

## Documenten aanvullende onderzoeken PHS Meteren – Boxtel

1 april 2019

De staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, Stientje van Veldhoven, heeft in april 2018 aangegeven dat ze maatregelen laat onderzoeken om de ergste toename van hinder op het traject Meteren-Boxtel te beperken. Inmiddels zijn de aangekondigde onderzoeken uitgevoerd. Via de [brief aan de Tweede Kamer van 28 maart 2019](#) laat de staatssecretaris weten hoe zij met de uitkomsten van de onderzoeken om wil gaan.

De achterliggende documenten bij de brief van de staatssecretaris zijn:

1. **Informatiedocument aanvullende onderzoeken**

De mogelijkheden en gevolgen van minder/geen goederentreinen in de nacht zijn onderzocht. Daarnaast heeft de staatssecretaris onderzoek laten doen naar de kosten van het weghalen van het wachtspoor in Zaltbommel. Deze informatie is terug te vinden in het Informatiedocument *Aanvullende onderzoeken PHS Meteren – Boxtel*.

2. **Aanvullend onderzoek geluid (Arcadis)**

Het doel van dit onderzoek is het inzichtelijk maken van de gevolgen van aanvullende geluidmaatregelen op het gehele traject Meteren-Boxtel of op een aantal kansrijke locaties. Door middel van een beslismatrix met de mogelijke opties van geluidmaatregelen zijn de effecten en de kosten nader toegelicht.

3. **Aanvullend onderzoek trillingen Vught-Noord (Arcadis)**

In dit rapport worden de resultaten van een aanvullende analyse van trillingsmaatregelen voor het deelgebied Vught-Noord ten oosten van het spoor Den Bosch-Boxtel weergegeven.

In dit bestand vindt u document 3: het aanvullend onderzoek trillingen.

# PHS METEREN BOXTEL

Aanvullend onderzoek trillingsmaatregelen analyse Vught -  
Noord

21 NOVEMBER 2018

Arcadis Nederland B.V.  
Postbus 220  
3800 AE Amersfoort  
Nederland

---

# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>5</b>
1.1	Algemeen	5
1.2	Uitgangspunten	6
1.3	Aanpak	7
<b>2</b>	<b>ALGEMENE BEOORDELING VAN MAATREGELEN</b>	<b>8</b>
2.1	Bronmaatregelen	8
2.2	Maatregelen in de overdracht	9
2.3	Maatregelen bij de ontvanger	10
2.4	Resultaten eerste afweging	10
2.5	Kosten van de nader te beschouwen maatregelen	11
<b>3</b>	<b>BEOORDELINGSVARIANTEN</b>	<b>12</b>
3.1	Cluster Molenvenseweg Noord	12
3.1.1	Doelscenario $V_{max}=0,4$	12
3.1.2	Doelscenario $V_{max}=0,8$	13
3.1.3	Doelscenario 30%	14
3.2	Cluster Molenvenseweg Zuid	15
3.2.1	Doelscenario $V_{max}=0,4$	15
3.2.2	Doelscenario $V_{max}=0,8$	15
3.2.3	Doelscenario 30%	16
3.3	Cluster Pieter Bruegellaan	18
3.3.1	Doelscenario $V_{max}=0,4$	18
3.3.2	Doelscenario $V_{max}=0,8$	18
3.3.3	Doelscenario 30%	19
<b>4</b>	<b>BEOORDELING EFFECTIVITEIT</b>	<b>20</b>
4.1	Aanpak	20
4.2	Aantal gehinderde bewoners	20
4.2.1	Doelscenario $V_{max}=0,4$	20

4.2.2	Doelscenario $V_{max}=0,8$	21
4.2.3	Doelscenario 30%	21

<b>5</b>	<b>SAMENVATTING</b>	<b>22</b>
	<b>BIJLAGE A BEOORDELINGSVARIANTEN</b>	<b>24</b>
	<b>BIJLAGE B MAATREGELENKAARTEN</b>	<b>30</b>
	<b>BIJLAGE C MAATREGELENKOSTEN</b>	<b>31</b>
	<b>BIJLAGE D BEOORDELING EFFECTIVITEIT</b>	<b>32</b>
	<b>COLOFON</b>	<b>33</b>

# 1 INLEIDING

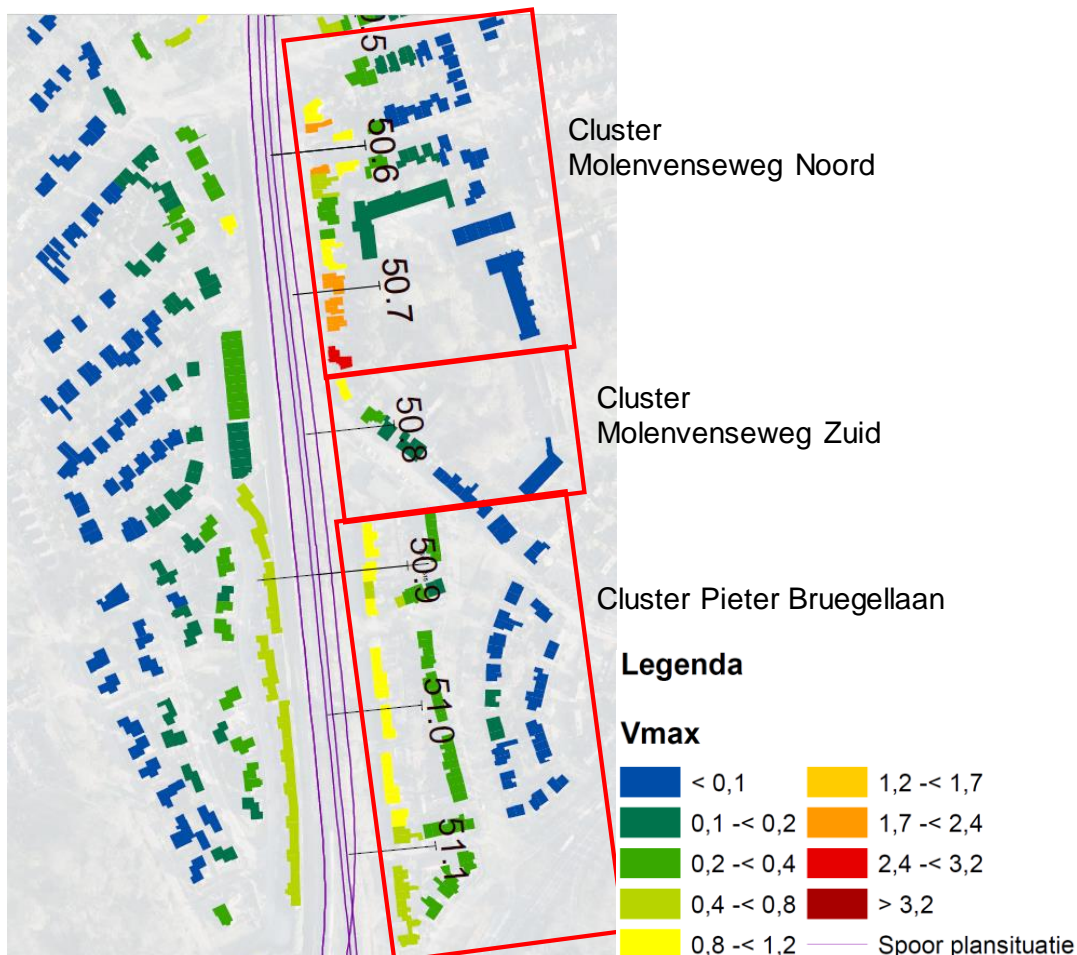
## 1.1 Algemeen

Als onderdeel van het onderzoek trillingen in het kader van het OTB PHS Meteren Boxtel zijn studies uitgevoerd naar de doelmatigheid van trillingsbeperkende maatregelen voor het genoemde project. In de voorliggende rapportage worden de resultaten van een aanvullende analyse van trillingsmaatregelen voor het deelgebied Vught Noord ten oosten van het spoor Den Bosch-Boxtel weergegeven.

In de analyse zijn de volgende beoordelingsvarianten voor het beperken van de trillingen met behulp van aanvullende maatregelen beschouwd:

- Wegnemen van trillingsniveaus bij panden boven  $V_{max}=0,4$  (hierbij doelscenario  $V_{max}=0,4$ );
- Wegnemen van trillingsniveaus bij panden boven  $V_{max}=0,8$  (hierbij doelscenario  $V_{max}=0,8$ );
- Standstil principe, met een maximale toename ten opzichte van huidige trillingsniveau van  $V_{max}$  en  $V_{per}$  van 30% (hierbij doelscenario 30%).

De scope van dit onderzoek is beperkt tot de woningen ten oosten van de clusters Molenvenseweg Noord, Molenvenseweg Zuid en Pieter Bruegellaan binnen het invloedsgebied van circa 150 m vanuit het spoor, zoals in de onderstaande figuur is weergegeven.



Figuur 1 De beschouwde clusters in het gebied Vught Noord (ref [1]) met maximaal trillingsniveau  $V_{max}$  in plansituatie zonder maatregelen.

## 1.2 Uitgangspunten

Het onderzoek voor het aspect trillingen in het kader van het OTB is uitgevoerd conform de methodiek uit de Beleidsregel Trillingshinder Spoor (BTS). De resultaten van de prognose trillingsniveaus, toetsing en maatregelen afweging conform het BTS methodiek is uitgewerkt in de volgende rapportages:

1. Arcadis, PHS Meteren-Boxtel OTB rapport – Trillingen deel 2 (MB21404-03), 15 december 2017, versie 2.0 definitief.
2. Arcadis, PHS Meteren-Boxtel OTB rapport – Trillingen deel 3 (MB21404-04), 15 december 2017, versie 2.0 definitief.

