

D79-GBA-KA-1800039

18 september 2018 - Versie 1.0

## Autorisatieblad

### Trillingsonderzoek Nieuwe Delft

Trillingen door treinverkeer in de spoortunnel te Delft

	<b>Naam</b>	<b>Akkoord</b>	<b>Datum</b>
Opgesteld door	Bastiaens, G	✓	14-09-2018
Gecontroleerd door	Stuit, HG		
Vrijgegeven door	Boon, PM	✓	18-09-2018

Op dit autorisatieblad ontbreken de handtekeningen wegens de digitale verwerking van ons vrijgaveproces. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

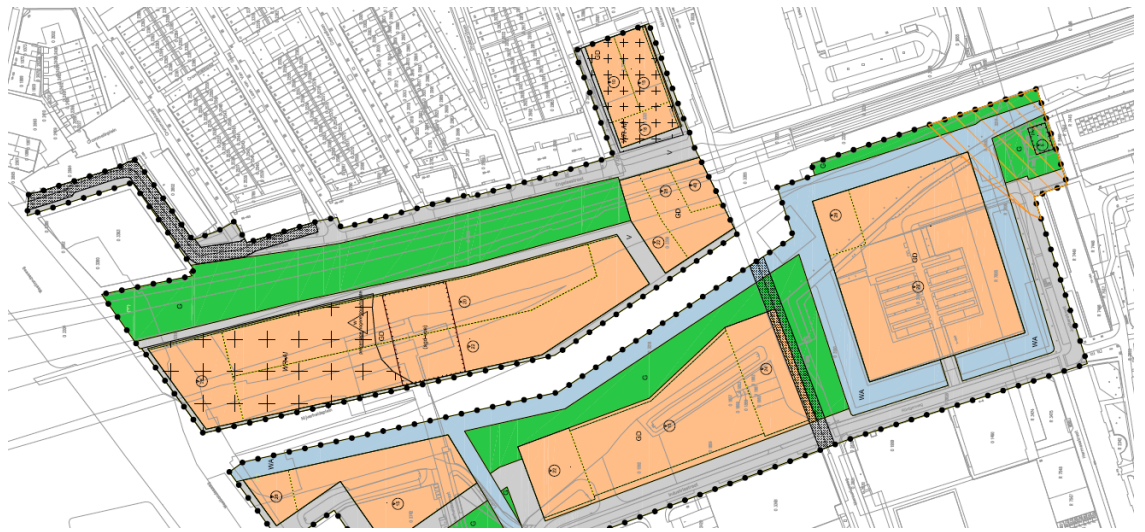
#### Versie historie

<b>Versie</b>	<b>Naam</b>	<b>Datum</b>	<b>Korte toelichting</b>

## Samenvatting

De gemeente Delft is bezig met het opstellen van het bestemmingsplan voor Nieuw Delft ten zuiden van de Westlandseweg. Het onderzoeksgebied is weergegeven in onderstaande figuur. Op basis van de afstand tot het spoor en het spoorgebruik is trillingshinder in gebouwen niet op voorhand uit te sluiten. Er is gevraagd een trillingsonderzoek uit te voeren waarmee inzicht wordt gegeven in het volgende:

- De trillingen vanuit het treinverkeer;
- De verwachte impact hiervan op nieuw te bouwen gebouwen;
- De verwachte impact van laag frequent geluid



**Figuur 2-1** *Nieuwe Delft*

Aan de hand van de meetresultaten van vijf langeduurmetingen op verschillende locaties langs het spoor zijn er trillingsterktes berekend op funderingsniveau op verschillende afstanden van het spoor. Hierbij is gebruik gemaakt van de resultaten van de overige metingen twee op andere locaties. Er is in totaal op zeven locaties gemeten. Alleen voor de locatie Engelsestraat Noord op 5 meter van het spoor is er een overschrijding van het beoordelingskader, als de verwerkingsmethode van de SBR B wordt gevolgd. Voor alle andere locaties zijn er geen overschrijdingen op funderingsniveau.

Op een afstand van 5 meter van het spoor wordt op alle vijf de meetlocaties het toetskader voor laagfrequent geluid overschreden. Bij de locatie Engelsestraat midden vindt ook een overschrijding plaats op 10 meter uit het spoor. Bij locatie Engelsestraat zuid wordt op 20 meter uit het spoor het kader overschreden.

In de berekeningen die gemaakt zijn is aangenomen dat er geen versterking van de trillingen en het laagfrequente geluid plaatsvindt in het gebouw. In een toekomstig ontwerp moet daar rekening mee gehouden worden. Op korte afstand uit het spoor is er op sommige locaties een reductie van de trillingen nodig om te voldoen aan het beoordelingskader. Bij alle locaties is er dicht op het spoor een reductie van de laagfrequent geluidswaarden nodig.

## Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1 Aanleiding	4
1.2 Doel	4
1.3 Aanpak	4
1.4 Leeswijzer	5
<b>2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten</b>	<b>6</b>
2.1 Inleiding	6
2.2 Omgeving	6
2.3 Bestemmingsplan	6
2.4 Meetlocaties	7
<b>3 Beoordelingskader</b>	<b>10</b>
3.1 Trillingen	10
3.1.1 SBR-B	10
3.1.2 Bts	12
3.2 Laagfrequent geluid	12
3.2.1 Werkwijze	12
3.2.2 Beoordelingskader	13
<b>4 Meetresultaten</b>	<b>14</b>
4.1 Inleiding	14
4.2 Meetresultaten langeduurmetingen	14
4.3 Meetresultaten bouwkuip	16
4.4 Meetresultaten Abtswoudseweg 18	17
<b>5 Analyse en berekeningen</b>	<b>18</b>
5.1 Prognosemethode trillingen	18
5.1.1 Overdracht maaiveld naar fundering	18
5.1.2 Uitdemping bodem	19
5.2 Prognosemethode laagfrequent geluid	20
5.2.1 Overdracht fundering naar midden vloerveld	20
5.2.2 Aannames nieuwe woningen	21
5.3 Resultaten	21
5.3.1 Trillingswaarden op Funderingsniveau	21
5.3.2 Laag frequent geluid	22
<b>6 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>23</b>
<b>Colofon</b>	<b>24</b>
<b>Bijlage I Aannames woningen</b>	<b>25</b>
<b>Bijlage II Resultaten straatkastmetingen</b>	<b>26</b>
<b>Bijlage III Bodemgegevens</b>	<b>28</b>



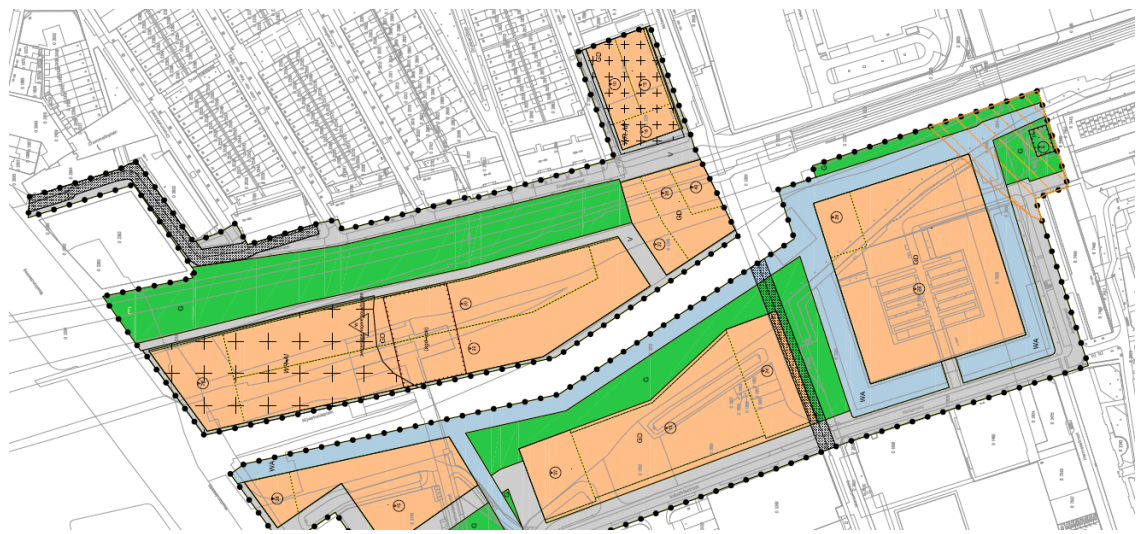


## Inleiding

### 1.1 Aanleiding

De gemeente Delft is bezig met het opstellen van het bestemmingsplan voor Nieuw Delft ten zuiden van de Westlandseweg. Het onderzoeksgebied is weergegeven in onderstaande figuur. Op basis van de afstand tot het spoor en het spoorgebruik is trillingshinder in de nieuwe gebouwen niet op voorhand uit te sluiten. Er is gevraagd een trillingsonderzoek uit te voeren waarmee inzicht wordt gegeven in het volgende:

- De trillingen vanuit het treinverkeer;
- De verwachte impact hiervan op nieuw te bouwen gebouwen;
- De verwachte impact van laag frequent geluid



**Figuur 2-2** Nieuwe Delft

### 1.2 Doel

Doel van het huidige onderzoek is om de trillingsbelasting in de geplande woningen in Nieuw Delft te bepalen en, indien nodig, een advies te geven over de maatregelen waarmee trillingshinder voorkomen kan worden.

### 1.3 Aanpak

Trillingen van spoorverkeer zijn locatiespecifiek door verschil in bodemopbouw en spoor- en tunnelgeometrie. Wij hebben daarom om voor dit onderzoek op meerdere locaties gemeten in het projectgebied.

1. Trillingsmetingen ter plaatse van (een deel van) het plangebied, met de bestemming wonen. Deze metingen bestaan uit drie onderdelen:
  - a. Metingen waarmee wij over langere tijd (4 weken) de trillingen op maaiveld vaststellen. Het grillige karakter van goederentreinen (grote variatie in passeertijd, zwaarte, etc.) maakt een langere meetduur noodzakelijk. Verder wordt de variatie door verschil in meetlocatie in kaart gebracht. De meetpunten worden geplaatst aan de oostkant van de tunnel, omdat de westelijke tunnelbuis nog niet in gebruik is. De afstand van de meetpunten tot de tunnelwand wordt afgestemd op de afstand van de tunnel tot de eerste lijn van de toekomstige bebouwing.
  - b. Meting waarmee wij de overdracht van maaiveld naar de fundering van een gebouw op kavel 11 vaststellen.

