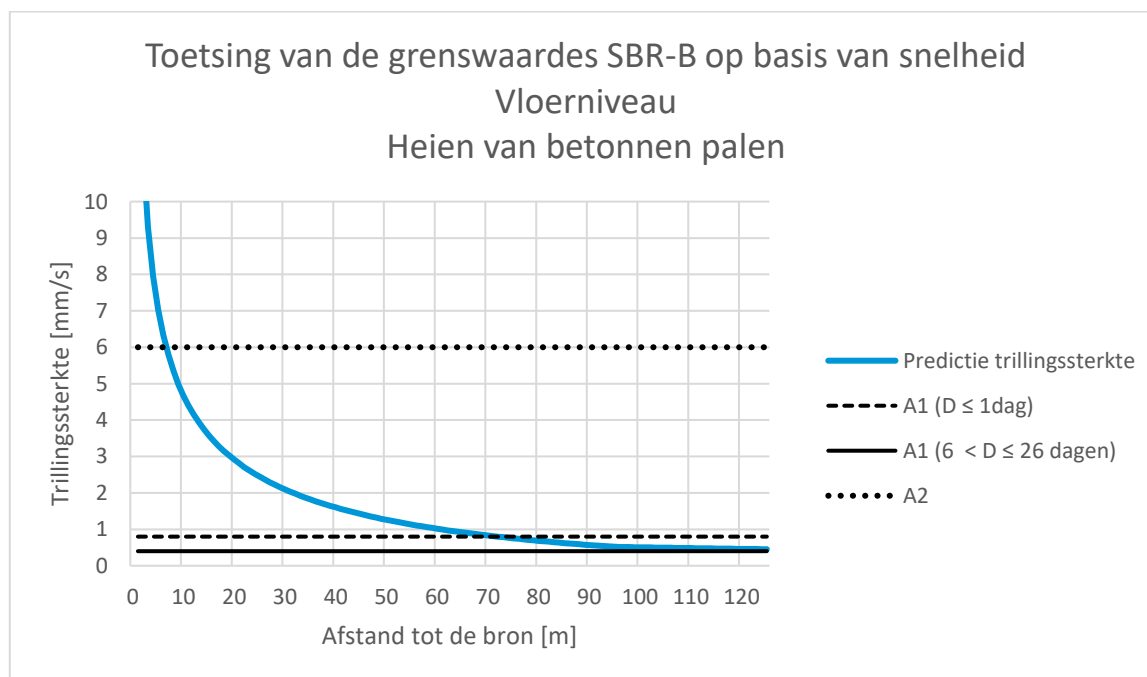
Zoals benoemd kan niet direct worden getoetst aan A_3 wanneer de exacte duur van de werkzaamheden onbekend is. In plaats daarvan kan op basis van de maximale trillingsamplitude het toegestane aantal intervallen van 30 seconden per dag voor het actief heien worden berekend. Dit geeft het toegestane aantal uur heien per dag aan.

In afbeelding 4.3 staat dit weergegeven als functie van de afstand tot de bron voor werkzaamheden korter dan één dag en werkzaamheden met een duur van 6 tot 26 dagen (zie tabel 3.5 in paragraaf 3.4.2 voor de waarden van A_3). Belangrijk is te vermelden dat deze berekening alleen hoeft te worden gebruikt wanneer er niet aan de grenswaarde van A_1 wordt voldaan, maar wel aan A_2 .

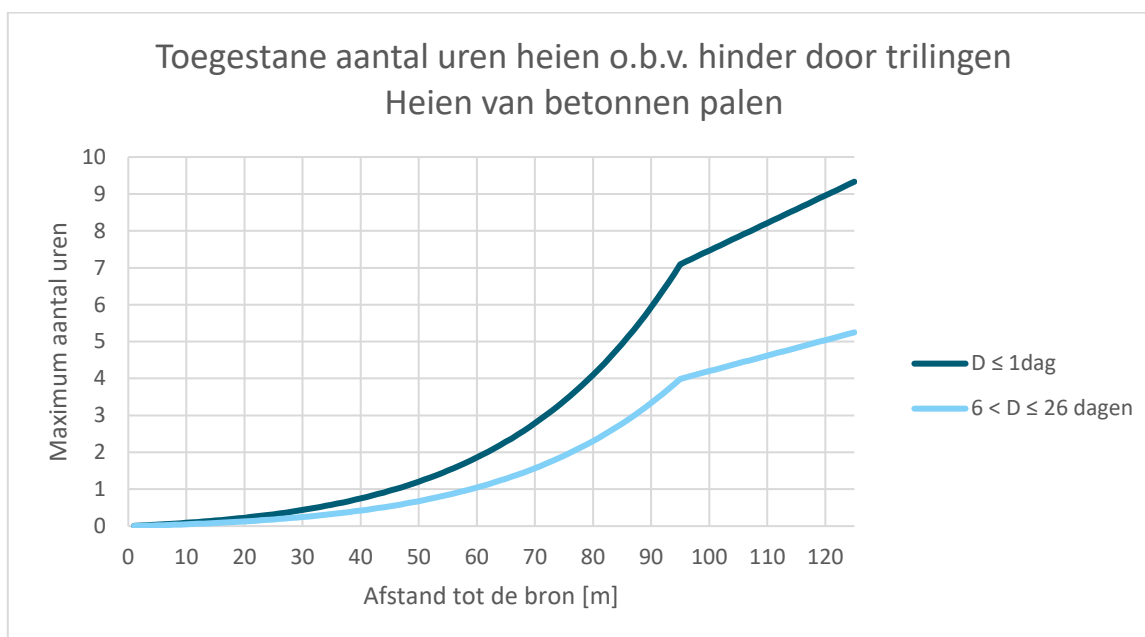
Tabel 4.1 Kritische afstanden o.b.v. de streefwaarde A_1 voor verschillende duur van de werkzaamheden bij heien van funderingspalen