De genoemde maatregelen in ref [2] zijn gebaseerd op de maatregelencatalogus, die ook in dit onderzoek met de aanvullend maatregelenanalyse is geraadpleegd:

3. Maatregelencatalogus spoortrillingen, samenvattend overzicht, Grontmij, kenmerk GM 0175097 van 16-12-2015.

De aantallen gehinderde bewoners als gevolg van trillingen zijn bepaald op basis van de effectrelaties zoals opgenomen in de volgende rapportage van het RIVM

4. Rapport Wonen langs het spoor, Gezondheidseffecten trillingen van treinen, RIVM, rapport 2014-0096, 2014.

In de voorliggende studie is als uitgangspunt de spoorlay-out, aantal en type treinen, en de treinsnelheid zoals gehanteerd in het OTB rapport gehanteerd.

Voor het deelgebied Vught-Noord wordt in aanvulling op de in de OTB-fase uitgevoerde analyses in dit rapport ingegaan op het toepassen van maatregelen met een van de BTS afwijkend doelscenario.

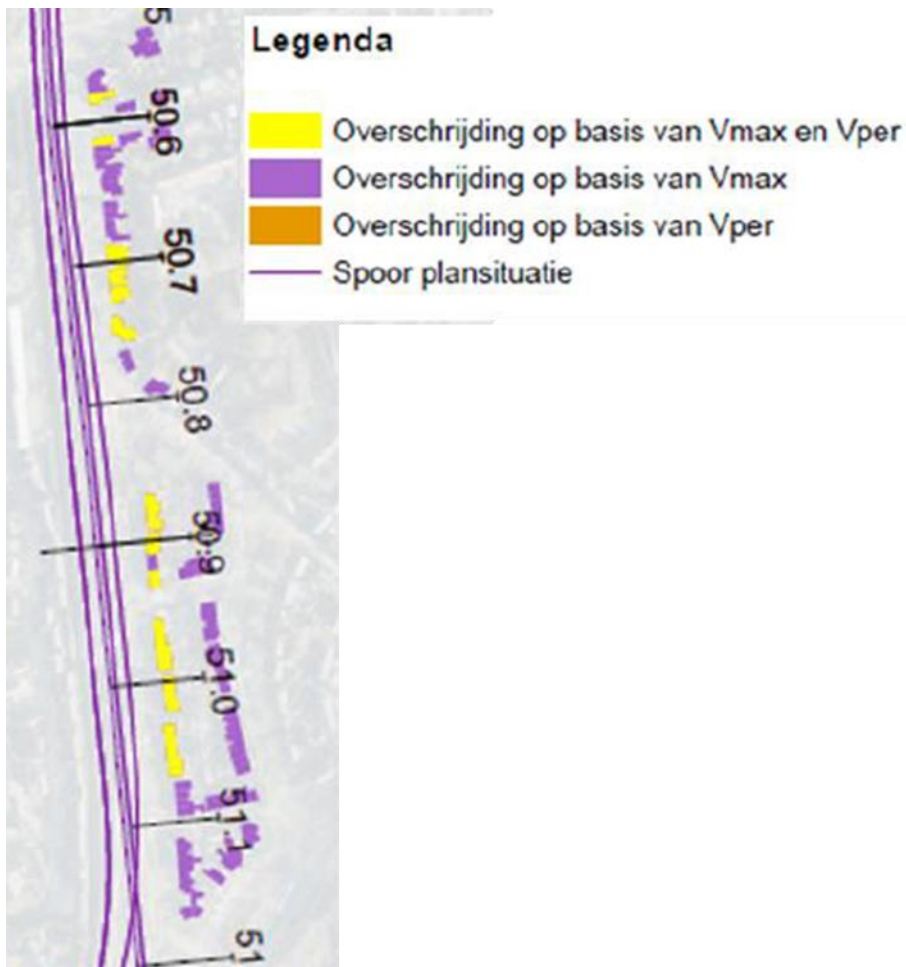
Het gebied dat in beschouwing is genomen betreft de bebouwing ten oosten van het spoor tussen de Loonsebaan en de A65. De panden zijn gelegen ter hoogte van spoorkilometrerings km 50.5 tot km 51.2, zie Figuur 1. Alle panden die tot circa 150 m vanuit het spoor zijn gesitueerd worden beschouwd. Deze afstand wordt aangehouden omdat in de effect-analyse (zie ref [1]) is vastgesteld dat dit het gebied is waarbinnen merkbare trillingen door spoorverkeer optreden.

In dit gebied zijn de volgende clusters onderscheiden:

Tabel 1 Omschrijving Clusters Vught Noord

Cluster	Van	Tot	Aantal panden in Cluster	Aantal afwegingspanden in OTB analyse
<b>Cluster Molenvenseweg Noord</b>	Km 50.500	Km 50.750	73	26
<b>Cluster Molenvenseweg Zuid</b>	Km 50.750	Km 50.860	12	2
<b>Cluster Pieter Bruegellaan</b>	Km 50.860	Km 51.170	120	77

In totaal omvatten de clusters dus 205 (73 + 12 + 120 = 205) panden aan de oostzijde van het spoor zoals in figuur 1 is weergegeven. Er zijn in de OTB-analyse 105 afwegingspanden binnen deze drie clusters beschouwd (zie Figuur 2). Een afwegingspand is een pand waar bij toetsing een overschrijding van de toetswaarde is vastgesteld.



Figuur 2 Afwegingspanden Vught Noord in OTB-rapportage

### 1.3 Aanpak

Onderstaand is de gehanteerde aanpak voor de uitgevoerde maatregelenanalyse beknopt beschreven.

In het kader van de aanvullend maatregelenanalyse zijn alle genoemde maatregelen in ref [3] beoordeeld in deze rapportage op basis van de aspecten effectiviteit, kosten, inpasbaarheid, uitvoerbaarheid en robuustheid van de maatregelen.

Een eerste stap algemene beoordeling van maatregelen is gebaseerd op de beschrijving van maatregelen in de maatregelencatalogus (ref [3]). Dit resulteert in een keuze van een beperkt aantal maatregelen (voorkeursmaatregelen) die op basis van een algemene afweging op bovengenoemde criteria als toepasbaar worden beschouwd, zonder dat de locatiespecifieke omstandigheden zijn meegewogen.

De vervolgstap van de afweging van maatregelen heeft plaats op het niveau van de clusters, waarbij de kwalitatieve verkenning van de toepasbaarheid op basis van de locatiespecifieke omstandigheden, eisen en randvoorwaarden wordt uitgevoerd. De effectiviteit van de voorkeursmaatregelen is gebaseerd op de resultaten van de uitgevoerde modelanalyses, die in ref [2] zijn beschouwd.

In de laatste stap wordt per beoordelingsvariant de kosten van de maatregelen afgewogen tegen de hinderscore.



## 2 ALGEMENE BEOORDELING VAN MAATREGELLEN

Maatregelen aan de bron, in de overdracht (tussen het bron en de ontvanger) en bij de ontvanger zijn beschouwd in dit onderzoek. Onderstaand is een samenvatting van de eerste algemene beoordeling van de maatregelen voor de drie clusters in het gebied Vught Noord weergegeven:

### 2.1 Bronmaatregelen

Een aantal bronmaatregelen dat is aangegeven in ref [2] maakt onderdeel uit van een “standaard” spoorontwerp. Bijvoorbeeld, met “ballastmatten” die worden toegepast bij spoor in ballast op een kunstwerk, wordt een verbetering van de overgang baan-kunstwerk standaard gerealiseerd middels de toepassing van overgangsplaten en in het algemeen wordt het spoor, waar mogelijk, voegloos uitgevoerd. Daarnaast vindt regulier onderhoud plaats aan rails en ballastbed, waarmee, naast handhaving van het comfort van de reiziger, ook de emissie van trillingen naar de omgeving wordt beperkt.

De bronmaatregel “Under sleeper pads” is effectief in het frequentiedomein van 25 en 30 Hz. En lijkt daardoor niet geschikt om de reductie in het benodigde lagere frequentiedomein (in deze situatie zijn dominante trillingen vanaf 8 Hz aan de orde) afdoende te faciliteren. De maatregel is recentelijk toegepast op de Betuweroute/Zevenaar, derde spoor. Meetresultaten moeten nog uitwijzen of ook bij lagere frequenties een verbetering kan worden bereikt.

De maatregel “betonplaat” betreft het aanbrengen van een betonplaat onder spoor in ballast. Deze maatregel is in het dominante frequentiedomein effectief (in orde grootte 50% tot 60% reductie), is inpasbaar in het ontwerp, robuust en goed uitvoerbaar.

De maatregel “Zettingsvrije plaat”, is in het algemeen een effectieve maatregel, maar heeft alleen wezenlijke meerwaarde ten opzichte van de maatregel “betonplaat” in een situatie waarbij het baanlichaam is of wordt aangelegd op een relatief slappe ondergrond, waarbij zetting van de baan een aandachtspunt is in het onderhoud van het spoor. Omdat dit hier niet aan de orde is, levert de toepassing van een “zettingsvrije plaat” onder spoor in ballast geen meerwaarde op terwijl de kosten hoger zijn dan van de variant “betonplaat”.

De maatregelen “Floating slab track”, “Ladder track” en “Wide sleeper track”, die weliswaar een substantiële trillingsreductie kunnen opleveren, betreffen spoorconstructies die door ProRail niet zijn vrijgegeven voor toepassing in het spoor. Er zijn geen ervaringen beschikbaar in vergelijkbare situaties. Het toepassen van “Floating Slab track” in de verdiepte ligging betekent dat de gehele verdiepte ligging moet worden voorzien van deze maatregel, hetgeen extreem kostenverhogend is en is daarom niet nader onderzocht. “Floating slab track” op de bocht vanuit Tilburg heeft geen meerwaarde ten opzichte van de onderzochte maatregel betonplaat en TROC.