- c. Meting waarmee wij de overdracht van maaiveld naar palen meten op bouwkavel 5. Ook wordt hier de afname van de trillingen in relatie tot de afstand van het spoor bepaald. Deze meting wordt gedurende weekenden uitgevoerd om verstoring van de meetresultaten door de bouwwerkzaamheden te voorkomen.
2. Op basis van deze gegevens worden verwachte trillingswaarden bepaald in het projectgebied op funderingsniveau op verschillende afstanden van het spoor. Verder worden de verwachte waarden voor laag frequent geluid berekent.

De precieze locaties van de trillingsmetingen zijn gegeven in hoofdstuk 2.

Het trillingsonderzoek in kavel 7 direct boven de tunnel wordt uitgevoerd door Witteveen+Bos.

#### 1.4 Leeswijzer

De situatiebeschrijving is weergegeven in hoofdstuk 2. Het beoordelingskader voor trillingshinder staat beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zijn de meetresultaten weergegeven. Hoofdstuk 5 bevat een analyse van de meetresultaten en advies t.a.v. (bouwkundige) optimalisaties om trillingshinder te voorkomen. Het laatste hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen.

## 2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

### 2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van de meetlocatie en de uitgangspunten voor het onderzoek.

### 2.2 Omgeving

De onderzoekslocatie bevindt zich ten zuiden van de Westlandseweg, en wordt doorkruist door de spoorlijn Delft – Rotterdam. In het meest zuidelijke deel van dit tracé ligt de spoorbaan in een verdiepte bak. Voor het overige deel van het tracé ligt de spoorbaan in een ondergrondse tunnel.

De rijsnelheden van het treinverkeer zijn weergegeven in Tabel 2-1.

**Tabel 2-1** Rijsnelheden treinverkeer conform het geluidsregister spoor ter hoogte van de Abtwoudseweg

Corridor	Type trein	Snelheid ((km/h)
Delft – Rotterdam	Reizigerstreinen stoppend	80
Delft – Rotterdam	Reizigerstreinen doorgaand	70
Delft – Rotterdam	Goederentreinen	90
Rotterdam - Delft	Reizigerstreinen stoppend	104
Rotterdam - Delft	Reizigerstreinen doorgaand	123
Rotterdam - Delft	Goederentreinen	90

Nabij het onderzoeksgebied bevinden zich nog andere trillingsbronnen met een waarneembare trillingsterkte. De voornaamste bronnen zijn trillingen van wegverkeer en van bouwwerkzaamheden, deze zijn van een tijdelijk karakter.

### 2.3 Bestemmingsplan

De velden behorend tot het zuidelijk deel van het bestemmingsplan Nieuwe Delft zijn te zien in Figuur 2-1. Een kaart met straatnamen is te zien in Figuur 2-2.



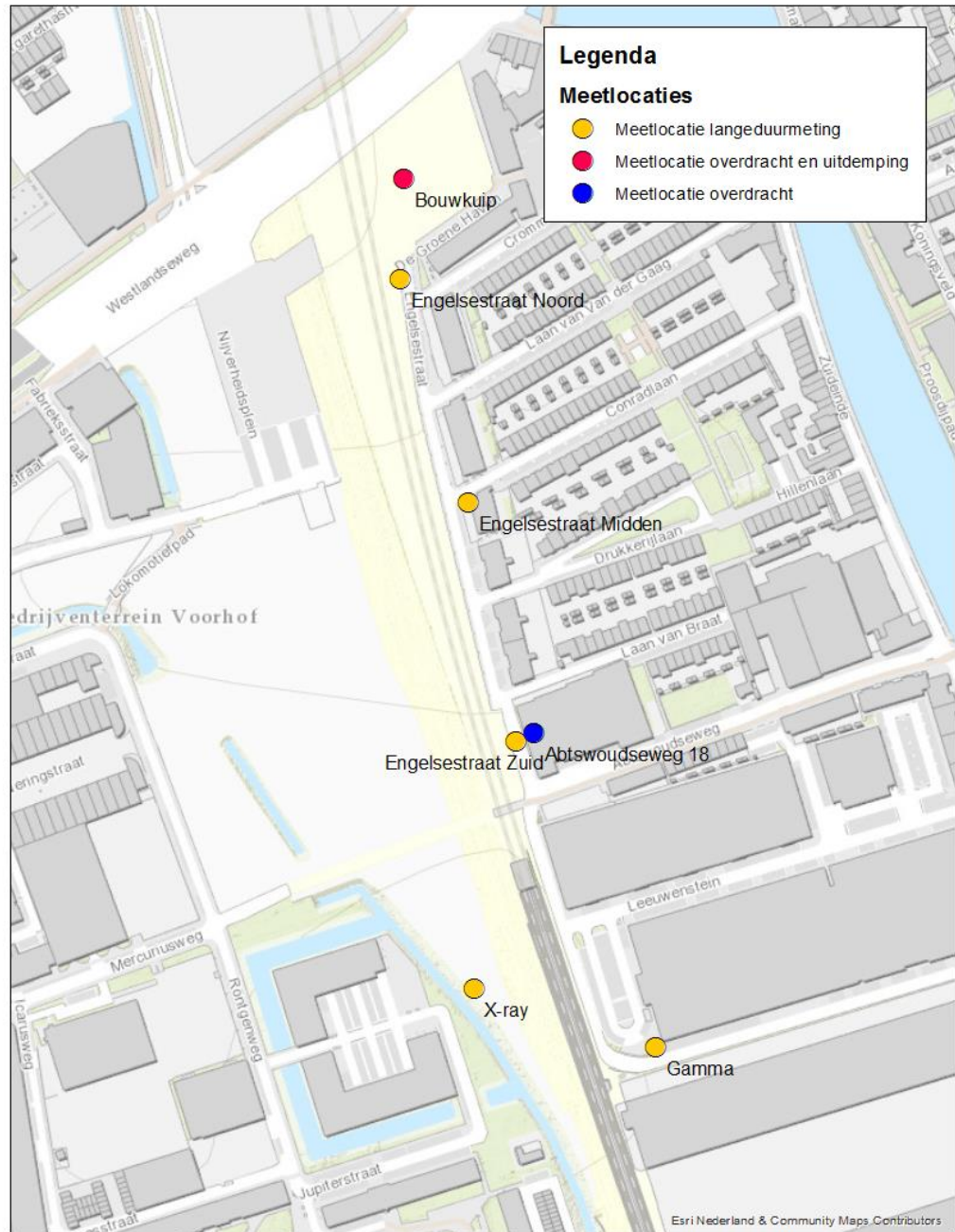


**Figuur 2-1** De zuidelijke kavels van het bestemmingsplan

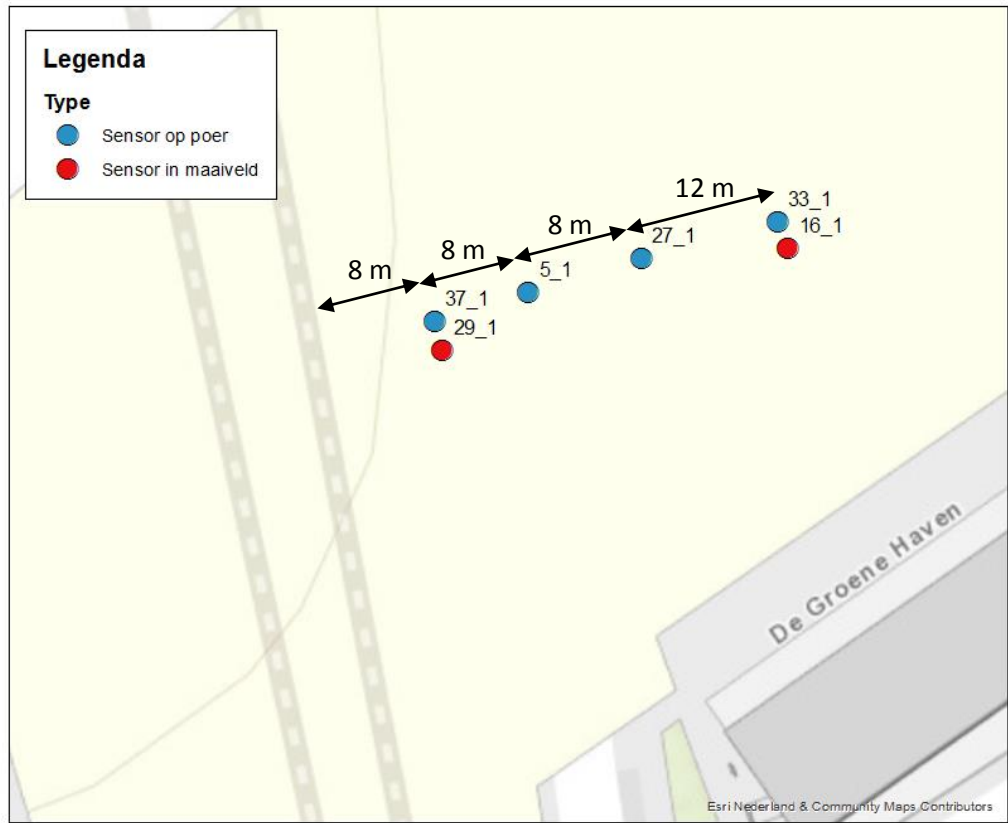
#### 2.4 Meetlocaties

De locaties waar gemeten is in het projectgebied zijn te zien in Figuur 2-2. Er op zeven locaties gemeten. Vijf van deze metingen zijn langduurmetingen die gedurende vier weken de trillingen hebben gemeten. Op veel locaties is het niet mogelijk te meten aan de westzijde van de tunnel. Daarom wordt op een aantal locaties aan de oostzijde gemeten, wat vervolgens gebruikt wordt als prognose voor de trillingsniveaus aan de zuidzijde.