	A_1	Kritische afstand voor A_1 [m]
$D \leq 1$ dag	0,8	72
$1 < D \leq 2$ dagen	0,72	78
$2 < D \leq 3$ dagen	0,64	84
$3 < D \leq 4$ dagen	0,56	91
$4 < D \leq 5$ dagen	0,48	112
$5 < D \leq 26$ dagen	0,4	161

Afbeelding 4.2 Trillingsniveau op vloerniveau van het pand bij heien van funderingspalen



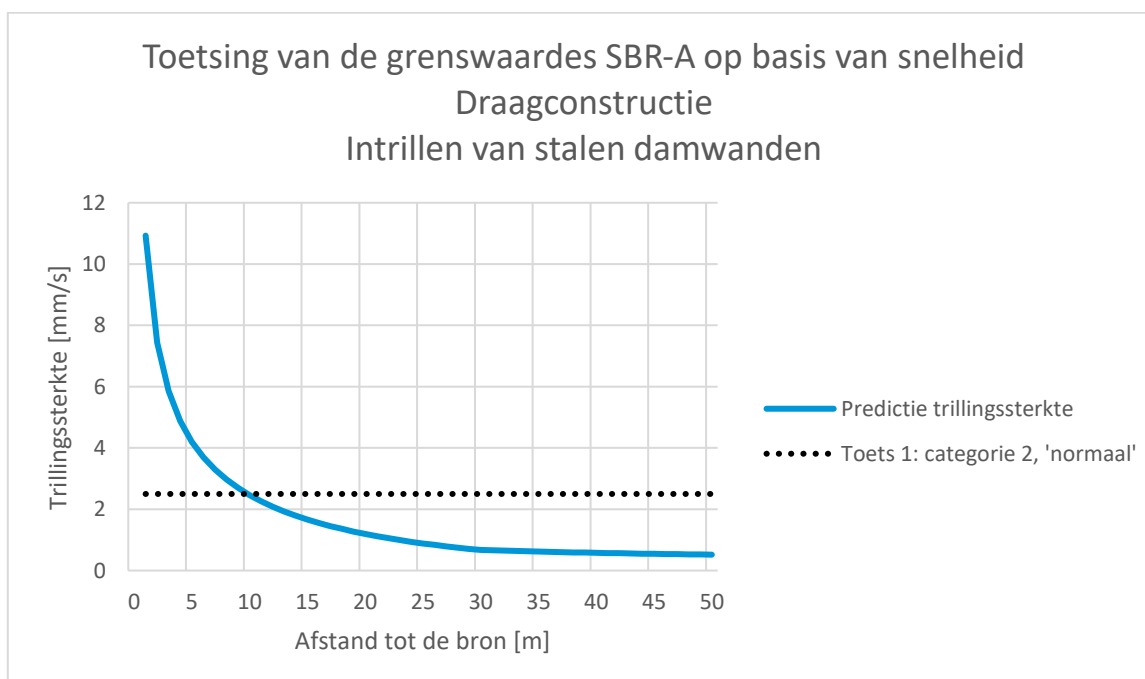
Afbeelding 4.3 Toegestane aantal uren voor werkzaamheden heien van funderingspalen per dag. Deze check moet worden gedaan wanneer het trillingsniveau hoger ligt dan A_1 en lager dan A_2



4.2 Berekeningsresultaten intrillen van damwandinstallatie

De trillingssterkte op de fundering voor het intrillen van de damwandinstallatie samen met de grenswaarde van toets 1 voor kans op schade (zoals benoemd in hoofdstuk 3) staat weergegeven in afbeelding 4.4. Hierbij is de grenswaarde geldig voor panden van categorie 2 met een bouwkundige status 'normaal', bij een indicatieve meting. Op basis van afbeelding 4.4 kan de kritische afstand worden bepaald. De kritische afstand voor kans op schade door het intrillen van de damwandinstallatie is 10 meter.

Afbeelding 4.4 Trillingsniveau op fundering van het pand bij intrillen van damwanden