De maatregelen “Ladder track” en “Wide sleeper track” hebben (nog) geen meerwaarde ten opzichte van de onderzochte maatregel betonplaat en zijn daarom niet nader uitgewerkt.

De bronmaatregelen “Spoor voegloos maken”, “Wissel verplaatsen” zijn in het project toegepast daar waar dit vanuit spoor-technische overwegingen mogelijk is.

De maatregel “Betonplaat onder ballastbed met isolatie materiaal onder dwarsliggers” is een verbijzondering van de maatregel “betonplaat”. Volgens de maatregelencatalogus levert deze echter geen extra mitigatie op ten opzichte van de maatregel “betonplaat”. Bovendien is er onvoldoende onderbouwing (onderzoek en praktijkervaring) die het overwegen van deze maatregel rechtvaardigt.

De maatregel “Afveren rails met railklemmen op beton plaat” wordt niet meegenomen omdat deze volgens ref [3] effectief is boven 20 Hz, terwijl in dit geval lagere frequenties gemitigeerd moeten worden. Daarnaast is ook hier geen onderbouwing van de effectiviteit beschikbaar.

Van de maatregel “Geogrid” is geen informatie beschikbaar ten aanzien van de effectiviteit in de maatregelencatalogus. De verwachting is dat deze maatregel aanzienlijk minder effectief is dan de (aanzienlijk stijvere) betonplaat. Daarnaast is inpassing onder bestaande sporen waarschijnlijk moeilijker dan

aanleg van “betonplaat”. Mede gezien de hoge benodigde reducties van trillingen is deze maatregel verder niet beschouwd.

## 2.2 Maatregelen in de overdracht

Tussen spoorconstructie en de ontvanger zijn de mitigerende maatregelen met lage of grote stijfheid TROC (Trilling Reducerende Ondergrondse Constructie) in de overdracht beschouwd.

Voor de TROC's met een grote stijfheid worden de typen “diepwand”, “jet-groutwand” en MIP-wand beschouwd:

- Een “diepwand” is een wand waarbij een sleufvormige ontgraving wordt gemaakt die wordt gevuld met beton met wapening. Hierbij ontstaat een doorgaande ondergrondse betonnen wand.
- Een “jet-groutwand” wordt gerealiseerd door via lansen onder hoge druk grout in de ondergrond te injecteren, waardoor groutkolommen worden gevormd. Door de kolommen dicht naast elkaar aan te brengen ontstaat een continue groutwand.
- Bij de “MIP-wand” wordt eveneens grout in de grond ingebracht, echter niet onder grote druk maar met een systeem waar de grond wordt losgewoeld en vermengd met grout. Er wordt gebruik gemaakt van een graafmethodiek zoals toegepast bij diepwanden (type CSM-wand) of een frame met drie parallel geschakelde avegaar boren. In beide gevallen is het resultaat dat een doorgaande wand wordt gevormd die bestaat uit een verhard grout-grondmengsel.

Het wandmateriaal van de diepwand heeft na verharding de grootste sterkte en stijfheid. Wanddiktes vanaf 0,5 m kunnen met deze methodiek worden toegepast.

Bij de jet-grout techniek vindt onder hoge druk menging van grout en grond plaats. De stijfheid van dit materiaal is lager dan van diepwandmateriaal (orde 15% van stijfheid diepwand). Om dezelfde effectiviteit te verkrijgen is een nominale wanddikte nodig die tweemaal zo groot is als voor diepwanden. Omdat de wand bestaat uit kolommen is de maximale ruimte waarin de kolommen worden gerealiseerd groter dan de nominale wanddikte. Uitgegaan wordt van een maximale breedte van 1,5 m.

Voor de MIP-wand is de gangbare wanddikte in de orde van 0,5 m. Door de geringere stijfheid van het wandmateriaal is de trillingsreducerende werking in de orde van 5% van die van een diepwand met dezelfde wanddikte.

Naast de dikte en stijfheid van de wand, is ook de diepte tot waartoe de wand wordt aangebracht van invloed op de trillingsreducerende werking. Zo is bij toepassing van de jet-grout techniek met een dubbele dikte ten opzichte van de diepwand, een diepere wand nodig (enkele meters dieper) dan bij toepassing van de diepwand-techniek.

De reducerende werking van een TROC-wand, type diepwand en type jet-groutwand ligt in de orde van 50-80%. Voor de MIP-wand is dit percentage in de orde van 30%.

De mogelijke maatregelen van het type TROC met lage stijfheid worden geen van alle geschikt geacht om de volgende redenen:

- De maatregel “TROC-polystyreen in bodem bij woning” (EPS) is niet meegenomen als een algemene maatregel voor het gebied Vught Noord vanwege:
  - Onzekerheid over de effectiviteit van de maatregel “EPS” voor dit gebied.
  - Onzekerheid van beheersbaarheid van de maatregel “EPS” als gevolg van de toepassing van een niet robuust materiaal.
  - Er is nog onvoldoende ervaring met toepassing, zodat grootschalige toepassing niet is aan te bevelen.
- De maatregel “TROC open sleuf in bodem” vereist een sleuf met een diepte in de orde van 10 of meer meter. Gezien de opbouw van de ondergrond zal voor het openhouden van de sleuf een tweezijdige wand nodig zijn. Dit wordt in ref [3] aangemerkt als de maatregel “TROC open sleuf met keerwanden”, met bijvoorbeeld damwanden als keerwanden. Deze keerwanden zullen de effectiviteit van deze maatregel sterk reduceren, omdat deze gezien de benodigde diepte van 10 m of meer, middels stempeling gekoppeld zullen moeten worden. Daarnaast is het risico op schade aan belendingen bij het intrillen van lange damwanden groot. Om deze redenen wordt de maatregel “TROC open sleuf met of zonder keerwanden” in het projectgebied als niet toepasbaar beschouwd.

- De maatregel “TROC beklede keerwand” is niet opgenomen als een algemene maatregel. Deze maatregel is tot nu toe in de praktijk alleen toegepast en op effectiviteit beoordeeld in een ondergrondssituatie boven het grondwaterniveau. Er is weliswaar een complexe uitvoeringstechniek voor toepassing onder het grondwaterniveau bekend, maar hiermee zijn nog onvoldoende ervaringen. Bovendien vereist toepassing van deze techniek een tijdelijke bouwput met een breedte van enkele meters, die tot de diepte waarop de bekleding aangebracht dient te worden moet worden ontgraven. Dit betekent dat lange (stalen) damwanden ingebracht moeten worden. Op basis van de genoemde overwegingen (zie “TROC open sleuf met keerwanden”) wordt de inzet van deze techniek hier niet als realistisch beschouwd.

De maatregel “Spoorsloot/waterpartij” is niet meegenomen als een algemene maatregel omdat de reducerende werking van deze maatregel beperkt is (orde maximaal 30% bij waterpartijen met een natte doorsnede van minimaal 5 m). Een dergelijke ruimte vragende maatregel is in Vught Noord in het stedelijk gebied niet in te passen.

De maatregelen “Trillingsscherm L-wand in talud” en “Steiler maken spoortalud” zijn niet beschouwd als algemene maatregel in het projectgebied omdat deze maatregelen onvoldoende trillingsreductie leveren.

## 2.3 Maatregelen bij de ontvanger

Dit betreft maatregelen waarbij een aanpassing aan de panden wordt getroffen. Hierbij zijn de volgende maatregelen beschouwd:

- Verstijven van houten vloeren door het vervangen van houten vloerbalken door, bijvoorbeeld, stalen balken of het vervangen van houten vloeren door betonnen vloeren. Deze maatregelen zijn doorgaans alleen op de begane grondvloer toepasbaar. Bij toepassing op verdiepingsvloeren zal dit mogelijk gecombineerd moeten worden met een aanpassing van de draagconstructie van het pand.
- Vervangen van niet-dragende binnenwanden door dragende wanden. Hierdoor wordt de stijfheid van het pand vergroot, waardoor de doorwerking van trillingen in het pand worden gereduceerd.
- Het vergroten van de stijfheid door het aanbrengen van externe verstijvingen aan het pand (“steunberen”). Omdat dit de beeldkwaliteit van het pand aantasten bovendien naar verwachting maar een beperkt effect heeft, wordt deze optie niet nader beschouwd.
- Het verzwaren en/of verstijven van de funderingsconstructie van het pand, bijvoorbeeld door het installeren van extra funderingspalen of aanbrengen van een funderingsplaat onder het gehele pand. Deze maatregel is zeer kostbaar.
- Toepassen van een dempende constructie in het pand, waarbij een verend ondersteund zwaar gewicht wordt geïnstalleerd. Gezien het hiervoor benodigde ruimtebeslag is deze maatregel voor woningen niet geschikt.

De maatregelen “verstijven van vloeren” en “vervangen van niet dragende binnenwanden” worden in deze specifieke situatie niet als kansrijk gezien omdat de inpasbaarheid in de bestaande bouwkundige constructie complex zal zijn met als gevolg hoge kosten, ingrijpende constructieve aanpassingen aan de panden en daardoor ingrijpende gevolgen voor de bewoners gedurende de uitvoering van de maatregel (waarschijnlijk kunnen bewoners gedurende enige weken geen gebruik maken van het pand).