Er is een locatie op kavel 5, aangeduid als bouwkuip, waar de overdracht van maaiveld naar fundering is gemeten. De meetopstelling hier is te zien in Figuur 2-3. Verder is op deze locatie ook de uitdemping van de bodem bepaald. De zevende locatie is in het gebouw Abtswoudseweg 18 waar de overdracht van maaiveld naar fundering is gemeten.



**Figuur 2-2** Meetlocaties in het projectgebied Nieuwe Delft



**Figuur 2-3** *Overzicht meting in de bouwkuip*

## 3 Beoordelingskader

### 3.1 Trillingen

Treinverkeer kan aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot hinder voor omwonenden. De Duitse DIN 4150-2 (1999) norm beschrijft criteria voor het meten en beoordelen van trillingen. De Nederlandse SBR-richtlijn (2002) is hierop gebaseerd. Deze SBR-richtlijn is in Nederland de meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingen en bestaat uit 3 delen:

- Deel A: schade aan gebouwen;
- Deel B: hinder voor personen in gebouwen;
- Deel C: verstoring van apparatuur.

Op basis van langdurige ervaring met trillingen langs het spoor achten wij schade onwaarschijnlijk gezien de afstand tussen de bebouwing en het spoor. Er is daarom niet beoordeeld op de SBR A-richtlijn. Ook verstoring van apparatuur (SBR C-richtlijn) is niet aan de orde. In dit onderzoek is daarom alleen beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

De SBR richtlijn is niet wettelijk vastgelegd. Vooruitlopend op toekomstige wetgeving heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu in 2012 een *Beleidsregel Trillingshinder Spoor* (Bts) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B-richtlijn is. De Bts wordt ook meegenomen in dit onderzoek.

#### 3.1.1. SBR-B

Conform de SBR B-richtlijn worden twee grootheden bepaald:

1. De trillingssterkte  $V_{max}$ . Dit is een dimensieloze indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald per 30 seconden, zie par. 9.2 en 9.3 van de SBR B-richtlijn. Van al deze maximale waarden per 30 seconden wordt de maximale waarde bepaald, de  $v_{eff, max}$ . Vervolgens wordt, op basis van de vijftien hoogst gemeten waarden een statistische berekening uitgevoerd met als resultaat de trillingssterkte die niet wordt overschreden door 95 procent van de passerende treinen, de  $V_{max}$ . Deze trillingssterkte is beoordeeld op de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn;
2. De trillingsintensiteit  $V_{per}$ , een dimensieloze indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 uitkomt. Trillingssnelheden onder de 0.1 zijn niet of nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van  $V_{per}$ . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0.1 uitkomen, zie ook par. 9.8 van de SBR B-richtlijn.

De SBR B-richtlijn kent drie types streefwaarden:

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

De hoogte van de streefwaarden is afhankelijk van een aantal criteria:

1. Of er sprake is van een nieuwe of bestaande situatie;
2. Periode gedurende de dag;



### 3. Gebouwfunctie.

De verschillende criteria worden hieronder toegelicht.

In de SBR B-richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de streefwaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. Omdat het om nieuwe gebouwen gaat langs een bestaande spoorlijn, wordt het onderzoeksgebied beoordeeld als nieuwe situatie, zie par. 10.3 van de SBR B-richtlijn.

De SBR B-richtlijn maakt daarnaast onderscheid tussen dag, avond en nacht. Hierbij geldt dat de streefwaarden van de trillingssterktes gedurende de nacht strenger zijn dan die gedurende de dag en avond. De SBR B-richtlijn kent de volgende periodes: dag (7.00 – 19.00 uur), avond (19.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur). De streefwaarden voor dag en avond zijn aan elkaar gelijk.

Bij metingen aan treinverkeer worden gewoonlijk de streefwaarden voor de nacht gehanteerd, omdat deze strenger zijn dan die van de dag. Deze keuze is gerechtvaardigd omdat het treinverkeer 's nachts doorgaans vergelijkbare trillingen geeft als het treinverkeer overdag.

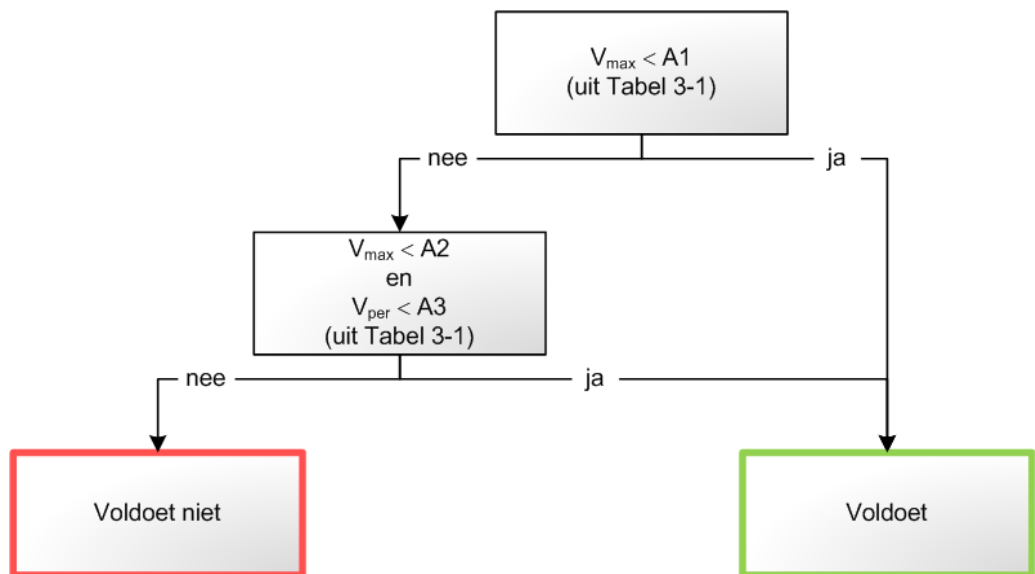
Als derde criterium wordt onderscheid gemaakt naar de functie van een gebouw. De SBR B-richtlijn kent de gebouwfuncties *Gezondheidszorg*, *Wonen*, *Kantoor*, *Bijeenkomsten* en *Kritische werkruimte*. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes. Op basis van deze drie criteria zijn de streefwaarden voor A1, A2 en A3 weergegeven in Tabel 3-1 voor nieuwe situaties. De onderzoekslocaties hebben bestemming *wonen*, zie de omkaderde waarden in Tabel 3-1.

**Tabel 3-1** Streefwaarden nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
<i>Gezondheidszorg</i>	0.1 <sup>1)</sup>	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
<i>Wonen</i>	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
<i>Kantoor</i>	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
<i>Bijeenkomsten</i>	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
<i>Kritische werkruimte</i>	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

<sup>1)</sup> Een streefwaarde van 0.1 betekent een waarde kleiner dan 0.15

Om te beoordelen of een situatie voldoet, dient het schema in Figuur 3-1 te worden doorlopen. Een locatie voldoet aan het beoordelingskader wanneer de trillingssterkte lager is dan A1. Een tweede mogelijkheid om te voldoen is als de trillingssterkte lager is dan A2 en de trillingsintensiteit lager is dan A3.



**Figuur 3-1** Stroomschema beoordeling nieuwe situatie in SBR B-richtlijn

### 3.1.2. Bts

Tot op heden zijn er nog geen richtlijnen voor trillingshinder vastgelegd in wetgeving, zoals dat bijvoorbeeld voor geluidhinder wel het geval is. Vooruitlopend op toekomstige wetgeving heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu in 2012 een *Beleidsregel Trillingshinder Spoor* (Bts) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B-richtlijn is. Naar aanleiding van de uitspraken van de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State op 2 oktober 2013 in zake de Tracébesluiten *Sporen in Arnhem 2012* en *Sporen in Utrecht 2012 deeltracé Utrecht Centraal – Houten*, is de Bts gewijzigd om tegemoet te komen aan de kritiekpunten. De belangrijkste wijzigingen ten opzichte van de eerdere Bts komen tot uiting in:

- Een aanpassing van de meetprocedure. De trillingssterkte wordt bepaald over een meetperiode van tenminste een week;
- De introductie van een naverwerkingsmethode, met als doel een reproduceerbare maximale trillingssterkte te genereren, die vergelijkbaar is met de methode zoals gehanteerd in de SBR B-richtlijn;
- De introductie van een reproduceerbaarheidswaarde  $R$ . Deze factor is een indicatie van de onzekerheid in de meting en eventuele prognoses die zijn gemaakt, en geeft aan in hoeverre het resultaat van een herhaling van de meting of berekeningen kan afwijken van het gegeven resultaat. Wanneer deze  $R$ -waarde hoger is dan 10 procent, wordt bij het beoordelen van de trillings situatie en het nemen van maatregelen rekening gehouden met deze onzekerheid.

## 3.2 Laagfrequent geluid

Laagfrequent geluid ontstaat doordat de vloeren en wanden van gebouwen dichtbij een trillingsbron in trilling worden gebracht. Het trillen van de wanden en vloeren van het gebouw kan hoorbaar geluid veroorzaken, zogenaamd laagfrequent geluid. Doorgaans treedt hinder ten gevolge van laagfrequent geluid op in de buurt van tunnels en andere ondergrondse constructies. Laagfrequent geluid wordt doorgaans niet beoordeeld bij bovengrondse sporen, omdat het gewone, directe geluid het laagfrequent geluid daar maskeert.

### 3.2.1. Werkwijze



In het huidige onderzoek wordt de hinder ten gevolge van laagfrequent geluid bepaald aan de hand van het trillingsspectrum in de gebouwen. Dit spectrum is bepaald met het rekenmodel wat ook voor trillingen wordt gebruikt.