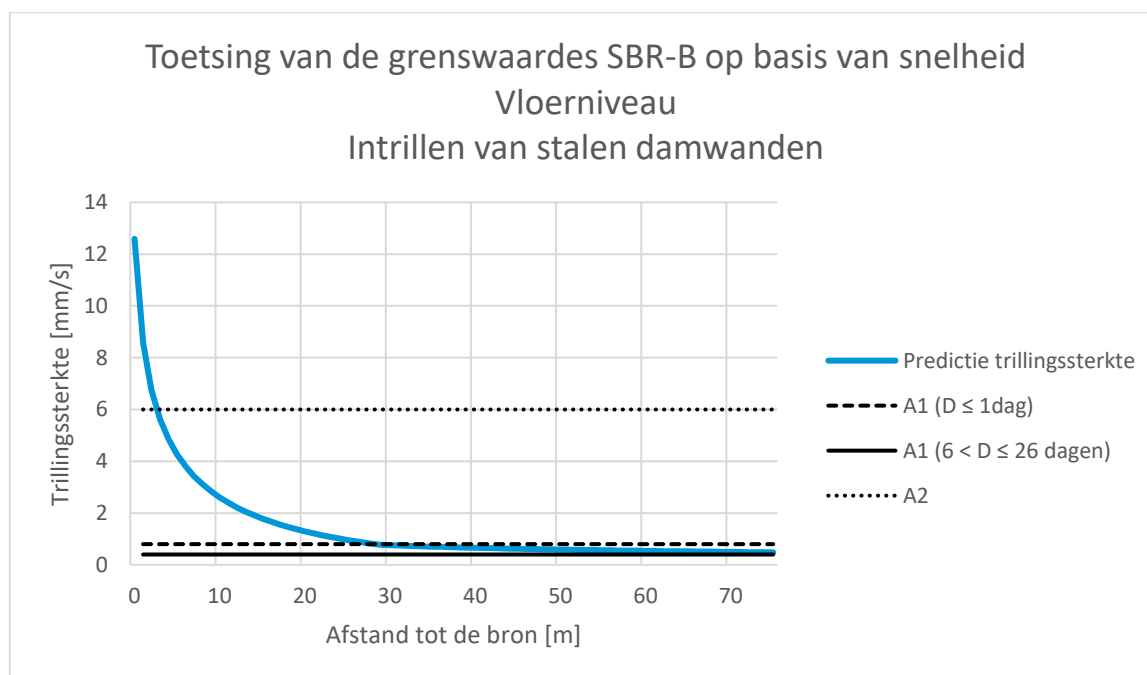


De trillingssterkte op vloerniveau staat weergegeven in afbeelding 4.5, samen met de grenswaardes voor kans op hinder (zoals benoemd in hoofdstuk 3). Voor de grenswaarde A_1 wordt onderscheid gemaakt in en waarde voor werkzaamheden korter dan één dag en werkzaamheden met een duur van 6 tot 26 dagen (zie tabel 3.5 in paragraaf 3.4.2). Voor werkzaamheden met een duur hiertussen gelden de geïnterpoleerde streefwaarden zoals weergegeven afbeelding 3.4 in paragraaf 3.4.2. De kritische afstanden waarbij de trillingssterkte lager is dan A_1 voor verschillende streefwaardes staan weergegeven in tabel 4.2. Aan de grenswaarde A_2 wordt na 4 meter voldaan. Als er niet wordt voldaan aan de grenswaarde A_1 kan er ongeveer 3 uur lang actief worden getrild bij werkzaamheden tussen de 5 en 26 dagen lang.

Tabel 4.2 Kritische afstanden o.b.v. de streefwaarde A_1 voor verschillende duur van de werkzaamheden bij intrillen van damwanden

	A_1	Kritische afstand [m]
$D \leq 1$ dag	0,8	30
$1 < D \leq 2$ dagen	0,72	35
$2 < D \leq 3$ dagen	0,64	44
$3 < D \leq 4$ dagen	0,56	57
$4 < D \leq 5$ dagen	0,48	78
$5 < D \leq 26$ dagen	0,4	112

Afbeelding 4.5 Trillingsniveau op vloerniveau van het pand bij intrillen van damwanden



5 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies

In deze notitie zijn de trillingseffecten voor kans op schade en hinder van de innovatie en renovatie van een rioolwaterzuiveringsinstallatie Haarlem Waarderpolder beoordeeld. Dit is gedaan voor twee vormen van werkzaamheden: het heien van funderingspalen (dominante frequentie van 10 Hz) en het intrillen van damwanden (dominante frequentie van 30 Hz). Uitgangspunt is een bodemprofiel van matig tot vast gepakt zand waar een maximale bodemversnelling van 0,2 g optreedt voor heien en 0,3 g voor trillen. Voor de bebouwing is uitgegaan van panden van gebouwcategorie 2 in normale bouwkundige staat met een fundering op palen en een betonnen vloer.

De kritische afstand voor risico op schade aan een pand door heien van funderingspalen is 52 meter. De kritische afstand voor risico op hinder voor personen door heien van funderingspalen is afhankelijk van de duur van de werkzaamheden, gegeven in tabel 4.1 in paragraaf 4.1. De kritische afstand voor risico op schade aan een pand door intrillen van damwanden is 10 meter. De kritische afstand voor risico op hinder voor personen door intrillen van damwanden is afhankelijk van de duur van de werkzaamheden, gegeven tabel 4.2 in paragraaf 4.2. Tabel 5.1 geeft een overzicht van de beoordeling van de streefwaarden voor de verschillende aanbrengvlakken (zie afbeelding 2.1 en afbeelding 2.2 in paragraaf 2.1) ten opzichte van de dichtstbijzijnde bebouwing aan de straat en het woonhuis met de manege.