Andere maatregelen zoals “extra stabiliteitswanden” en “aanbrengen dempende massa” worden vanuit het oogpunt van inpasbaarheid (respectievelijk beeldkwaliteit en ruimtebeslag) evenmin als realistisch gezien.

## 2.4 Resultaten eerste afweging

Het bovenstaande leidt tot de conclusie dat alleen de volgende maatregelen als kansrijk worden beschouwd voor de nadere specifieke beoordeling:

- De maatregel “Betonplaat onder ballastbed met ballastmat” als bronmaatregel.
- De maatregelen TROC “Diepwand”, “Jet-groutwand” en “MIP-wand” in de overdracht.
- Bij de ontvanger worden geen maatregelen beschouwd.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende situaties:

- Realisatie van (bron)maatregelen ter plaatse van bestaande spoor (“in spoorzone”);

- Realisatie van bronmaatregelen bij een nieuwbouw situatie (“vrije bouw”)
- Realisatie van overdrachtsmaatregelen buiten de spoorzone.

## 2.5 Kosten van de nader te beschouwen maatregelen

De investeringskosten van maatregelen die als uitgangspunt voor de maatregelenanalyse worden gehanteerd, zijn in bijlage C weergegeven. Deze kosten bevatten:

- Trillingsmaatregelen per cluster per doelscenario (diepwand, jet-groutwand of MIP-wand)
- Extra voorzieningen om de trillingsmaatregelen aan te kunnen brengen.
- De PEAT-kosten.

De kosten zijn exclusief BTW en gebaseerd op prijspeil 2016.

Voor het betreffende studiegebied zijn extra kosten met de volgende aspecten in rekening gebracht:

- Verwijdering+ herstel bestrating
- Omleggen kabels en leidingen (incl. kruisingen met het spoor)

De kosten voor deze aspecten zijn verwerkt in deze rapportage.

De maatregelenkosten per doelscenario per cluster zijn gebaseerd op sommatie van de kosten van de trillingsmaatregelen en de bijkomende kosten van de inpassing. De detailberekeningen van de kosten zijn in bijlage C weergegeven.

### 3 BEOORDELINGSVARIANTEN

In dit hoofdstuk is de maatregelenanalyse per cluster uitgewerkt, waarbij per cluster achtereenvolgens de drie doelcriterium-varianten worden behandeld.

In Bijlage A is per pand in het gebied Vught Noord de berekende  $V_{max}$  en het benodigde reductiepercentage voor en na het toepassen van de maatregelen weergegeven, zoals berekend met doelscenario's  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en 30%.

Voor de betekenis van de kolommen in de tabel wordt verwezen naar de toelichting in Bijlage A.

De maatregelen die nader beschouwd worden zijn verder geoptimaliseerd. Voor de optie "betonplaat" betekent dit dat de lengte en het aantal sporen waarover deze maatregel moet worden toegepast, is bepaald.

Voor de maatregelen TROC is, uitgaande van een standaard wanddikte, de optimale locatie, diepte en wandlengte bepaald. Voor Vught-Noord is als locatie de teen van het toekomstige oostelijk spoortalud dan wel locatie keerwandconstructie als uitgangspunt gehanteerd, omdat hiermee de minste impact in de omgeving (inclusief omleggen kabels en leidingen) optreedt. De lengte van de TROC is bepaald door vanuit de buitenste afwegingspanden een zichthoek van 45 graden aan te houden. De diepte van de wand is afgestemd op de benodigde reductie. Het effect van een grotere wanddiepte is, zoals uit modelberekeningen is gebleken, gelimiteerd. Dit leidt ertoe dat in dit geval het toepassen van wanddieptes groter dan orde 20 m geen wezenlijke bijdrage meer levert aan de trillingsmitigatie.

Voor de TROC zijn de volgende wanddiktes gehanteerd:

- Diepwand: wanddikte minimaal 0,5 m
- Jet-groutwand: nominale wanddikte 1,0 m werkelijke wanddikte 1,5 m.
- MIP-wand: wanddikte 0,5 m

In Bijlage B is per beschouwd doelscenario de ruimtelijke inpassing van de voorgestelde maatregel of maatregelen set voor de gezamenlijke clusters weergegeven.

In Bijlage C zijn per beschouwd doelscenario de kosten van de voorgestelde maatregel of maatregelen set voor de clusters weergegeven.

#### 3.1 Cluster Molenvenseweg Noord

Dit cluster bevat 73 panden in het gebied tot circa 150 m uit het spoor, waarvan 26 afwegingspanden volgens de BTS methodiek.

Onderstaand is de maatregelenanalyse voor Cluster Molenvenseweg Noord met achtereenvolgende doelscenario's  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en 30% weergegeven.

De maatregelenkaart voor alle doelscenario's is in Bijlage B weergegeven.

##### 3.1.1 Doelscenario $V_{max}=0,4$

Uit de analyse volgt (zie bijlage A) dat zonder maatregelen voor 17 panden een overschrijding van de streefwaarde  $V_{max}=0,4$  is bepaald.

Er is geen enkele maatregel individueel volledig geschikt voor Cluster Molenvenseweg Noord met doelscenario  $V_{max}=0,4$ . De oorzaak hiervan is dat dit cluster een maximale reductie tussen 80% en 90% vereist en geen van de beschikbare maatregelen hieraan kan voldoen. Dit betekent dat een combinatie van de maatregelen "TROC-wand" en "betonplaat" noodzakelijk zal zijn om voldoende mitigatie te bereiken.

Voor Cluster Molenvenseweg Noord met doelscenario  $V_{max}=0,4$ , worden de onderstaande maatregelen sets nader beoordeeld:

- Maatregelen set 1: Betonplaat voor sporen 1+2+3 met een diepwand van 20 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.
- Maatregelen set 2: Betonplaat voor sporen 1+2+3 met een jet-groutwand van 23 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.

In Tabel 2 zijn de resultaten van de analyse samengevat. De volgende elementen zijn in de tabel vermeld:

- De voor het doelscenario maximaal benodigde reductie van de toe te passen maatregel/maatregelenset.
- De restwaarde (percentage) niet gerealiseerde reductie bij toepassing van de voorgestelde maatregelen.
- Het aantal gemitigeerde panden (ten opzichte van totaal aantal afwegingspanden).
- Het maximale trillingsniveau dat met de maatregel nog optreedt.
- De kosten van de maatregel/maatregelenset.

Tabel 2 Maatregelenanalyse voor Cluster Molenvenseweg Noord met het doelscenario  $V_{max}=0,4$

criterium	Maatregelenset 1: Betonplaat voor 3 sporen + 20 m diepe diepwand	Maatregelenset 2: Betonplaat voor 3 sporen + 23 m diepe jet-groutwand
Benodigde reductie [%]	84	84
Additionele max reductie benodigd [%]	21	21
Aantal panden gemitigeerd [-]	7 (van 17)	7 (van 17)
Maximaal trillingsniveau ( $V_{MAX}$ )	0,58	0,58
Kosten [€]	€ 9.153.530	€ 17.702.334

Op basis van de kostenvergelijking wordt voor dit scenario gekozen voor de maatregelenset betonplaat voor 3 sporen en 20 m diepe diepwand.

De betonplaat is noodzakelijk over een lengte van 210 m onder het oostelijke spoor en over een lengte van 170 m onder de 2 middelste sporen. De TROC heeft een lengte van 210 m.

### 3.1.2 Doelscenario $V_{max}=0,8$

Uit deze analyse volg (zie bijlage A) dat zonder maatregelen voor 16 panden een overschrijding van de streefwaarde  $V_{max}=0,8$  is bepaald.

De maximale benodigde reductie voor dit cluster is bij deze variant 69% ( $V_{max}$  is maatgevend). Er is geen enkele maatregel individueel volledig geschikt voor Cluster Molenvenseweg Noord met doelscenario  $V_{max}=0,8$ . De oorzaak hiervan is dat dit cluster een maximale reductie van circa 70% vereist en geen van de beschikbare maatregelen hieraan naar verwachting kan voldoen. Dit betekent dat een combinatie van de maatregelen "TROC-wand" en "betonplaat" noodzakelijk zal zijn om voldoende mitigatie te bereiken.

Voor Cluster Molenvenseweg Noord met doelscenario  $V_{max}=0,8$ , worden de onderstaande maatregelensets voorgesteld:

- Maatregelen set 1: Betonplaat onder oostelijke spoor met een diepwand van 15 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.
- Maatregelen set 2: Betonplaat onder oostelijke spoor met een jet-groutwand van 18 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.

Tabel 3 Maatregelenanalyse voor Cluster Molenvenseweg Noord met het doelscenario  $V_{max}=0,8$ 

Criterium	Maatregelenset 1: Betonplaat oostelijke spoor + 15 m diepe diepwand	Maatregelenset 2: Betonplaat oostelijke spoor + 18 m diepe jet- groutwand
Benodigde reductie [%]	69	69
Additionele max reductie benodigd [%]	0	0
Aantal panden gemitigeerd [-]	16 (van 16)	16 (van 16)
Maximaal trillingsniveau ( $V_{MAX}$ )	0,64	0,64
Kosten [€]	€ 7.128.794	€ 14.102.684

Op basis van de kostenvergelijking wordt voor dit scenario gekozen voor de maatregelenset betonplaat voor het oostelijke spoor en 15 m diepe diepwand.

De betonplaat is noodzakelijk over een lengte van 210 m onder het oostelijke spoor. De TROC heeft een lengte van 210 m.

### 3.1.3 Doelscenario 30%

Uit deze analyse volg (zie bijlage A) dat het aantal panden met een overschrijding van de streefwaarde 26 stuks bedraagt. De maximale benodigde reductie is 44% ( $V_{per}$  wordt maatgevend).