### 3.2.2. Beoordelingskader

Ook voor laagfrequent geluid ontbreekt een wettelijk kader. Bovendien is er in Nederland geen uniforme beoordelingsrichtlijn beschikbaar. Er zijn verschillende methodes in omloop om de hinder ten gevolge van laagfrequent geluid te beoordelen, zoals de NSG-methode [NSG 1999] en de methodiek van De Ruiter [DR 2008]. Deze laatste wordt vooral bij laagfrequent geluid ten gevolge van spoorverkeer veelvuldig toegepast. Derhalve wordt de methodiek van De Ruiter ook in dit onderzoek toegepast. In de methodiek van De Ruiter worden twee beoordelingen uitgevoerd:

1. Een beoordeling van het passageniveau  $L_{Amax}$ , bepaald per trampassage. Vervolgens wordt over alle passages de maximale  $L_{Amax}$  bepaald, en dit wordt getoetst aan een grenswaarde van 35 dB(A). Om de hinder t.g.v. laagfrequent geluid in de gebouwen te bepalen, is het totale, energetisch gesommeerde en A-gewogen geluiddrukkniveau<sup>1</sup> voor het frequentiebereik van 10 tot 250 Hz bepaald en beoordeeld op de grenswaarde van 35 dB(A) uit de methodiek van De Ruiter;
2. Een beoordeling van het passageniveau  $L_{lmax}$ , bepaald per trampassage in de octaafbanden 16, 32, 64 en 125 Hz. De te toetsen waarden per frequentieband is het maximum van alle passages.

De grenswaarden voor de beide beoordelingscriteria zijn weergegeven in Tabel 3-2.

**Tabel 3-2 Grenswaarden laagfrequent geluid uit methodiek van De Ruiter**

	$L_{lmax}$				$L_{Amax}$
	16 Hz	32 Hz	64 Hz	125 Hz	10-250 Hz
Grenswaarde	80 dB	68 dB	55 dB	45 dB	35 dB(A)

<sup>1</sup> Hierbij is het geluiddrukkniveau gecorrigeerd voor het menselijk gehoor.

## 4 Meetresultaten

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen gepresenteerd. Eerst worden de resultaten van de vijf langeduurmetingen op maaiveld gegeven. Vervolgens de resultaten van de meting in de bouwkuip en in het pand Abtwoudseweg 18. Verdere uitwerking van deze metingen is terug te vinden in het volgende hoofdstuk.

### 4.2 Meetresultaten langeduurmetingen

In het plangebied Nieuwe Delft zijn op vijf locaties maaiveldmetingen uitgevoerd gedurende een periode van vier weken. Deze maaiveldmetingen zijn uitgevoerd met zogeheten straatkast opstellingen. De resultaten van deze metingen vindt u terug in onderstaande tabel.

**Tabel 4-1** Resultaten straatkastmetingen

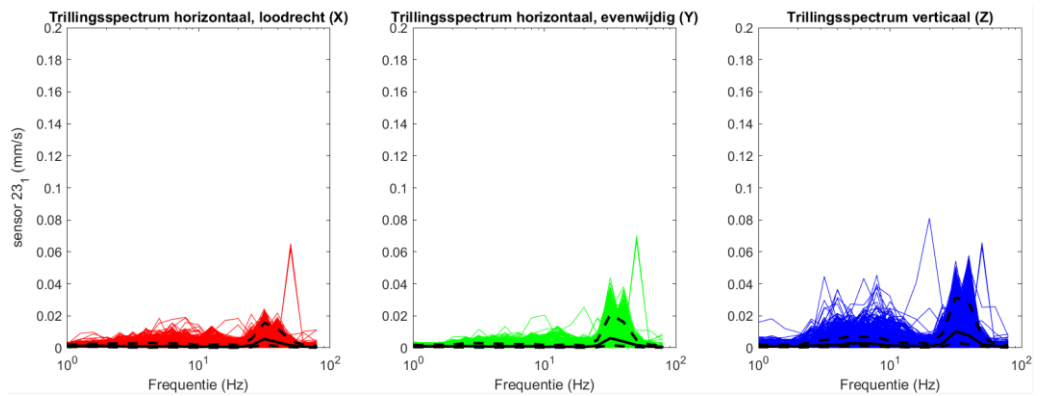
Locatie	Vmax SBR B (mm/s)	Vmax BTS (mm/s)	Vper (mm/s)	R-waarde	Maatgevende richting
Engelsestraat Noord	0,30	0,25	0,03	4	Verticaal
Engelsestraat Midden	0,24	0,18	0,01	3	Horizontaal loodrecht
Engelsestraat Zuid	0,20	0,18	0,01	4	Horizontaal loodrecht
Gamma	0,18	0,16	0,01	3	Verticaal
X-Ray	0,17	0,12	<0,01	7	Verticaal

Op maaiveld wordt bij de Engelsestraat Noord de streefwaarde volgens de SBR B overschreden voor de gemeten  $V_{max}$  waarde volgens de SBR B. Op andere locaties vinden er geen overschrijdingen plaats door de  $V_{max}$  volgens zowel de SBR B als de BTS. De streefwaarde voor de  $V_{per}$  wordt nergens overschreden op maaiveld. De R-waarde, de onzekerheidsmarge, is relatief laag wat er op duidt dat er lang genoeg gemeten is.

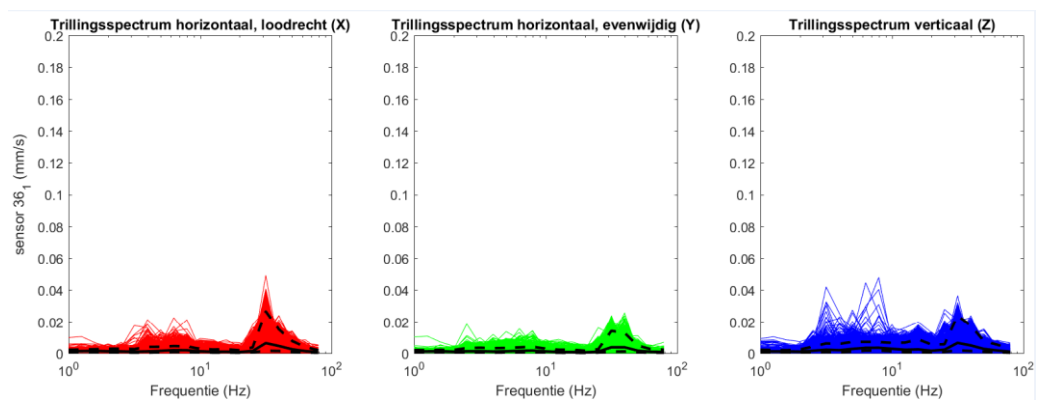
Onderstaande figuren geven de spectra van de trillingen weer voor de straatkastmetingen. Grofweg tekent zich een verschil af tussen de resultaten langs het overdekte deel van de tunnel bak, Engelsestraat Noord, -Midden en -Zuid, en het niet overdekte deel, (tegenover) Gamma.

Verdere resultaten van deze metingen zijn te vinden in Bijlage II.

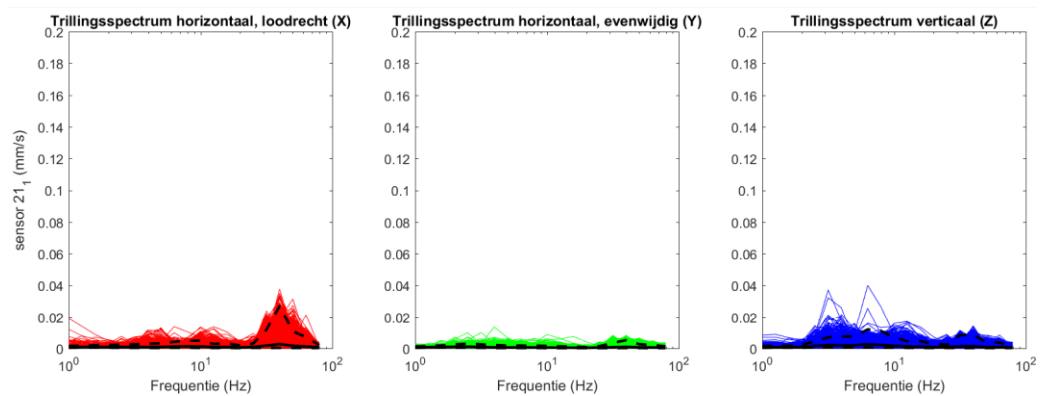
Langs het niet overdekte deel bevinden de maximale waarden zich tussen de 3 en de 10 Hz. Langs het overdekte deel liggen de maxima zo rond de 30 Hz.



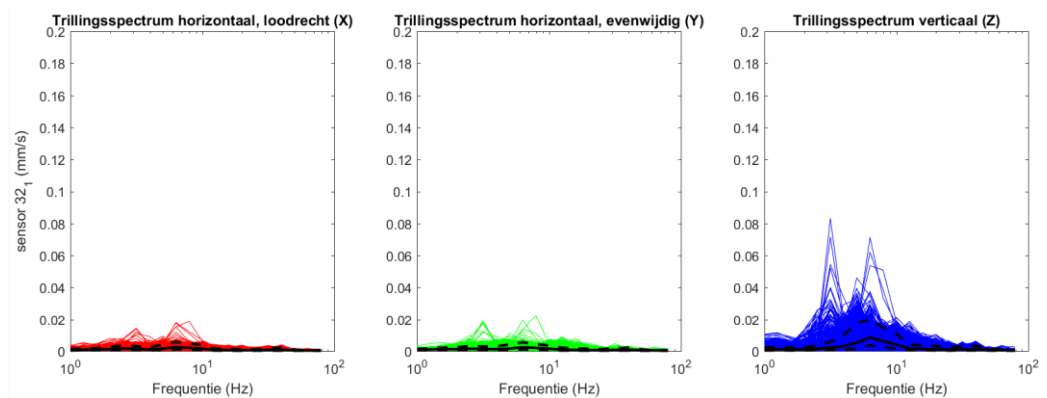
**Figuur 4-1** Spectra Engelsestraat Noord