Tabel 5.1 Overzicht beoordeling van de streefwaarden voor het heien van funderingspalen, en intrillen van damwandplanken op de verschillende aanbrengvlakken t.o.v. de dichtstbijzijnde bebouwing aan de straat en het woonhuis met de manege

Aanbreng- vlak	Werkzaamheden	Kleinste afstand tot bebouwing [m]	Beoordeling aan de hand van streefwaarden		
			Schade	Hinder	
1	heien funderingspalen	tot straat	50	voldoet niet	voldoet met beperking o.b.v. aantal uur actief heien per dag
		tot woonhuis met manege	> 180	voldoet	voldoet
2	heien funderingspalen	tot straat	75	voldoet	voldoet bij werkzaamheden korter dan 1 dag ¹
		tot woonhuis met manege	160	voldoet	voldoet
3	heien funderingspalen	tot straat	100	voldoet	voldoet bij werkzaamheden korter dan 4 dagen ¹
		tot woonhuis met manege	80	voldoet	voldoet bij werkzaamheden korter dan 2 dagen ¹
4	heien funderingspalen	tot straat	160	voldoet	voldoet
		tot woonhuis met manege	40	voldoet niet	voldoet met beperking o.b.v. aantal uur actief heien per dag
5	heien funderingspalen	tot straat	> 180	voldoet	voldoet
		tot woonhuis met manege	100	voldoet	voldoet bij werkzaamheden korter dan 4 dagen ¹
6	intrillen damwandinstallatie	tot straat	> 180	voldoet	voldoet
		tot woonhuis met manege	80	voldoet	voldoet bij werkzaamheden korter dan 5 dagen ¹

¹ Bij langere duur van de werkzaamheden geldt er een beperking o.b.v. aantal uur actief heien per dag.

Aanbreng- vlak	Werkzaamheden	Kleinste afstand tot bebouwing [m]	Beoordeling aan de hand van streefwaarden	
			Schade	Hinder
7	intrillen damwandinstallatie	tot straat	> 180	voldoet
		tot woonhuis met manege	160	voldoet

5.2 Aanbevelingen voor het heien van funderingspalen

Wanneer de richtlijnen van de SBR deel A worden gevolgd met de uitgangspunten zoals benoemd in deze notitie is het niet mogelijk om binnen een straal van 52 meter van een woning te heien. Dit betekent dat voor een deel van het oppervlak van aanbrengvlak 1 en 4 een schadekans van 1 % wordt overschreden tijdens het heien van de funderingspalen. De grenzen van aanbrengvlak 1 vallen net binnen het risicocontour. De afstanden die in dit rapport zijn aangehouden als kleinste afstand van bron tot bebouwing zijn een schatting. Het is mogelijk om de streefwaardes te verhogen door uitgebreider te monitoren. Dit neemt echter het risico op overschrijding van de streefwaarden niet volledig weg, waardoor het mogelijk aan te bevelen is om van tevoren alternatieve maatregelen te nemen. Dit zou een heiproef kunnen zijn om de trillingssnelheden ter plaatse van de belendingen van tevoren vast te leggen. Een andere optie zou zijn om een ander soort palen voor de objecten in aanbrengvlakken 1 en 4 te gebruiken met een trillingsarme installatiemethode. Voor de overige aanbrengvlakken (2, 3 en 5) wordt er voldaan aan de streefwaarden.

Wat betreft de toetsing op het risico op hinder voor personen door het heien van funderingspalen zijn er beperkingen wat betreft de duur van de werkzaamheden. Voor aanbrengvlak 5 wordt voldaan aan de streefwaardes bij werkzaamheden korter dan 4 dagen. Dit geldt alleen voor een klein gedeelte van het totale oppervlakte, de rest van het aanbrengvlak voldoet volledig aan de streefwaardes bij werkzaamheden binnen 26 dagen. Om te voldoen aan de streefwaardes voor hinder moeten de werkzaamheden bij het aanbrengen van de funderingspalen in aanbrengvlak 2 en 3 binnen ongeveer 2 dagen worden voltooid. Er kan worden gekozen om afspraken te maken met de eigenaren van de dichtstbijzijnde kantoorruimtes/woningen aan de straat of de bewoners van het woonhuis met manege over tijdelijk verblijf elders om de duur van de werkzaamheden te vergroten wanneer de streefwaardes worden overschreden. Dit zou ook een oplossing kunnen bieden voor aanbrengvlak 1 en 4, die zich dichtbij de bebouwing bevinden en beperkingen geven in de toegestane duur van de trillingen. Bij deze vlakken is echter ook vastgesteld dat er risico op schade is.

Afbeelding 5.1 geeft een uiteindelijk overzicht van de verschillende inbrengvlakken voor het heien van funderingspalen en in welke mate er aandacht moet worden besteed op het gebied van trillingen in de verdere fase van het project. Dit heeft direct betrekking tot de panden in de omgeving van de zuiveringsinstallatie; in dit rapport is het effect van trillingen op objecten van de bestaande zuivering niet meegenomen.

Afbeelding 5.1 Beoordeling van de streefwaarden voor het heien van funderingspalen op de verschillende aanbrengvlakken



5.3 Aanbevelingen voor het intrillen van damwanden

Wanneer de richtlijnen van de SBR deel A worden gevolgd met de uitgangspunten zoals benoemd in deze notitie vallen alle locaties voor het intrillen van damwanden buiten de risicocontouren voor risico op schade. Hierbij is daarom geen aanvullend advies, behalve indicatief te monitoren tijdens de werkzaamheden. Volgens de richtlijnen van de SBR deel B met de uitgangspunten van deze notitie wordt voldaan aan de streefwaarden zolang de werkzaamheden korter zijn dan 5 dagen bij aanbrengvlak 6. Als de installatie langer duurt is er een beperking in het aantal uren dat er actief mag worden getrild, waarschijnlijk rond de 5 uur per dag. Voor aanbrengvlak 7 wordt voldaan aan de streefwaardes.