Uit het overzicht blijkt dat voor het Cluster Molenvenseweg Noord de benodigde mitigatie zodanig afneemt dat er geen bronmaatregelen meer noodzakelijk zijn en kan worden volstaan met een TROC.

Voor Cluster Molenvenseweg Noord met doelscenario 30%, worden de onderstaande maatregelensets voorgesteld:

- Maatregelenset 1: Een diepwand van 15 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.
- Maatregelenset 2: Een jet-groutwand van 18 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.

Tabel 4 Maatregelenanalyse voor Cluster Molenvenseweg Noord met het doelscenario 30%

Criterium	Maatregelenset 1: 15 m diepe diepwand	Maatregelenset 2: 18 m diepe jet- groutwand
Benodigde reductie [%]	44	44
Additionele max reductie benodigd [%]	0	0
Aantal panden gemitigeerd [-]	26 (van 26)	26 (van 26)
Maximaal trillingsniveau ( $V_{MAX}$ )	1,12	1,12
Maximaal trillingsniveau ( $V_{PER}$ )	0,08	0,08
Kosten [€]	€ 6.635.691	€ 13.609.582

Op basis van de kostenvergelijking wordt voor dit scenario gekozen voor de maatregelenset 15 m diepe diepwand. De TROC heeft een lengte van 210 m.

## 3.2 Cluster Molenvenseweg Zuid

Cluster Molenvenseweg zuid bevat in totaal 12 panden waarin 2 afwegingspanden volgens de BTS methodiek.

Onderstaand is de maatregelenanalyse voor Cluster Molenvenseweg Zuid met achtereenvolgende doelscenario's  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en 30% weergegeven.

De maatregelenkaart voor alle doelscenario's zijn in Bijlage B weergegeven.

### 3.2.1 Doelscenario $V_{max}=0,4$

Uit de analyse volgt (zie bijlage A) dat voor 1 pand een overschrijding van de streefwaarde  $V_{max}=0,4$  is bepaald.

De maximale benodigde reductie voor dit cluster is gelijk aan die bij BTS-toetsing en bedraagt maximaal 60%.

Voor Cluster Molenvenseweg Zuid met doelscenario  $V_{max}=0,4$ , worden de onderstaande maatregelenets voorgesteld:

- Maatregelenset 1: Een diepwand van 15 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.
- Maatregelenset 2: Een jet-groutwand van 18 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.

Dit deel loopt parallel aan het spoor in het gebied waarin de toekomstige verdiepte ligging situatie wordt gerealiseerd.

Tabel 5 Maatregelenanalyse voor Cluster Molenvenseweg Zuid met het doelscenario  $V_{max}=0,4$

criterium	Maatregelenset 1: 15 m diepe diepwand	Maatregelenset 2: 18 m diepe jet-groutwand
Benodigde reductie [%]	60	60
Additionele max reductie benodigd [%]	0	0
Aantal panden gemitigeerd [-]	1 (van 1)	1 (van 1)
Maximaal trillingsniveau ( $V_{MAX}$ )	0,20	0,20
Kosten [€]	€ 1.115.502	€ 2.277.817

Op basis van de kostenvergelijking wordt voor dit scenario gekozen voor de maatregelenset 15 m diepe diepwand. De TROC heeft een lengte van 35 m.

### 3.2.2 Doelscenario $V_{max}=0,8$

Uit de analyse volgt (zie bijlage A) dat voor 1 pand een overschrijding van de streefwaarde  $V_{max}=0,8$  is bepaald.

Uit het overzicht blijkt dat voor het Cluster Molenvenseweg zuid de benodigde mitigatie zodanig afneemt dat er een kortere TROC-wand kan worden gehanteerd.

De maximale benodigde reductie voor dit cluster is circa 21% (in plaats van 60% volgens het model BTS). Op basis hiervan is ook mogelijk om een MIP-wand van 20 m diepte toe te passen om volledige mitigatie te bereiken.



Voor Cluster Molenvenseweg Zuid met doelscenario  $V_{max}=0,8$ , worden de onderstaande maatregelensets voorgesteld:

- Maatregelenset 1: Een diepwand van 10 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.
- Maatregelenset 2: Een jet-groutwand van 13 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.
- Maatregelenset 3: Een MIP-wand van 20 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand.

Dit deel loopt parallel aan het spoor in het gebied waarin de toekomstige verdiepte ligging situatie wordt gerealiseerd.

Tabel 6 Maatregelenanalyse voor Cluster Molenvenseweg Zuid met het doelscenario  $V_{max}=0,8$

Criterion	Maatregelenset 1: 10 m diepe diepwand	Maatregelenset 2: 13 m diepe jet-groutwand	Maatregelenset 3: 20 m diepe MIP-wand
Benodigde reductie [%]	21	21	21
Additionele max reductie benodigd [%]	0	0	0
Aantal panden gemitigeerd [-]	1 (van 1)	1 (van 1)	1 (van 1)
Maximaal trillingsniveau ( $V_{max}$ )	0,20	0,20	0,71
Kosten [€]	€ 947.780	€ 1.785.973	€ 369.138

Op basis van de kostenvergelijking wordt voor dit scenario gekozen voor de maatregelenset 20 m diepe MIP wand. De TROC heeft een lengte van 35 m.

Opgemerkt wordt dat het trillingsniveau na implementatie van de maatregelen bij de MIP-wand bijna viermaal zo hoog is als bij de diepwand.

### 3.2.3 Doelscenario 30%

Uit de analyse volgt (zie bijlage A) dat voor 2 panden een overschrijding van de streefwaarde 30% is bepaald.

Uit het overzicht blijkt dat voor het Cluster Molenvenseweg Zuid met doelscenario 30% een TROC adequaat is om de beoogde reductie te realiseren.

Voor Cluster Molenvenseweg Zuid met doelscenario 30%, worden de onderstaande maatregelen sets voorgesteld:

- Maatregelen set 1: Een diepwand van 10 m diepte ter plaatse van ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand, overgaand in ligging bij teen talud.
- Maatregelen set 2: Een jet-groutwand van 13 m diepte ter plaatse van de in het baanontwerp geplande keerwand, overgaand in ligging bij teen talud.

Dit deel loopt parallel aan het spoor in het gebied waarin de toekomstige verdiepte ligging situatie wordt gerealiseerd.

Tabel 7 Maatregelenanalyse voor Cluster Molenvenseweg Zuid met het doelscenario 30%

Criterion	Maatregelen set 1: 10 m diepwand	Maatregelen set 2: 13 m jet-groutwand
Benodigde reductie [%]	43	43
Additionele max reductie benodigd [%]	0	0
Aantal panden gemitigeerd [-]	2 (van 2)	2 (van 2)
Maximaal trillingsniveau (Vmax)	0,20	0,20
Kosten [€]	€ 1.412.611	€ 2.729.770

Op basis van de kostenvergelijking wordt voor dit scenario gekozen voor de maatregelen set 10 m diepe diepwand. De TROC heeft een lengte van 55 m.

### 3.3 Cluster Pieter Bruegellaan

Cluster Pieter Bruegellaan bevat in totaal 120 panden waarin 77 afwegingspanden volgens het BTS model. Dit cluster loopt parallel aan het spoor in het gebied waarin de toekomstige verdiepte ligging situatie wordt gerealiseerd.

Onderstaand is de maatregelenanalyse voor Cluster Pieter Bruegellaan met achtereenvolgende doelscenario's  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en 30% weergegeven.

De maatregelenkaart voor alle doelscenario's is in Bijlage B weergegeven.

#### 3.3.1 Doelscenario $V_{max}=0,4$

Uit de analyse volgt (zie bijlage A) dat voor 39 panden een overschrijding van de streefwaarde  $V_{max}=0,4$  is bepaald.

Voor de meeste panden in dit cluster is een reductie van circa 50% tot 60% benodigd. De maximale effectiviteit van de TROC-wand op deze locatie is circa 33% en daarom wordt ter plaatse van de panden niet volledig gemitigeerd.

Voor Cluster Pieter Bruegellaan met doelscenario  $V_{max}=0,4$ , worden de onderstaande maatregelensets voorgesteld:

- Maatregelenset 1: Een diepwand van 20 m diepte ter plaatse van teen talud baanlichaam.
- Maatregelenset 2: Een jet-groutwand van 23 m diepte ter plaatse van teen talud baanlichaam.

Tabel 8 Maatregelenanalyse voor Cluster Pieter Bruegellaan met het doelscenario  $V_{max}=0,4$

criterium	Maatregelenset 1: diepwand 20 m diep	Maatregelenset 2: jet-groutwand 23 m diep
Benodigde reductie [%]	58	58
Additionele max reductie benodigd [%]	31	31
Aantal panden gemitigeerd [-]	4 (van 39)	4 (van 39)
Maximaal trillingsniveau ( $V_{MAX}$ )	0,70	0,70
Kosten [€]	€ 12.432.350	€ 27.901.613

Op basis van de kostenvergelijking wordt voor dit scenario gekozen voor de maatregelenset 20 m diepe diepwand. De TROC heeft een lengte van circa 380 m.

#### 3.3.2 Doelscenario $V_{max}=0,8$

Uit de analyse volgt (zie bijlage A) dat voor 26 panden een overschrijding van de streefwaarde  $V_{max}=0,8$  is bepaald. Ter vergelijking is dit aantal volgens de BTS benadering vastgesteld op 77 stuks.

De maximale benodigde reductie voor dit cluster is circa 17% (in plaats van 58% in het model BTS). Op basis hiervan is ook mogelijk om een MIP-wand van 20 m diepte toe te passen om volledige mitigatie te bereiken.