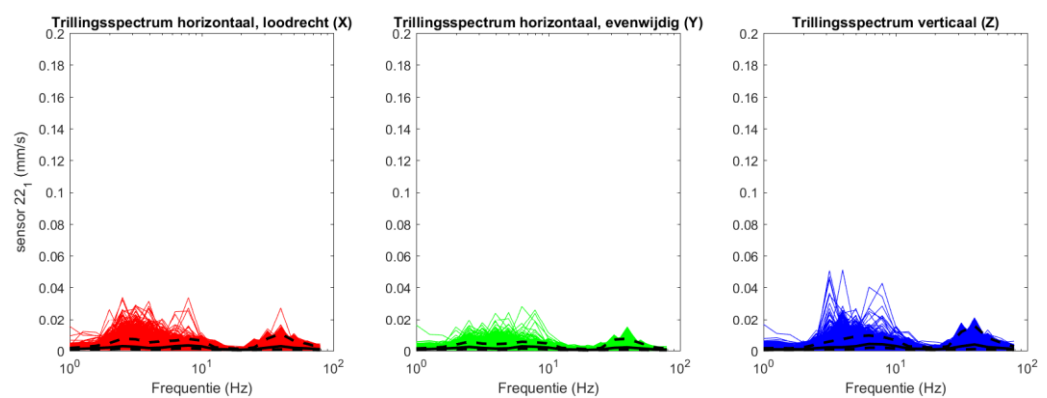
**Figuur 4-2** Spectra Engelsestraat Midden



**Figuur 4-3** Spectra Engelsestraat Zuid



**Figuur 4-4** Spectra Gamma



**Figuur 4-5** Spectra tegenover Gamma

#### 4.3 Meetresultaten bouwkuip

In de bouwkuip is gemeten over vier funderingspoeren welke in een lijn, haaks op de lengteas van de spoortunnel staan. Verder is voor de eerste en de laatste poer een sensor op de bodem van de bouwkuip geplaatst. Hieronder zijn de resultaten van deze metingen weergegeven.

**Tabel 4-2** Resultaten bouwkuipmeting

Sensor	Locatie	Vmax gemeten (mm/s)	Maatgevende richting
29_1	Maaiveld 1	0,38	Horizontaal parallel
37_1	Poer 1	0,09	Verticaal
5_1	Poer 2	0,09	Verticaal
27_1	Poer 3	0,12	Horizontaal parallel
16_1	Maaiveld 2	0,05	Horizontaal loodrecht
33_1	Poer 4	0,03	Alle

4.4 Meetresultaten  
Abtswoudseweg 18

In het pand Abtswoudseweg 18 zijn op twee plaatsen de trillingen gemeten, op een stijf punt in de hoek van ruimtes dicht bij de straatkastmeting Engelsestraat Zuid.

**Tabel 4-3** Resultaten Abtswoudseweg 18

Locatie	Vmax SBR B (mm/s)	Vmax BTS (mm/s)	Vper (mm/s)	R-waarde	Maatgevende richting
Abtswoudseweg 18 (1)	0,19	0,175	<0,01	15	Verticaal
Abtswoudseweg 18 (2)	0,27	0,251	0,01	17	Horizontaal parallel

## 5 Analyse en berekeningen

### 5.1 Prognosemethode trillingen

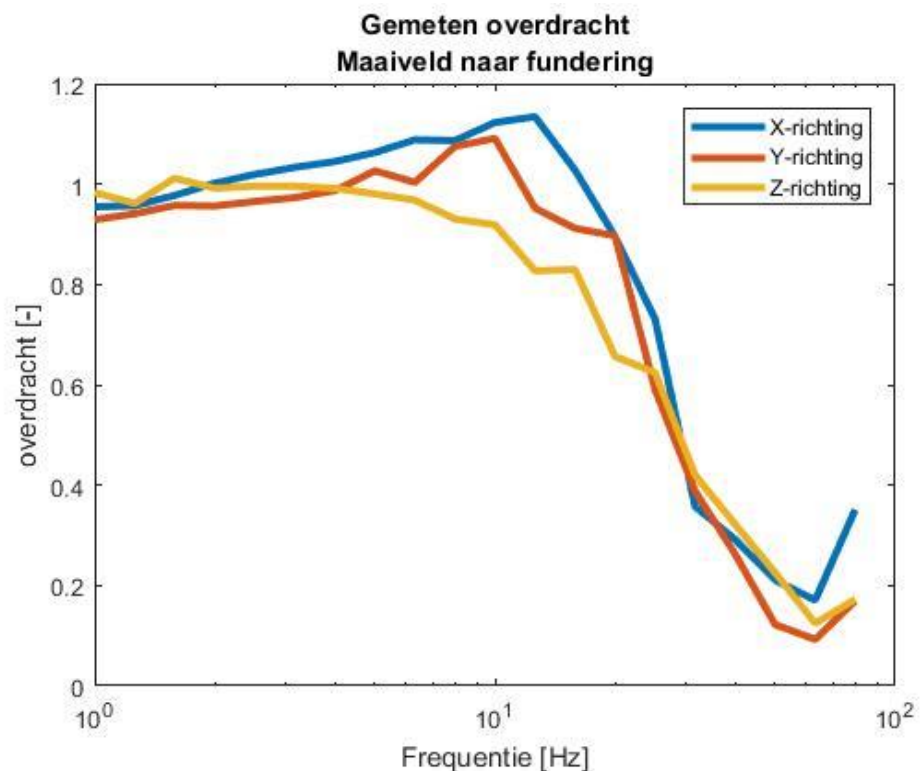
De resultaten van de metingen zijn gecombineerd met aannames over de mogelijk te bouwen woningen. Hiermee is een prognose gemaakt van de trillingssterktes aan de fundering van de woningen, op de locatie van elk meetpunt.

De prognoses van trillingen op funderingsniveau worden gedaan volgens het volgende stappenplan:

1. Gemeten trillingssterkte op maaiveld van de straatkastmetingen
2. Bepaal trillingssterkte op fundering: vermenigvuldig resultaat uit stap 1 met overdracht maaiveld-fundering
3. Bepaal verwachte trillingssterkte op fundering op willekeurig punt: vermenigvuldig resultaat uit stap 2 met uitdemping

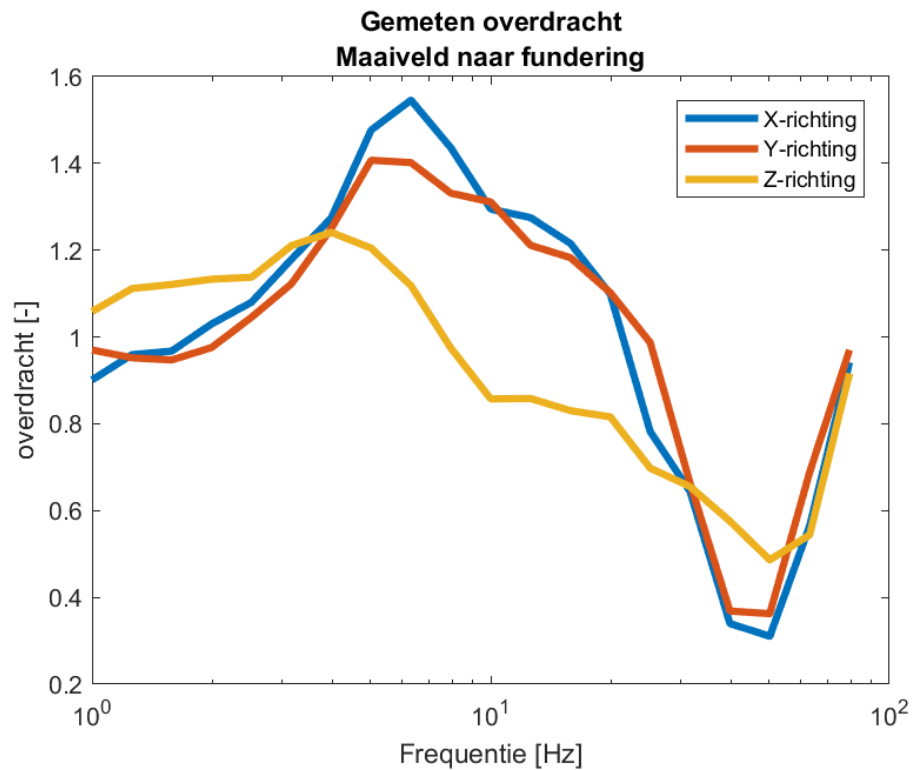
#### 5.1.1. Overdracht maaiveld naar fundering

Aan de hand van de metingen in de bouwput aan de Engelsestraat is de funderingsoverdracht bepaald voor een type bebouwing dat zeer waarschijnlijk goed overeen zal komen met de bebouwing die elders in Nieuwe Delft gerealiseerd zal worden. Deze overdrachten zijn te zien in Figuur 5-1 en Figuur 5-2. De gevonden overdracht bij de eerste funderingspoer komt goed overeen met de theoretische vloeroverdracht uit het document Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte uit 1995 van het voormalige ministerie VROM. Daarom is deze gemeten overdracht gebruikt in de verdere analyse.



**Figuur 5-1** Gemeten overdracht van maaiveld naar fundering. Gemeten in de bouwput bij de eerste funderingspoer

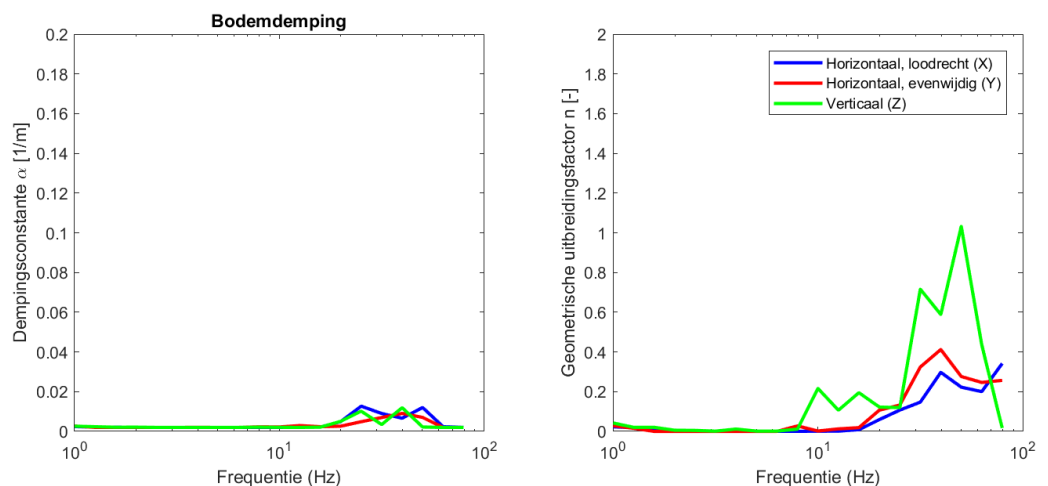




**Figuur 5-2** Gemeten overdracht van maaiveld naar fundering. Gemeten in de bouwput bij de achterste funderingspoer

5.1.2. *Uitdemping bodem*

Aan de hand van de gegevens van de meetraai in de bouwput aan de Engelsestraat, is de uitdemping van trillingen in de bodem bepaald. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in Figuur 5-3 waarin per frequentie de bodemdemping en de geometrische uitbreiding wordt gegeven.