Afbeelding 5.2 geeft een uiteindelijk overzicht van de verschillende inbrengvlakken voor het intrillen van damwandplanken en in welke mate er aandacht moet worden besteed op het gebied van trillingen in de verdere fase van het project. Dit heeft direct betrekking tot de panden in de omgeving van de zuiveringsinstallatie; in dit rapport is het effect van trillingen op objecten van de bestaande zuivering niet meegenomen. Daarnaast kan het intrillen van damwanden zettingstroggen direct rondom de planken veroorzaken. Deze installatie-effecten zijn in deze notitie niet beschouwd, maar dient wel rekening mee te worden gehouden.

Afbeelding 5.2 Beoordeling van de streefwaarden voor het intrillen van damwanden op de verschillende aanbrengvlakken



5.4 Maatregelen

Tijdens de aanlegfase zullen de trillingen worden gemonitord. Voorafgaand aan de werkzaamheden vindt er een bouwkundige opname van de nabijgelegen bebouwing plaats. Het uiteindelijke ontwerp en uitvoeringsplan zal opnieuw worden getoetst aan de trillingsnormen. Indien nodig wordt er gekozen voor een ander type paal dat trillingsarm kan worden aangebracht.

6 REFERENTIES

- Ref. 1 Bureau voor Bouwpathologie BB. (2008). *Trillingen*. Opgehaald van https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgt/trilling_7_trillingen_esther_stapper_www_bouwpathologie_nl.pdf.
- Ref. 2 CUR Bouw & Infra. (2012). *166 Damwandconstructies* (6 ed.). Gouda: CURNET.
- Ref. 3 Massarsch, K. R. (1993). Man-Made Vibrations and Solutions. *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, (p. 6). Opgehaald van <https://scholarsmine.mst.edu/icchge/3icchge/3icchge-session15/6>.
- Ref. 4 Nijs, R. d. (2003). Het trillen van damwanden in granulaire bodem. *Geotechniek*, 56-64.
- Ref. 5 SBRCURnet. (2017). *SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken: 2017*. Delft: SBRCURnet.
- Ref. 6 SBR. (2006). *Trillingen: meet- en beoordelingsrichtlijnen - Hinder voor personen in gebouwen*. Rotterdam: SBRCUR.

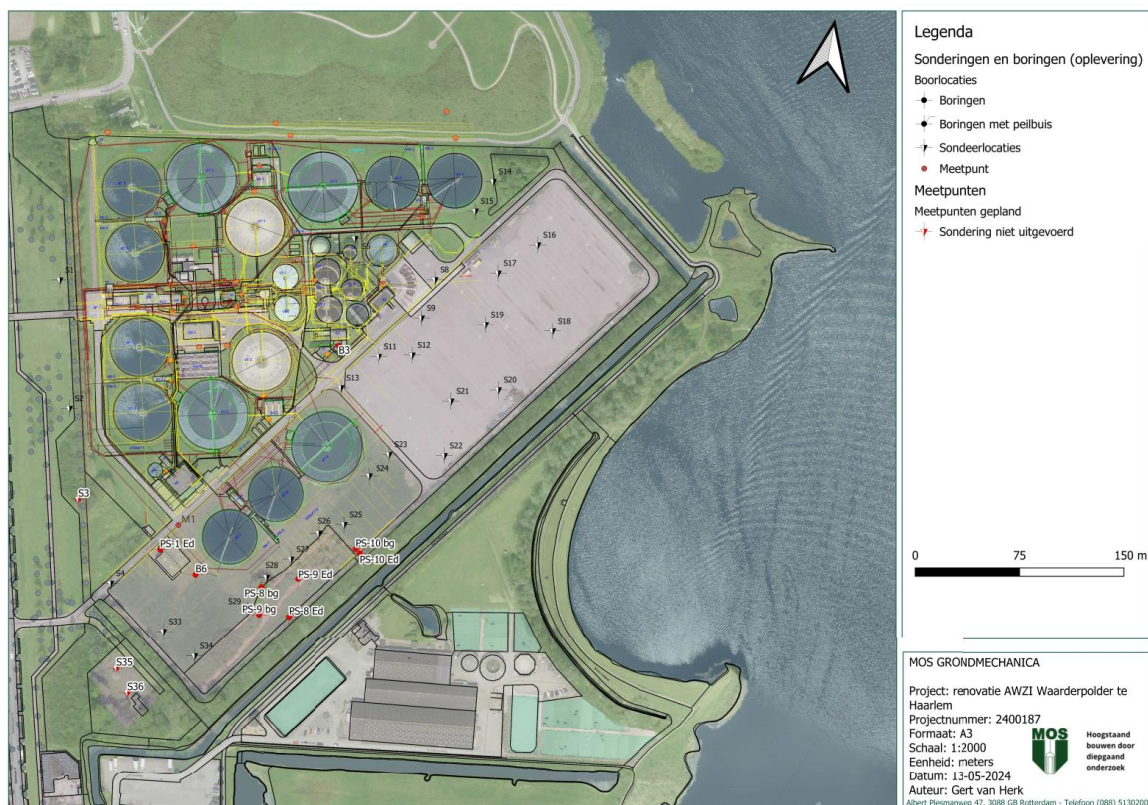
BIJLAGE: SONDERINGEN

Deze bijlage bevat onderstaand de volgende sonderingen, zoals weergegeven in Afbeelding I.1:

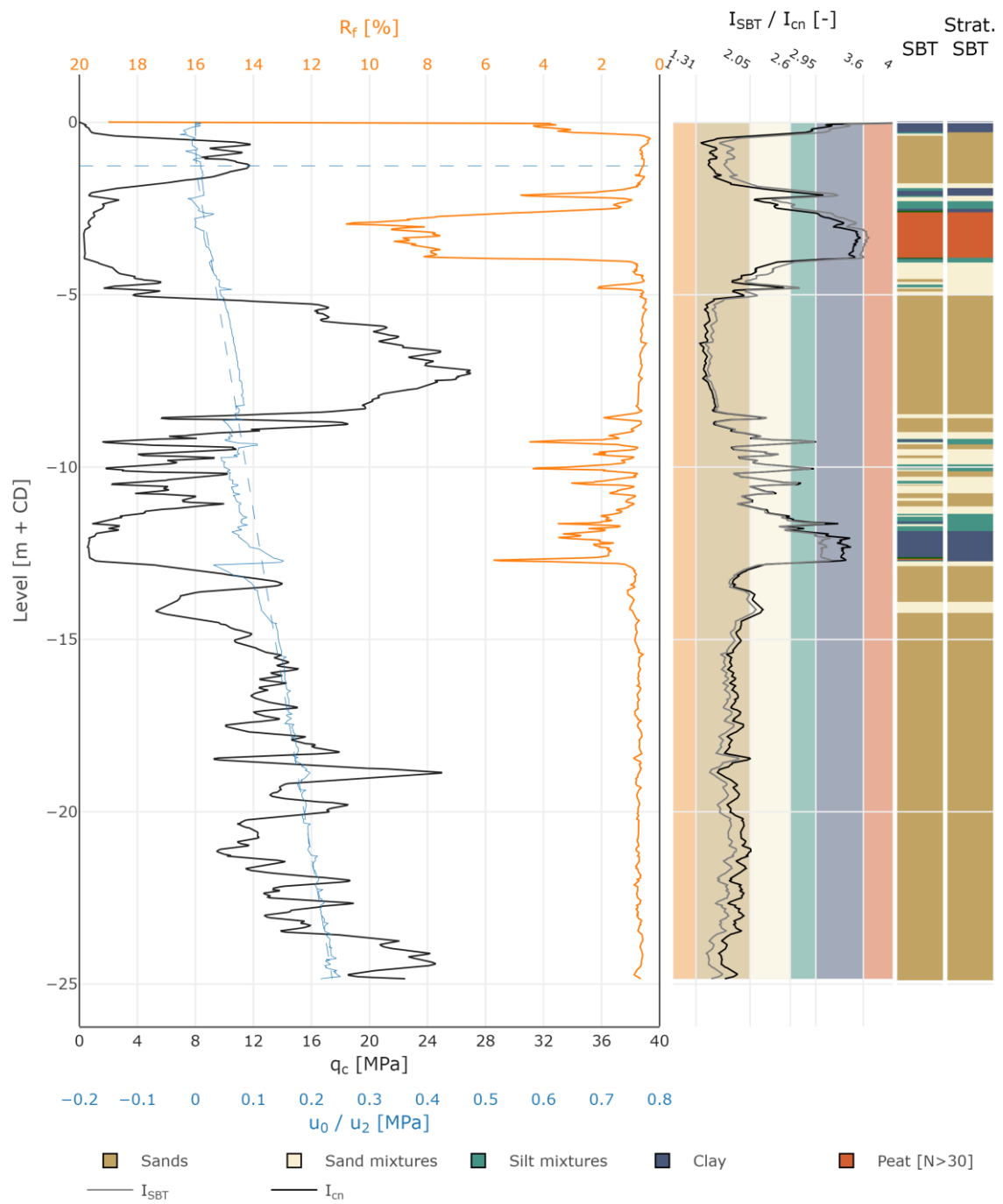
- 1 S2
- 2 S4
- 3 S27

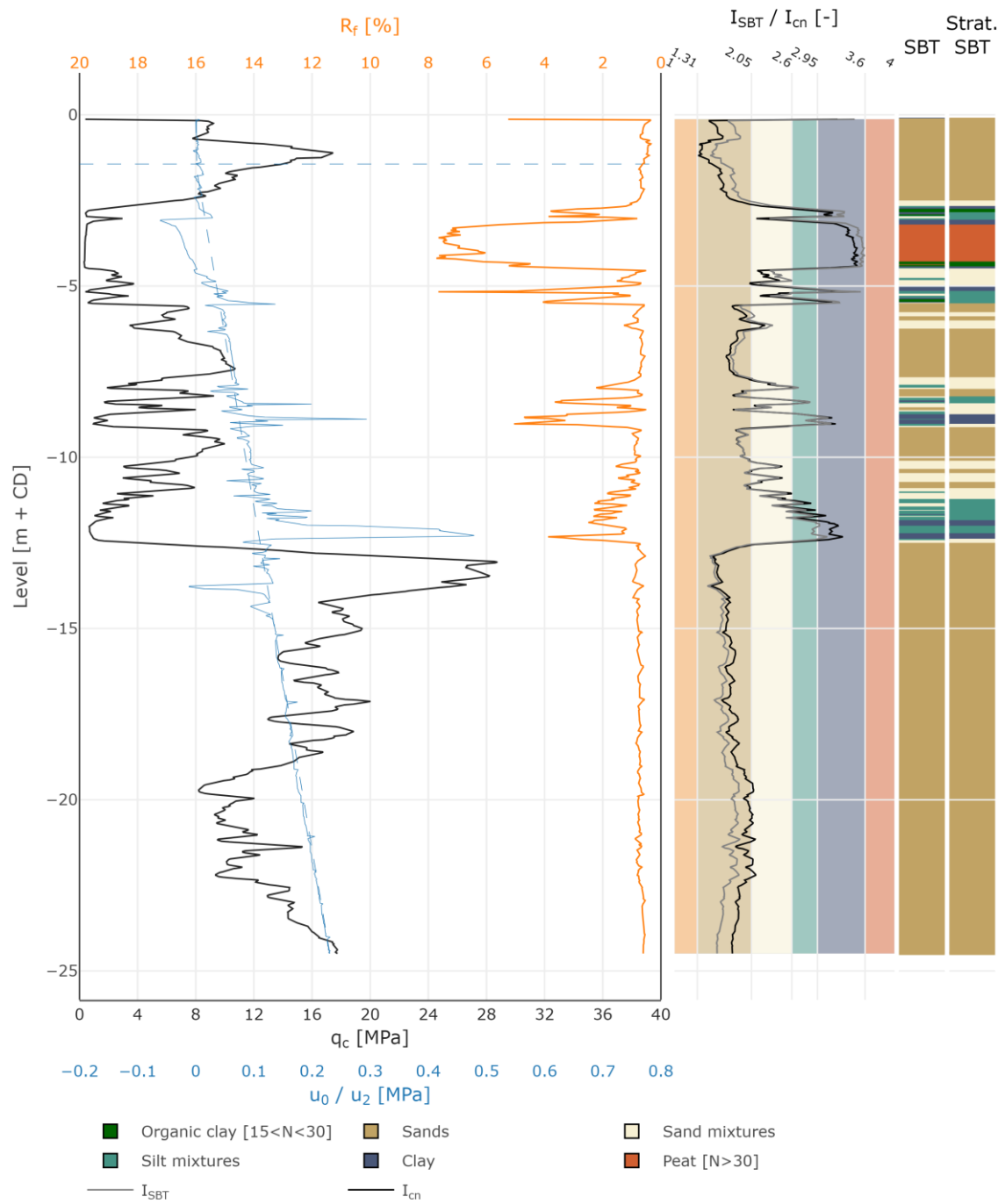
Deze sonderingen staan weergegeven in Afbeelding I.2 t/m Afbeelding I.4. Dit zijn de maatgevende sonderingen die als uitgangspunt zijn genomen in de predicties. De overige sonderingen vertonen een vergelijkbaar profiel.

Afbeelding I.1 Locaties sonderingen voor geotechnische onderzoek AWZI Waarderpolder te Haarlem