Voor Cluster Pieter Bruegellaan met doelscenario  $V_{max}=0,8$ , worden de onderstaande maatregelen sets voorgesteld:

- Maatregelenset 1: Een diepwand van 15 m diepte ter plaatse van teen spoortalud.
- Maatregelenset 2: Een jet-groutwand van 18 m diepte ter plaatse van teen spoortalud.
- Maatregelenset 3: Een MIP-wand van 20 m diepte ter plaatse van teen spoortalud.

Tabel 9 Maatregelenanalyse voor Cluster Pieter Bruegellaan met het doelscenario  $V_{max}=0,8$ 

Criterion	Maatregelenset 1: 15 m diepe diepwand	Maatregelenset 2: 18 m diepe jet-groutwand	Maatregelenset 3: 20 m diepe MIP-wand
Benodigde reductie [%]	17	17	17
Additionele max reductie benodigd [%]	0	0	0
Aantal panden gemitigeerd [-]	26 (van 26)	26 (van 26)	26 (van 26)
Maximaal trillingsniveau ( $V_{max}$ )	0,79	0,79	0,79
Kosten [€]	€ 7.323.651	€ 15.957.992	€ 1.779.234

Op basis van de kostenvergelijking wordt voor dit scenario gekozen voor de maatregelenset 20 m diepe MIP wand. De TROC heeft een lengte van circa 260 m.

### 3.3.3 Doelscenario 30%

Uit de analyse volgt (zie bijlage A) dat voor 77 panden een overschrijding van de streefwaarde 30% is bepaald.

Voor Cluster Pieter Bruegellaan met doelscenario 30%, worden de onderstaande maatregelensets voorgesteld:

- Maatregelen set 1: Een diepwand van 20 m diepte ter plaatse van teen spoortalud.
- Maatregelen set 2: Een jet-groutwand van 23 m diepte ter plaatse van teen spoortalud.

Tabel 10 Maatregelenanalyse voor Cluster Pieter Bruegellaan met het doelscenario 30%

Criterion	Maatregelenset 1: diepwand 20 m diep	Maatregelenset 2: jet-groutwand 23 m diep
Benodigde reductie [%]	33	33
Additionele max reductie benodigd [%]	0	0
Aantal panden gemitigeerd [-]	49 (van 77)	49 (van 77)
Maximaal trillingsniveau ( $V_{MAX}$ )	0,70	0,70
Maximaal trillingsniveau ( $V_{PER}$ )	0,09	0,09
Kosten [€]	€ 12.432.350	€ 27.901.613

Op basis van de kostenvergelijking wordt voor dit scenario gekozen voor de maatregelenset 20 m diepe diepwand. De TROC heeft een lengte van circa 380 m.

## 4 BEOORDELING EFFECTIVITEIT

### 4.1 Aanpak

In dit hoofdstuk is het aantal gehinderde bewoners als gevolg van trillingen berekend. Dit is uitgevoerd volgens de methodiek vastgesteld door RIVM (ref [4]).

In deze methodiek wordt het hinderpercentage bepaald op basis van de formules van RIVM (zie bijlage D) waarin de RMS is gehanteerd in plaats van  $V_{per}$  en  $V_{dmax}$  in plaats van  $V_{max}$ .

Hiervoor zijn de volgende relaties aangehouden:

$$L_{vdmax} = (\log_{10}(V_{dmax}) + 0.5) / 0.86733;$$

$$RMS = V_{perRef}(\text{gebouw}) * 11 / 1000;$$

$$L_{RMS} = (\log_{10}(RMS) + 4) / 1.1564;$$

$$\begin{aligned} \text{HinderpercRef}(\text{gebouw}) = & \max([0, (- \\ & 0.46 * L_{vdmax}^4 + 0.85 * L_{vdmax}^3 + 7.62 * L_{vdmax}^2 + 12.72 * L_{vdmax} + 7.522), \\ & (-0.527 * L_{RMS}^4 + 2.085 * L_{RMS}^3 + 9.85 * L_{RMS}^2 + 10.785 * L_{RMS} + 3.91) ]); \end{aligned}$$

Na het bepalen van de hinder percentages per gebouw, zijn de aantallen gehinderde bewoners bepaald op basis van de volgende formule:

Aantal gehinderde bewoners = aantal bewoners \* hinder percentage (bovenstaande formule)

In bijlage D is een voorbeeld van deze betekening weergegeven.

### 4.2 Aantal gehinderde bewoners

Onderstaand zijn de resultaten van de analyse voor het aantal gehinderde bewoners na het toepassen van de verschillende doelscenario's (respectievelijk  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en 30%) en inclusief effect van maatregelen in tabelvorm weergegeven.

#### 4.2.1 Doelscenario $V_{max}=0,4$

Onderstaand zijn de resultaten van de aantallen gehinderde bewoners in het gebied Vught Noord voor doelscenario  $V_{max}=0,4$  weergegeven:

Tabel 11 Aantal gehinderde bewoners volgens de methodiek van RIVM met doelscenario  $V_{max}=0,4$

Cluster   Situatie	Plansituatie zonder maatregelen	$V_{max}=0,4$	Afname aantal gehinderde bewoners door maatregel
Molenvenseweg Noord	12,9	5,2	7,7
Molenvenseweg Zuid	1,2	0,5	0,7
Pieter Bruegellaan	33,3	26,5	6,8
Totaal	47,4	32,2	15,2

## 4.2.2 Doelscenario Vmax=0,8

Onderstaand zijn de resultaten van de aantallen gehinderde bewoners in het gebied Vught Noord voor doelscenario Vmax=0,8 weergegeven:

Tabel 12 Aantal gehinderde bewoners volgens de methodiek van RIVM met doelscenario Vmax=0,8

Cluster   Situatie	Plansituatie zonder maatregelen	Vmax=0,8	Afname aantal gehinderde bewoners door maatregel
Molenvenseweg Noord	12,9	6,5	6,4
Molenvenseweg Zuid	1,2	1,1	0,1
Pieter Bruegellaan	33,3	30,4	2,9
Totaal	47,4	38,0	9,4

## 4.2.3 Doelscenario 30%

Onderstaand zijn de resultaten van de aantallen gehinderde bewoners in het gebied Vught Noord voor doelscenario 30% weergegeven:

Tabel 13 Aantal gehinderde bewoners volgens de methodiek van RIVM met doelscenario 30%

Cluster   Situatie	Plansituatie zonder maatregelen	Maximaal 30% toename	Afname aantal gehinderde bewoners door maatregel
Molenvenseweg Noord	12,9	8,2	4,7
Molenvenseweg Zuid	1,2	0,3	0,9
Pieter Bruegellaan	33,3	26,5	6,8
Totaal	47,4	35,0	12,4

## 5 SAMENVATTING

Onderstaand is de samenvatting van de uitgevoerde aanvullende maatregelenanalyse voor het aspect trillingen voor het gebied Vught Noord weergegeven in termen van respectievelijk het benodigde reductie percentage door maatregelen(sets), de kosten van de maatregelen, en de effectiviteit van de maatregelen in de vorm van de afname van het aantal gehinderden.

Tabel 14 Overzicht streefwaarden reductie van trillingsniveaus per cluster en per doelscenario

Cluster   Doelscenario	Vmax=0,4	Vmax=0,8	30%
Molenvenseweg Noord	84%	69%	44%
Molenvenseweg Zuid	60%	21%	43%
Pieter Bruegellaan	58%	17%	33%

Tabel 15 Overzicht kosten per cluster en per doelscenario

Cluster   Doelscenario	Vmax=0,4	Vmax=0,8	30%
Molenvenseweg Noord	€ 9,2 m	€ 7,1 m	€ 6,6 m
Molenvenseweg Zuid	€ 1,1 m	€ 0,4 m	€ 1,4 m
Pieter Bruegellaan	€ 12,4 m	€ 1,8 m	€ 12,4 m

Tabel 16 Aantal gehinderde bewoners en afname gehinderde bewoners per doelscenario en cluster

Cluster   Situatie	Plansituatie zonder maatregelen	Vmax=0,4 na maatregel		Vmax=0,8 na maatregel		30% na maatregel	
		Aantal gehinderde bewoners	Afname aantal gehinderde bewoners	Aantal gehinderde bewoners	Afname aantal gehinderde bewoners	Aantal gehinderde bewoners	Afname aantal gehinderde bewoners
Molenvenseweg Noord	12,9	5,2	7,7	6,5	6,4	8,2	4,7
Molenvenseweg Zuid	1,2	0,5	0,7	1,1	0,1	0,3	0,9
Pieter Bruegellaan	33,3	26,5	6,8	30,4	2,9	26,5	6,8
Totaal	47,4	32,2	15,2	38,0	9,4	35,0	12,4

Op basis van tabel 15 en 16 is in onderstaande tabel de effectiviteit van de maatregelen uitgedrukt in kosten per minder gehinderde.