**Figuur 5-3** Bodemeigenschappen gemeten in de bouwkuip meting in Delft. Links de bodemdemping en rechts de geometrische uitbreidingen in het frequentiedomein.

De relatief stijve zandgrond resulteert in weinig demping. De zeer laagfrequente trillingen (tot 15 Hz) dempen bijna niet uit. Daarboven (Tussen 15 en 60 Hz) treedt slechts een lichte demping op.

Dit betekent dat de piek rond 30 Hz in de metingen bij Engelsestraat Noord wat zal uit dempen naarmate de afstand tot de tunnel toe neemt.

## 5.2 Prognosemethode laagfrequent geluid

Om een prognose te kunnen maken van het laagfrequent geluid, zijn de verwachte trillingssterktes op funderingsniveau verwerkt tot verwachte trillingssterktes op de vloer. Vervolgens zijn er aannames gemaakt over de te realiseren woningen om tot een prognose van het geluidsniveau te komen.

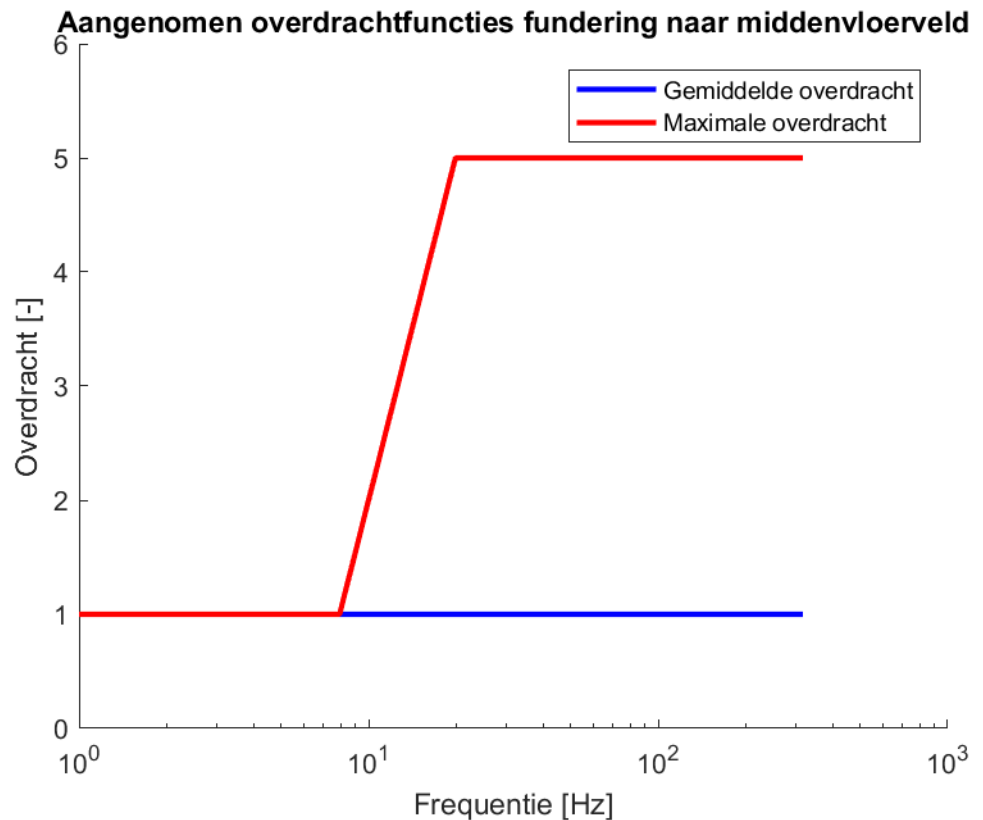
### 5.2.1. Overdracht fundering naar midden vloerveld

De overdracht van fundering naar midden vloerveld is afhankelijk van het type vloer en de eigenfrequentie van de vloer. Aangezien er nog geen woningen zijn gerealiseerd op de bouwkavels is het meten van de overdracht niet mogelijk.

Het document van het voormalige ministerie VROM geeft voor deze overdrachten een beeld dat niet geheel met praktijkmetingen overeenkomt. De gebruikte overdrachten van fundering naar midden vloerveld in dit onderzoek zijn daarom gebaseerd op conservatieve schattingen welke gebaseerd zijn op ervaringsgetallen.

Doordat het type vloer en de exacte afmetingen nog niet bekend zijn, zit er veel onzekerheid in deze schatting. Om hiermee om te gaan is gewerkt met een gemiddelde overdracht, en een maximale overdracht. Deze maximale overdracht geldt als zeer conservatief.

Figuur 5-4 geeft de gebruikte overdrachtsfuncties van fundering naar midden vloerveld weer. Bij de gemiddelde overdracht wordt aangenomen dat trillingen in het gebouw niet versterkt worden. Bij de maximale overdracht vindt geen opslingering plaats tussen de 1 en 10 Hz, waarna de curves oplopen tussen de 10 en de 20 Hz en vlakken daarna af.



**Figuur 5-4** Aangenomen overdrachtfuncties voor overdracht van trillingen van de fundering naar midden vloerveld, voor een gemiddeld en een maximaal geval

Dit betekent dat lagere frequenties niet versterkt zullen worden, maar hogere frequenties zullen niet versterkt worden in het gemiddelde geval en met maximaal een factor 5 in het maximale geval.

#### 5.2.2. Aannames nieuwe woningen

Het geluidsniveau in de woningen hangt af van de afmetingen van de kamers en de gebruikte bouwmaterialen. Grofweg kan gesteld worden dat de laagfrequent geluidsniveaus hoger zijn in grotere ruimtes met veel beton en steen. Deze bouwmaterialen absorberen het geluid namelijk slecht.

Omdat er nog geen ontwerp van de woningen bekend is, zijn er aannames gebruikt, welke in het algemeen gelden voor nieuwbouwwoningen. Deze zijn terug te vinden in Bijlage I Aannames woningen.

#### 5.3 Resultaten

In onderstaande paragrafen worden de resultaten van de analyse gepresenteerd. Eerst worden de resultaten van de trillingswaarden gepresenteerd, vervolgens de waarden van het laagfrequent geluid.

##### 5.3.1. Trillingswaarden op Funderingsniveau

De trillingswaarden zijn bepaald op funderingsniveau. Met de uitdemping in de bodem zijn de trillingswaarden berekend voor afstanden van respectievelijk 5, 10, 20, 30 en 40m van de spoortunnel. Een overzicht van de resultaten voor de  $V_{max}$  is terug te vinden in Tabel 5-1 en Tabel 5-2. De  $V_{max}$  is gegeven voor zowel de methode zoals

omschreven in de SBR B als de methode omschreven in de BTS. Overschrijdingen van het beoordelingskader zijn oranje gemarkeerd.

Op funderingsniveau vindt er alleen dicht bij het spoor een overschrijding plaats op de locatie Engelsestraat Noord als gebruik wordt gemaakt van de methode uit de SBR B. Hierbij moet rekening gehouden worden dat dit prognoses zijn op funderingsniveau en niet op midden vloerveld.

**Tabel 5-1 Trillingsniveau op fundering Vmax volgens SBR B**

Locatie	Vmax SBR B (mm/s)				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	0.26	0.25	0.25	0.23	0.23
Engelsestraat Midden	0.18	0.15	0.14	0.13	0.13
Engelsestraat Zuid	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12
Gamma	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17
X-Ray	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17

**Tabel 5-2 Trillingsniveau op fundering Vmax volgens BTS**

Locatie	Vmax BTS (mm/s)				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	0.19	0.18	0.18	0.17	0.15
Engelsestraat Midden	0.16	0.13	0.12	0.11	0.10
Engelsestraat Zuid	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10
Gamma	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15
X-Ray	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11

### 5.3.2. Laag frequent geluid

Voor laagfrequent geluid zijn de resultaten voor een grote kamer met een gemiddelde vloeroverdracht gegeven in Tabel 5-3. Per punt is het decibel de grootste overschrijding van het beoordelingskader gegeven. Een positief getal is een overschrijding, bij een negatief getal is er geen overschrijding.

Overschrijdingen van het beoordelingskader zijn oranje gemarkeerd. Voor de streefwaarde is in Tabel 5-3 het maximum over alle passages genomen. De volledige resultaten voor laagfrequent geluid zijn te vinden in Bijlage IV Resultaten laagfrequent geluid.

Op twee locaties vinden er dichtbij het spoor overschrijdingen plaats van het beoordelingskader. Op afstanden van 10 meter en groter zijn er geen overschrijdingen.