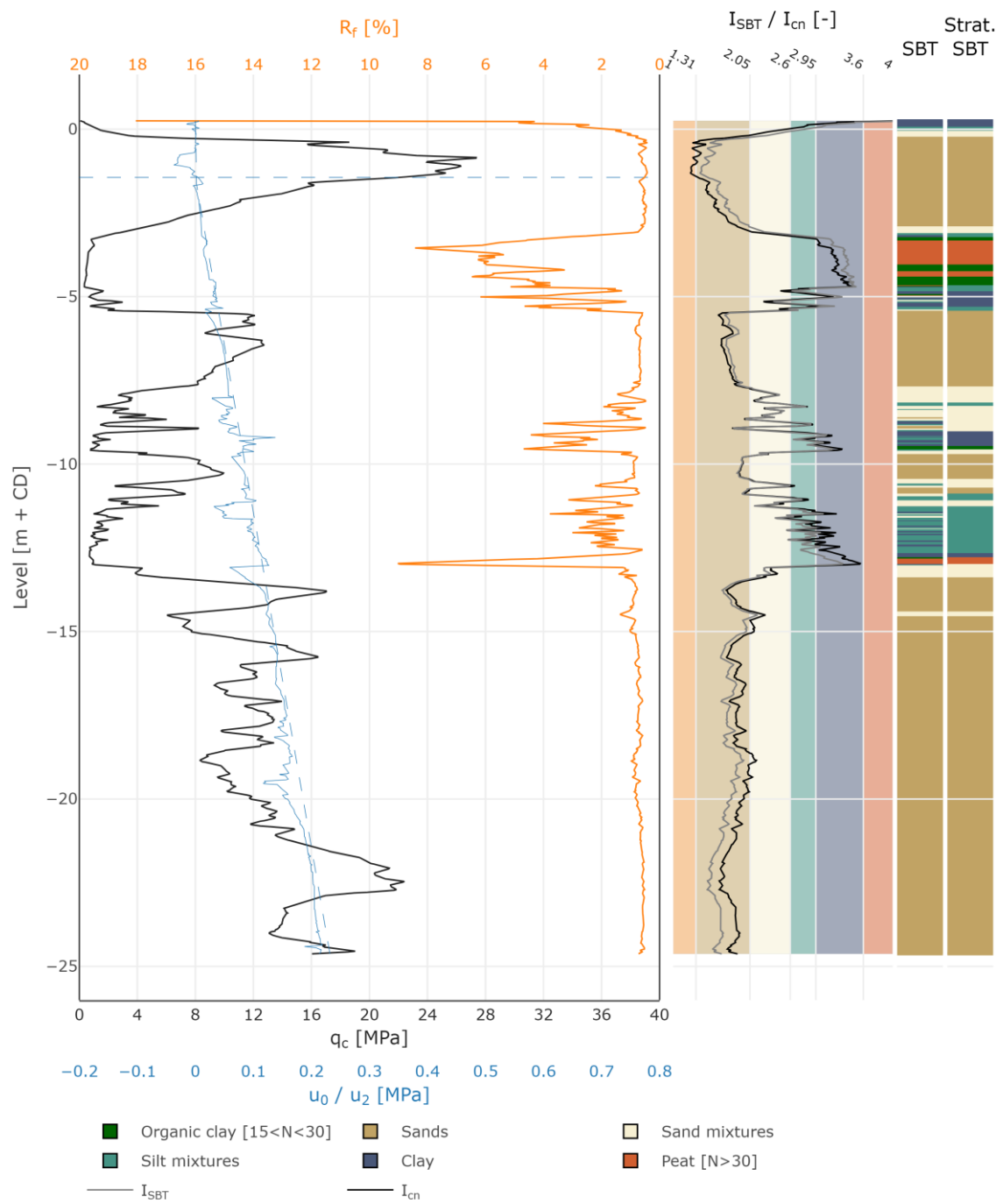


Afbeelding I.2 Bodemprofiel S2





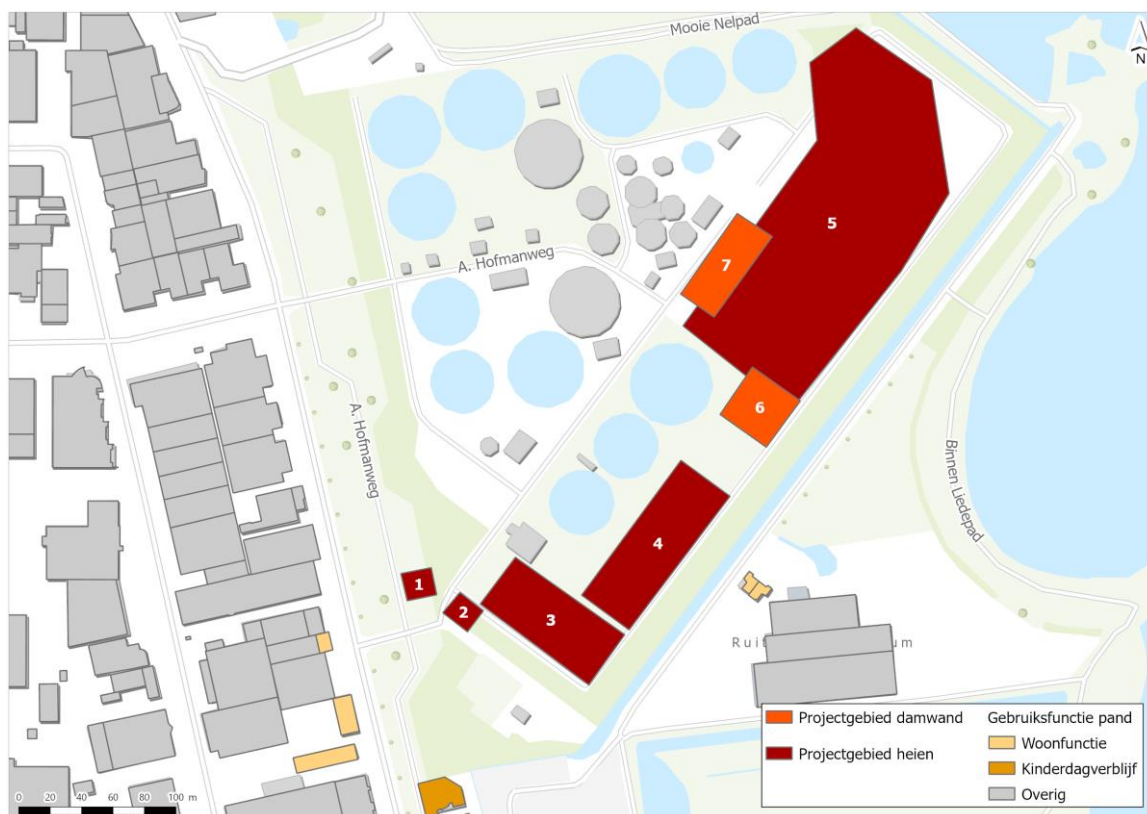
Afbeelding I.4 Bodemprofiel S27





BIJLAGE: PANDEN

Afbeelding II.1 Overzicht van de panden in de nabijgelegen omgeving van de projectlocatie. Het bouwjaar is aangegeven per pand



Afbeelding II.2 Foto van de woning met manege gelegen naast aanbrengvlak 4 voor het heien van funderingspalen



Afbeelding II.3 Foto van de dichtstbijzijnde bebouwing en woningen aan de weg naast aanbrengvlak 1 en 2 voor het heien van funderingspalen en aanbrengvlak 1 voor het intrillen van de damwandinstallatie