Tabel 17 Overzicht kosteneffectiviteit per minder gehinderde bewoners (uitgedrukt in k€/minder gehinderde)

Cluster   Doelscenario	Vmax=0,4	Vmax=0,8	30%
Molenvenseweg Noord	€ 1,2 m	€ 1,1 m	€ 1,4 m
Molenvenseweg Zuid	€ 1,6 m	€ 3,0 m	€ 1,6 m
Pieter Bruegellaan	€ 1,9 m	€ 0,6 m	€ 1,9 m

Uit de bovenstaande tabellen volgt dat:

- Bij de Clusters Molenvenseweg Zuid en Pieter Bruegellaan is de benodigde reductie voor het doelscenario het hoogst bij scenario  $V_{MAX} = 0,4$  en het laagst bij scenario  $V_{MAX} = 0,8$ .
- Bij het Cluster Molenvenseweg Noord wordt het laagste reductiepercentage gevonden bij het doelscenario 30%. Deze afwijking is het gevolg van enkele hoge waarden van  $V_{MAX} (> 1,0)$  die bij dit cluster in de referentie situatie zijn bepaald.
- De hoogste kosten van de maatregelen zijn van toepassing bij het Cluster Molenvenseweg Zuid.
- De grootste afname van de aantallen gehinderde bewoners wordt bereikt als de maatregelen voor alle clusters worden toegepast op basis van het doelscenario  $V_{MAX} = 0,4$ .
- De hoogste afname van de aantallen gehinderde bewoners (in orde van 6 a 7) zijn bij het Cluster Molenvenseweg Noord bij doelscenario's  $V_{MAX} = 0,4$  en  $V_{MAX} = 0,8$  en het Cluster Pieter Bruegellaan bij doelscenario's  $V_{MAX} = 0,4$  en 30%.
- In alle gevallen met uitzondering van het Cluster Pieter Bruegellaan bij het doelscenario  $V_{MAX} = 0,8$  zijn de kosten van de maatregelen per afname van de aantallen gehinderde bewoners groter dan € 1,0 m.
- De afname van de aantallen gehinderde bewoners bij het doelscenario  $V_{MAX} = 0,8$  en voor het Cluster Molenvenseweg Zuid is laag (afname van 1,2 naar 1,1). Daardoor is de kosteneffectiviteit van deze combinatie doelscenario en cluster laag.
- De hoogste kosteneffectiviteit is voor Cluster Pieter Bruegellaan bij doelscenario  $V_{MAX} = 0,8$  hoewel de afname van de aantallen gehinderde bewoners beperkt is (orde < 10%).



## BIJLAGE A BEOORDELINGSVARIANTEN

*Toelichting op tabel:*

In de navolgende tabel wordt per pand in het gebied Vught Noord de berekende  $V_{max}$  en  $V_{per}$  en de benodigde reductiepercentage voor en na het toepassen van de maatregelen weergegeven, zoals berekend met doelscenario's  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en 30%.

*Toelichting op de kolommen:*

De kolommen 1 t/m 7 zijn in drie verschillende kleuren (groen, licht rood en oranje) weergegeven. Groene kleur betekent dat deze rij panden in het Cluster Molenvenseweg Noord ligt. Licht rode kleur betekent dat deze rij panden in het Cluster Molenvenseweg Zuid ligt. Oranje kleur betekent dat deze rij panden in het Cluster Pieter Bruegellaan ligt.

In de kolommen 8 en 9 zijn de  $V_{max}$  referentie en  $V_{max}$  doelwaarde per rij panden weergegeven.

In de kolommen 10 en 11 zijn de  $V_{per}$  referentie en  $V_{per}$  doelwaarde per rij panden weergegeven.

In de kolommen 12 t/m 15 zijn de  $V_{max}$  doelwaarde voor doelscenario's  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en  $V_{max}$  30% en  $V_{per}$  doelwaarde voor  $V_{per}$  30% respectievelijk per rij panden weergegeven.

In de kolommen 16 en 17 zijn de  $V_{max}$  plansituatie en  $V_{per}$  plansituatie per rij panden weergegeven.

In de kolommen 18 t/m 21 zijn de benodigde reductiepercentage van  $V_{max}$  voor doelscenario's  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en 30% en  $V_{per}$  voor doelscenario 30% respectievelijk per rij panden weergegeven.

In de kolommen 22 t/m 24 zijn de effectiviteit van de maatregel voor doelscenario's  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en 30% respectievelijk per rij panden weergegeven.

In de kolommen 25 t/m 28 zijn de  $V_{max}$  waarden na het toepassen van de maatregelen voor doelscenario's  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en 30% en  $V_{per}$  waarden na het toepassen van de maatregelen voor doelscenario 30% respectievelijk per rij panden weergegeven.

In de kolommen 29 t/m 31 zijn de extra benodigde reductiepercentages na het toepassen van de maatregelen voor doelscenario's  $V_{max}=0,4$ ,  $V_{max}=0,8$  en 30% respectievelijk per rij panden weergegeven.





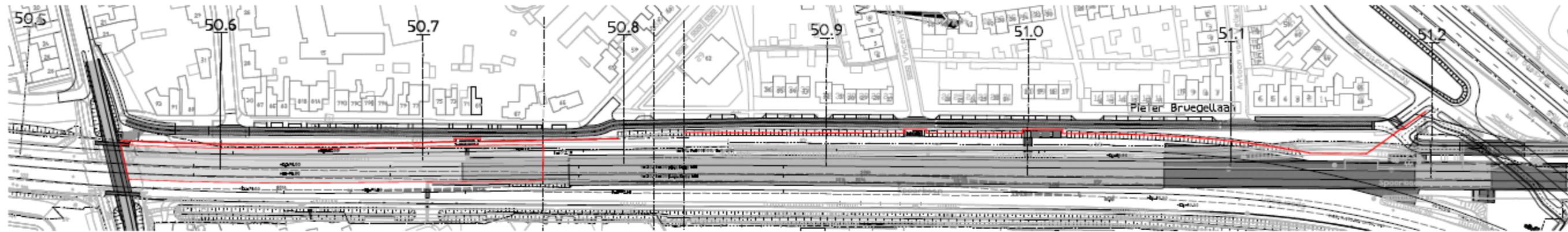
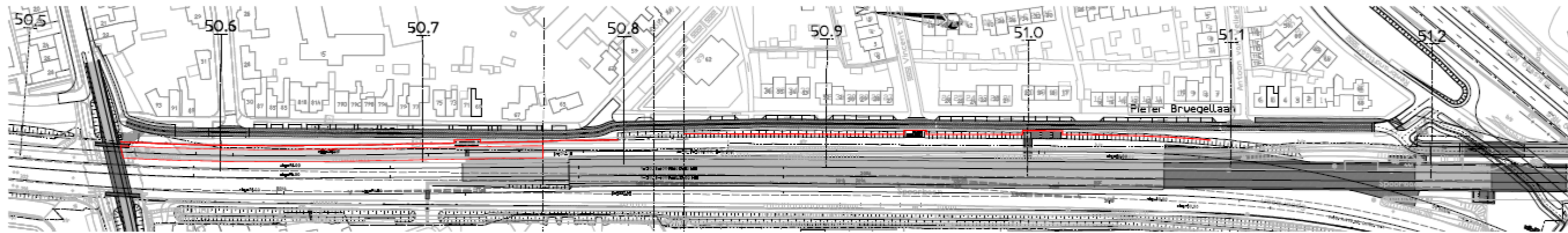
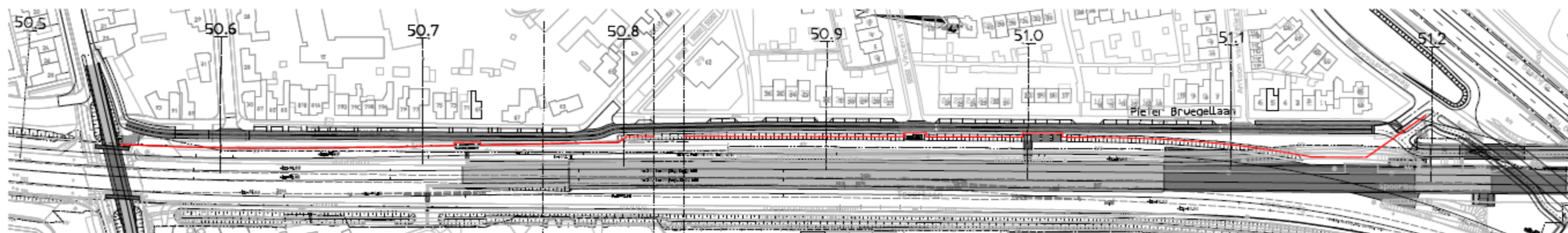