**Tabel 5-3 Overschrijdingen beoordelingskader laagfrequent geluid per locatie voor de gemiddelde vloeroverdracht met een grote kamer. Overschrijdingen oranje, anders groen. Toetswaarde is maximum van alle passages.**

Locatie	Grootste overschrijding (dB) en bijbehorende octaafband (Hz)									
	5m		10m		20m		30m		40m	
Engelsestraat Noord	-2	32 Hz	-5	32 Hz	-7	125 Hz	-9	125 Hz	-11	125 Hz
Engelsestraat Midden	-1	32 Hz	-4	32 Hz	-7	125 Hz	-9	125 Hz	-10	125 Hz
Engelsestraat Zuid	3	LAmix	0	LAmix	-2	LAmix	-4	LAmix	-5	LAmix
Gamma	1	125 Hz	-1	125 Hz	-3	125 Hz	-5	125 Hz	-6	125 Hz
X-Ray	-1	32 Hz	-3	32 Hz	-5	125 Hz	-7	125 Hz	-9	125 Hz

## 6 Conclusies en aanbevelingen

Aan de hand van de meetresultaten van de vijf langeduurmetingen zijn er trillingsterktes berekend op funderingsniveau op verschillende afstanden van het spoor. Hierbij is gebruik gemaakt van de resultaten van de overige metingen. Alleen voor de locatie Engelsestraat Noord op 5 meter van het spoor is er een overschrijding van het beoordelingskader als de verwerkingsmethode van de SBR B wordt gevolgd. Voor alle andere locaties zijn er geen overschrijdingen op funderingsniveau.

Op een afstand van 5 meter van het spoor wordt op twee meetlocaties het beoordelingskader voor laagfrequent geluid overschreden. Dit zijn de locaties Engelsestraat Zuid en Gamma. Vanaf 10 meter wordt het beoordelingskader niet meer overschreden.

In de berekeningen die gemaakt zijn is aangenomen dat er geen versterking van de trillingen en het laagfrequente geluid plaatsvindt in het gebouw. In een toekomstig ontwerp moet daar rekening mee gehouden worden. Op korte afstand uit het spoor is er bij Engelsestraat Noord een reductie nodig van de trillingen en bij Engelsestraat Zuid en Gamma van de laagfrequent geluidwaarden om te voldoen aan de beoordelingskaders.

Als voldaan wordt aan de SBR B-richtlijn kan er nog steeds sprake zijn van trillingen die beperkte trillingshinder veroorzaken. Pas als de  $V_{max}$  lager ligt dan ongeveer 0,1 is er sprake van niet voelbare trillingen volgens de SBR B-richtlijn. Om de trillingssteekte te reduceren tot deze waarde zijn trillingsreducerende maatregelen nodig. Gedacht kan worden aan het afveren van gebouwen.

Er wordt aangeraden een toekomstig ontwerp te laten toetsen op het gebied van trillingen door een deskundig persoon.

## Colofon

Opdrachtgever Gemeente Delft

Uitgave Movares Nederland B.V.

Divisie Ruimte, Mobiliteit en Infra  
Afdeling Infrastructuur: Waterbouw, Geotechniek en Dynamica

Daalse Kwint  
Daalseplein 100  
3511SX Utrecht

Telefoon +31651625274

Ondertekenaar Guido Bastiaens  
Adviseur Dynamica

Projectnummer RM006184

Kenmerk D79-GBA-KA-1800039

© 2018, Movares Nederland B.V.

*Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.*



## Bijlage I Aannames woningen

Het geluidsniveau in de woningen hangt af van de afmetingen van de kamers en de gebruikte bouwmaterialen. Grofweg kan gesteld worden dat de laagfrequent geluidsniveaus hoger zijn in kleinere ruimtes met veel beton en steen. Deze bouwmaterialen absorberen het geluid namelijk slecht.

Omdat er nog geen ontwerp van de woningen bekend is, zijn er aannames gebruikt, welke in het algemeen gelden voor nieuwbouwwoningen. Tabel I-1 toont een overzicht van de gehanteerde aannames ten aanzien van de afmetingen van de woningen.

**Tabel I-1** Aangenomen kamer afmetingen

	<b>Grote kamer</b>
Lengte	6 m
Breedte	6 m
Hoogte	3 m
A-waarde	144 m <sup>2</sup>
S-waarde	36 m <sup>2</sup>

De A-waarde is het totale oppervlak van vloer, plafond en muren. Over dit oppervlakte kan absorptie van het geluid optreden. De S-waarde is het trillende oppervlak dat laag frequent geluid afstraalt, in dit geval alleen de vloer. In werkelijkheid trillen ook de muren en plafonds. De invloed op het laagfrequent geluidsniveau is echter zeer gering, mede door de demping die in het gebouw optreedt, en valt binnen de onzekerheidsmarge van de gebruikte formules.

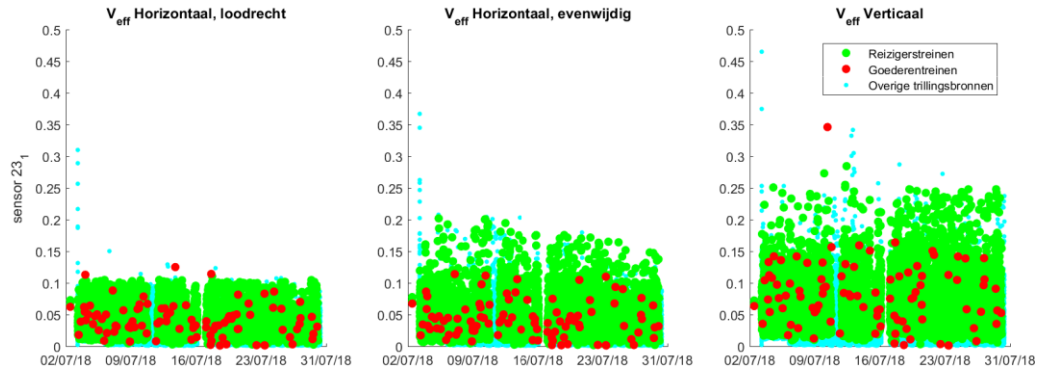
Tabel I-2 Toont de gehanteerde aannames voor de afstraal- en absorptiecoëfficiënten. Omdat het nieuwbouwwoningen betreft, is aangenomen dat relatief veel beton, steen en glas toegepast zal worden. Dit resulteert in relatief hoge afstraal- en relatief lage absorptiecoëfficiënten.

**Tabel I-2** Aangenomen afstraal- en absorptiecoëfficiënten per tertsbands, voor een nieuwe woning

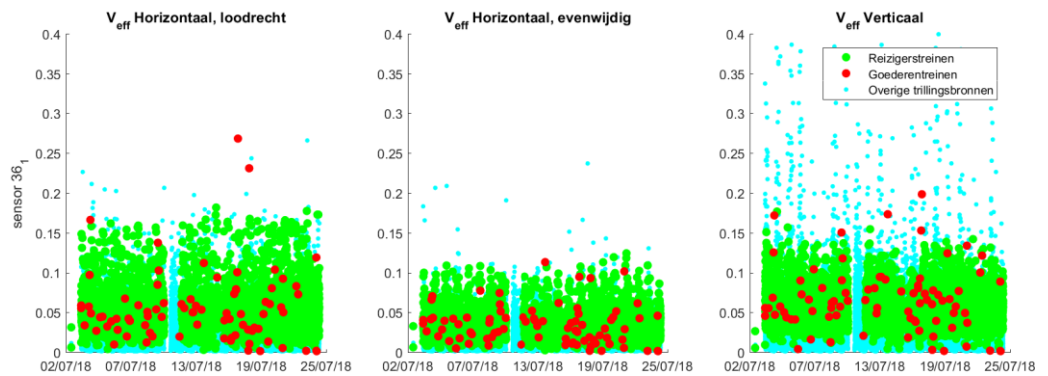
<b>Tertsbands [Hz]</b>	<b>Afstraalcoëfficiënt</b>	<b>Absorptiecoëfficiënt</b>
10	0.91	0,05
12,5	0.90	0,05
16	0.85	0,05
20	0.77	0,05
25	0.54	0,05
32	0.43	0,05
40	0.38	0,06
50	0.37	0,06
63	0.42	0,06
80	0.47	0,06
100	1.00	0,06
125	1.00	0,06
158	1.00	0,06
200,00	1.00	0,05
251,60	1.00	0,05

## Bijlage II Resultaten straatkastmetingen

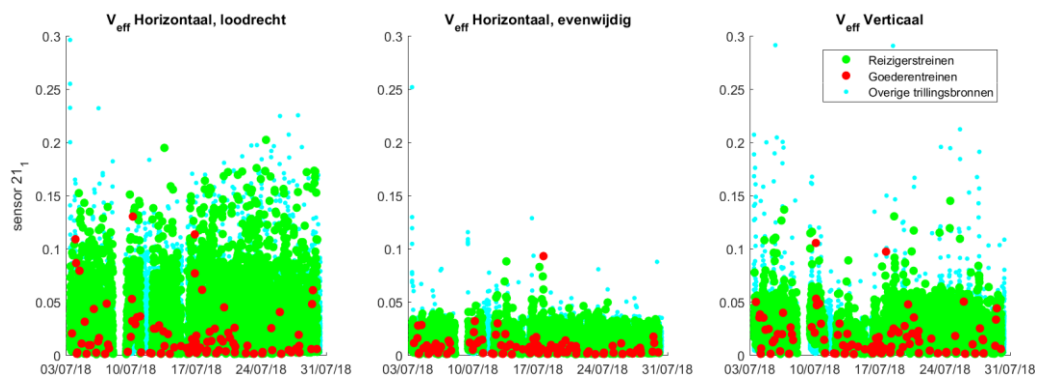
In onderstaande afbeeldingen zijn de meetresultaten van de vijf langeduur metingen op maaiveld gegeven.



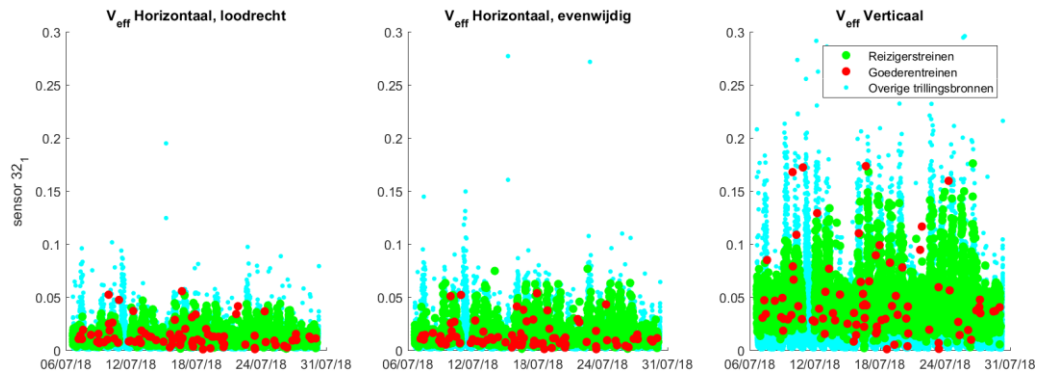
**Figuur III - 1** Resultaten Engelsestraat Noord



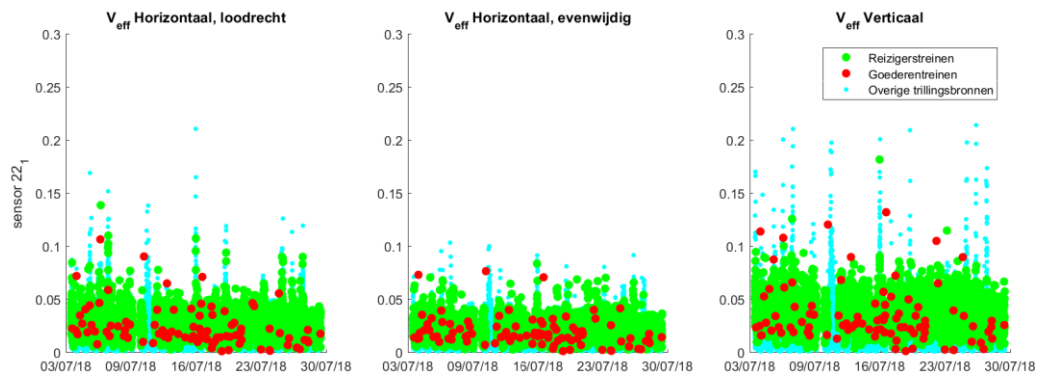
**Figuur III - 2** Resultaten Engelsestraat Midden



**Figuur III - 3** Resultaten Engelsestraat Zuid



**Figuur III - 4 Resultaten Gamma**



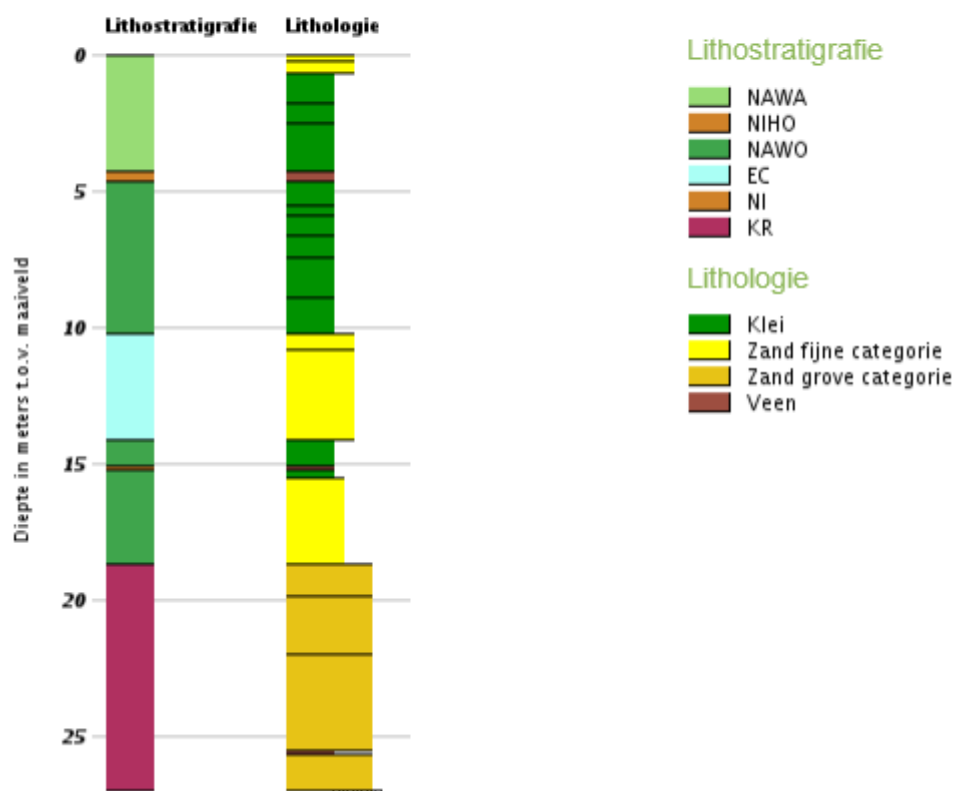
**Figuur III- 5 Resultaten X-ray**

## Bijlage III Bodemgegevens

In onderstaande afbeelding is het boormonsterprofiel gegeven welk representatief is voor de bodem in het onderzoeksgebied.

### Boormonsterprofiel

Identificatie: B37E0241  
Coördinaten: 84455, 446290 (RD)  
Maaiveld: -0.60 m t.o.v. NAP  
Dieptetraject t.o.v. Maaiveld: 0.00 m - 27.00 m



**Figuur III - 6** Boorprofiel, genomen op de hoek van Engelsestraat en Abtswoudseweg.  
Bron: DINOloket

## Bijlage IV Resultaten laagfrequent geluid

In Tabel IV- 1 tot en met Tabel IV- 5 zijn de verwachte waarden voor laagfrequent geluid te vinden waarbij er wordt aangenomen dat er geen versterking plaatsvindt in het gebouw.

**Tabel IV- 1** Prognoses voor de  $L_{Lmax}$  bij 16 Hz als er geen versterking optreedt in het gebouw

Locatie	$L_{Lmax}$ 16 Hz (dB)				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	72	71	69	69	68
Engelsestraat Midden	65	64	63	62	61
Engelsestraat Zuid	64	63	61	61	60
Gamma	66	65	63	63	62
X-Ray	60	59	58	57	56

**Tabel IV- 2** Prognoses voor de  $L_{Lmax}$  bij 32 Hz als er geen versterking optreedt in het gebouw

Locatie	$L_{Lmax}$ 32 Hz (dB)				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	66	61	59	57	56
Engelsestraat Midden	67	62	59	58	56
Engelsestraat Zuid	54	50	47	44	43
Gamma	55	52	50	48	47
X-Ray	63	57	53	50	49

**Tabel IV- 3** Prognoses voor de  $L_{Lmax}$  bij 63 Hz als er geen versterking optreedt in het gebouw

Locatie	$L_{Lmax}$ 63 Hz (dB)				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	52	50	48	46	44
Engelsestraat Midden	51	47	43	41	39
Engelsestraat Zuid	44	42	39	38	36
Gamma	41	38	36	34	33
X-Ray	53	50	47	44	43

**Tabel IV- 4** Prognoses voor de  $L_{Lmax}$  bij 125 Hz als er geen versterking optreedt in het gebouw

Locatie	$L_{Lmax}$ 125 Hz (dB)				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	41	39	36	35	34
Engelsestraat Midden	42	40	37	36	34
Engelsestraat Zuid	40	38	35	34	32
Gamma	46	44	42	40	39
X-Ray	44	42	40	38	36

In Tabel IV- 6 tot en met Tabel IV- 10 zijn de verwachte waarden voor laagfrequent geluid te vinden waarbij er wordt aangenomen dat er wel versterking plaatsvindt in het gebouw.

**Tabel IV- 5** Prognoses voor de  $L_{Amax}$  als er geen versterking optreedt in het gebouw

Locatie	$L_{Amax}$ (dB(A))				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	28	26	24	23	23
Engelsestraat Midden	33	31	28	26	25
Engelsestraat Zuid	38	35	33	31	30
Gamma	36	34	31	30	28
X-Ray	26	23	21	19	22

**Tabel IV- 6** Prognoses voor de  $L_{Lmax}$  bij 16 Hz als er versterking plaatsvindt in het gebouw met de overdracht te zien in Figuur 5-4

Locatie	$L_{Lmax}$ 16 Hz (dB)				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	85	84	83	82	81
Engelsestraat Midden	77	76	74	73	73
Engelsestraat Zuid	74	73	72	71	71
Gamma	76	75	74	73	72
X-Ray	69	68	67	66	66

**Tabel IV- 7** Prognoses voor de  $L_{Lmax}$  bij 32 Hz als er versterking plaatsvindt in het gebouw met de overdracht te zien in Figuur 5-4

Locatie	$L_{Lmax}$ 32 Hz (dB)				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	80	75	73	71	70
Engelsestraat Midden	81	76	73	72	70
Engelsestraat Zuid	68	64	62	61	59
Gamma	69	66	64	63	62
X-Ray	76	72	67	65	63

**Tabel IV- 8** Prognoses voor de  $L_{Lmax}$  bij 63 Hz als er versterking plaatsvindt in het gebouw met de overdracht te zien in Figuur 5-4

Locatie	$L_{Lmax}$ 63 Hz (dB)				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	66	64	62	60	58
Engelsestraat Midden	65	61	58	56	54
Engelsestraat Zuid	58	56	53	52	50
Gamma	55	52	50	48	47
X-Ray	67	64	61	58	57

**Tabel IV- 9** Prognoses voor de  $L_{Lmax}$  bij 125 Hz als er versterking plaatsvindt in het gebouw met de overdracht te zien in Figuur 5-4

Locatie	$L_{Lmax}$ 125 Hz (dB)				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	55	53	50	49	47
Engelsestraat Midden	56	54	51	50	48
Engelsestraat Zuid	54	52	50	48	46
Gamma	60	58	56	54	53
X-Ray	58	56	54	52	50

**Tabel IV- 10** Prognoses voor de  $L_{Amax}$  als er versterking plaatsvindt in het gebouw met de overdracht te zien in Figuur 5-4

Locatie	$L_{Amax}$ (dB(A))				
	5m	10m	20m	30m	40m
Engelsestraat Noord	42	40	37	36	34
Engelsestraat Midden	47	45	42	40	39
Engelsestraat Zuid	52	49	47	45	44
Gamma	53	51	48	47	45
X-Ray	40	37	35	33	32