1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
PANDID	Straat	Huisnr	Bouwjaar	Woonen	Kilome	D_ref	Vmax	Vmax	Vper	Vmax	Vmax	Vmax	Vper	Max	Max	Reductie	Reductie	Reductie	Reductie	Effect	Effect	Effect	Vmax	Vmax	Vmax	Vper	Vmax	Vmax	Vmax	
				nheden	trering		ref	doelwa	ref	doelwa	doelwa	doelwa	doelwa	Vmax	Vper	Vmax	Vmax	Vmax	Vper	actie	actie	actie	actie 0,4	actie 0,8	actie 30%	actie 30%	extra	extra	extra	
								de	arde	rde 0,4	rde 0,8	rde 30%	rde 30%	BTS	BTS	0,4	0,8	30%	30%	0,4	0,8	30%	0,4	0,8	30%	30%	red. 0,4	red. 0,8	red. 30%	
086510000009257	Antoon van Wellestraat	3	1954	1	51.09	83.9	0.1669	0.2169	0.0172	<A3	0.4040	0.8040	0.2169	n.v.t.	0.2308	0.0279	0%	0%	6%	0%	50%	0%	50%	0.1157	0.2308	0.1157	0.0140	0%	0%	0%
086510000009256	Antoon van Wellestraat	5	1954	1	51.09	77.9	0.1824	0.2371	0.0189	<A3	0.4040	0.8040	0.2371	n.v.t.	0.2569	0.0310	0%	0%	8%	0%	24%	0%	24%	0.1959	0.2569	0.1959	0.0236	0%	0%	0%
086510000009250	Pieter Bruegellaan	8	1954	1	51.09	38.4	0.4519	0.4040	0.0531	<A3	0.4040	0.8040	0.5875	n.v.t.	0.7895	0.0985	49%	0%	26%	0%	28%	14%	28%	0.5676	0.6790	0.5676	0.0708	21%	0%	0%
086510000006331	Antoon van Wellestraat	1	1954	1	51.09	90.1	0.1517	0.1972	0.0156	<A3	0.4040	0.8040	0.1972	n.v.t.	0.2097	0.0254	0%	0%	6%	0%	37%	0%	37%	0.1314	0.2097	0.1314	0.0159	0%	0%	0%
086510000006329	Antoon van Wellestraat	9	1954	1	51.09	65.8	0.2243	0.2916	0.0237	<A3	0.4040	0.8040	0.2916	n.v.t.	0.3325	0.0400	0%	0%	12%	0%	28%	4%	28%	0.2396	0.3192	0.2396	0.0289	0%	0%	0%
086510000006328	Antoon van Wellestraat	11	1954	1	51.09	59.9	0.2538	0.3299	0.0272	<A3	0.4040	0.8040	0.3299	n.v.t.	0.3887	0.0469	0%	0%	15%	0%	27%	8%	27%	0.2823	0.3576	0.2823	0.0341	0%	0%	0%
086510000006330	Antoon van Wellestraat	7	1954	1	51.09	72.2	0.1977	0.2570	0.0206	<A3	0.4040	0.8040	0.2570	n.v.t.	0.2838	0.0342	0%	0%	9%	0%	51%	0%	51%	0.1378	0.2838	0.1378	0.0166	0%	0%	0%
086510000007575	Pieter Bruegellaan	7	1954	1	51.09	38.4	0.4519	0.4040	0.0531	<A3	0.4040	0.8040	0.5875	n.v.t.	0.7895	0.0985	49%	0%	26%	0%	51%	0%	51%	0.3834	0.7895	0.3834	0.0478	0%	0%	0%
086510000006334	Molenvenseweg	12	1964	1	51.11	82.3	0.1693	0.2201	0.0175	<A3	0.4040	0.8040	0.2201	n.v.t.	0.2270	0.0274	0%	0%	3%	0%	28%	0%	28%	0.1644	0.2270	0.1644	0.0199	0%	0%	0%
086510000006344	Pieter Bruegellaan	6	1954	1	51.12	35.5	0.5010	0.4040	0.0598	<A3	0.4040	0.8040	0.6512	n.v.t.	0.7895	0.0985	49%	0%	18%	0%	21%	0%	21%	0.6207	0.7895	0.6207	0.0774	27%	0%	0%
086510000006335	Molenvenseweg	10	1954	1	51.12	83.3	0.1669	0.2169	0.0172	<A3	0.4040	0.8040	0.2169	n.v.t.	0.2233	0.0270	0%	0%	3%	0%	28%	0%	28%	0.1612	0.2233	0.1612	0.0195	0%	0%	0%
086510000006343	Pieter Bruegellaan	5	1954	1	51.12	35.5	0.5010	0.4040	0.0598	<A3	0.4040	0.8040	0.6512	n.v.t.	0.7895	0.0985	49%	0%	18%	0%	24%	0%	24%	0.6021	0.7895	0.6021	0.0751	25%	0%	0%
086510000007583	Rembrandtlaan	58	1954	1	51.13	69.4	0.2083	0.2708	0.0218	<A3	0.4040	0.8040	0.2708	n.v.t.	0.2838	0.0342	0%	0%	5%	0%	49%	0%	49%	0.1441	0.2838	0.1441	0.0173	0%	0%	0%
086510000006342	Pieter Bruegellaan	4	1954	1	51.13	35.5	0.5010	0.4040	0.0598	<A3	0.4040	0.8040	0.6512	n.v.t.	0.7589	0.0945	47%	0%	14%	0%	29%	0%	29%	0.5370	0.7589	0.5370	0.0669	18%	0%	0%
086510000007584	Rembrandtlaan	60	1954	1	51.13	63.4	0.2333	0.3033	0.0248	<A3	0.4040	0.8040	0.3033	n.v.t.	0.3170	0.0382	0%	0%	4%	0%	49%	0%	49%	0.1606	0.3170	0.1606	0.0193	0%	0%	0%
086510000006341	Pieter Bruegellaan	3	1954	1	51.13	35.5	0.5010	0.4040	0.0598	<A3	0.4040	0.8040	0.6512	n.v.t.	0.7299	0.0907	45%	0%	11%	0%	50%	0%	50%	0.3658	0.7299	0.3658	0.0455	0%	0%	0%
086510000006340	Pieter Bruegellaan	2	1954	1	51.14	35.5	0.5010	0.4040	0.0598	<A3	0.4040	0.8040	0.6512	n.v.t.	0.7024	0.0871	42%	0%	7%	0%	28%	0%	28%	0.5024	0.7024	0.5024	0.0623	14%	0%	0%
086510000006336	Rembrandtlaan	62	1954	1	51.14	53.2	0.2920	0.3796	0.0320	<A3	0.4040	0.8040	0.3796	n.v.t.	0.3887	0.0469	0%	0%	2%	0%	24%	0%	24%	0.2969	0.3887	0.2969	0.0359	0%	0%	0%
086510000006339	Pieter Bruegellaan	1	1954	1	51.15	35.5	0.5010	0.4040	0.0598	<A3	0.4040	0.8040	0.6512	n.v.t.	0.6763	0.0837	40%	0%	4%	0%	37%	0%	37%	0.4238	0.6763	0.4238	0.0525	3%	0%	0%
086510000006337	Rembrandtlaan	64	1954	1	51.15	55.2	0.2781	< 30%	0.0302	<A3	0.4040	0.8040	0.3615	n.v.t.	0.3586	0.0432	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0.3586	0.3586	0.3586	0.0432	0%	0%	0%
086510000006338	Rembrandtlaan	66	1954	1	51.16	41.4	0.4098	0.4040	0.0474	<A3	0.4040	0.8040	0.5328	n.v.t.	0.5456	0.0668	26%	0%	2%	0%	33%	0%	33%	0.3646	0.5456	0.3646	0.0446	0%	0%	0%
086510000007585	Rembrandtlaan	68	1959	1	51.17	34.0	0.5191	0.4040	0.0623	<A3	0.4040	0.8040	0.6748	n.v.t.	0.7024	0.0871	42%	0%	4%	0%	29%	0%	29%	0.5022	0.7024	0.5022	0.0623	14%	0%	0%

**BIJLAGE B MAATREGELENKAARTEN**

Bovenste tekening betreft de maatregelen set voor doelscenario  $V_{max}=0,4$   
Middelste tekening betreft de maatregelen set voor doelscenario  $V_{max}=0,8$   
Onderste tekening betreft de maatregelen set voor doelscenario 30%

**Doelscenario 1  $v_{max}$  0,4****Doelscenario 2  $v_{max}$  0,8****Doelscenario 3 30%**

## BIJLAGE C MAATREGELENKOSTEN

Meer informatie op te vragen bij ProRail.



## BIJLAGE D BEOORDELING EFFECTIVITEIT

Onderstaand is een voorbeeld weergegeven voor de berekening van de aantallen gehinderde bewoners volgens de methodiek van RIVM:

Uitgangspunt uit het model BTS:

Pand	Bouwjaar	Woonheden	Aantal bewoners	Kilometre ring	D_ref [m]	Vmax ref	Vmax doelwaarde	Vper ref	Vper doelwaarde	Vper	Vmax
Molenvense weg 91	1969	1	2,4	50,58	26	0,58 12	0,4040	0,04 14	< A3	0,08 57	1,09 15

Op basis van RIVM formule:

$$Lvdmax = (\log_{10}(Vdmax) + .5) / .86733;$$

$$RMS = VperRef(gebouw) * 11 / 1000;$$

$$LRMS = (\log_{10}(RMS) + 4) / 1.1564;$$

$$HinderpercRef(gebouw) = \max([0, (-0.46 * Lvdmax^4 + .85 * Lvdmax^3 + 7.62 * Lvdmax^2 + 12.72 * Lvdmax + 7.522), (-0.527 * LRMS^4 + 2.085 * LRMS^3 + 9.85 * LRMS^2 + 10.785 * LRMS + 3.91)]);$$

Het is uitgegaan dat Vdmax is 1,15 groter dan Vmax per pand.

Hiermee berekenen we de tussenwaarden in onderstaande tabellen.

RMS	LRMS	Vdmax	Lvdmax	Hinderperref (%)
0,0005	0,5693	0,6684	0,3748	13,5716

In de bovenstaande tabel zijn Vmax ref en Vper ref gehanteerd. Onderstaand is de gelijk actie met Vmax;plan en Vper;plan:

RMS	LRMS	Vdmax	Lvdmax	Hinderperref (%)
0,0009	0,84245	1,2552	0,6903	20,9679

Laatste stap volgende op de RIVM-methode is berekening van het aantal gehinderde bewoners:

Aantal gehinderde bewoners: aantal bewoners (hierbij 2,4) \* hinderpercentage ref /plan

$$\text{Ref situatie} = 2,4 * 0,135716 = 0,3257$$

$$\text{Plansituatie} = 2,4 * 0,209679 = 0,5032$$

## COLOFON

PHS METEREN BOXTEL  
AANVULLEND ONDERZOEK TRILLINGSMAATREGELEN ANALYSE VUGHT - NOORD

**AUTEUR**  
Saeed Hosseinzadeh

**ONZE REFERENTIE**  
083687335 C.1

**DATUM**  
21 november 2018

**GECONTROLEERD DOOR**

**VRIJGEGEVEN DOOR**

Peter Schouten

Martin Blikman

**Arcadis Nederland B.V.**

Postbus 220  
3800 AE Amersfoort  
Nederland  
+31 (0)88 4261261

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)