



# TRILLINGSONDERZOEK NIEUWBOUW DIEPSTROETEN

ASSEN

**BügelHajema**

Project	Trillingsonderzoek Nieuwbouw Diepstroeten
Titel rapport	Trillingsonderzoek Nieuwbouw Diepstroeten
Referentie	CC-REP20210303
Opdrachtgever	BügelHajema
Status	Definitief
Versie	1.0
Datum	30 maart 2021
Opgemaakt door	██████████
Gecontroleerd door	████████████████████
Bestandsnaam	cc-rep20210303 trillingsonderzoek bestemmingsplan nieuwbouw diepstroeten definitief 1.0
Paraaf	████████████████████

Copyright © 2021 Cohere Consultants. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, in geautomatiseerde bestanden opgeslagen en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Cohere Consultants. In overeenstemming met artikel 15a van het Nederlandse auteursrecht is het toegestaan delen van deze publicatie te citeren, daarbij gebruik makend van een duidelijke referentie naar deze publicatie.



# INHOUD

1	Inleiding .....	1
2	Uitvoering metingen .....	2
2.1	Twee metingen op maaiveld .....	2
2.2	Meetopstellingen .....	3
2.3	Meetperiodes .....	4
2.4	Specificaties meetapparatuur .....	4
2.5	Uitvoeringsaspecten.....	4
3	Toetsingskader trillingen.....	5
3.1	Streefwaarden trillingsniveaus $V_{\max}$ (maximum) en $V_{\text{per}}$ (periodiek).....	5
3.2	Kwalificatie voor hinder door weg- en railverkeer .....	6
4	Meetresultaten .....	7
4.1	Resultaten maximale trillingsniveaus $V_{\text{eff,max}}$ .....	7
4.2	Resultaten periodieke (gemiddelde) trillingsniveaus $V_{\text{per}}$ .....	9
4.3	Frequentie-inhoud .....	9
5	Quick Scan.....	12
5.1	Treinbeeld .....	12
5.2	Spooropbouw en onregelmatigheden .....	13
5.3	Bodemopbouw .....	13
6	Predictie toekomstige Nieuwbouw.....	15
6.1	Voorzien ontwerp.....	15
6.2	Predictie toekomstige niveaus .....	17
7	Conclusies en aanbevelingen .....	20
7.1	Conclusies.....	20
7.2	Aanbevelingen.....	21
	Referenties	22

# 1

## INLEIDING

BügelHajema is in opdracht van zorginstelling Van Boeijen bezig met de procedure voor het bestemmingsplan Diepstroeten. Met dit bestemmingsplan worden twee woon/zorg gebouwen in Assen mogelijk gemaakt. Voor de ontwikkeling is een trillingsonderzoek uitgevoerd. Met het trillingsonderzoek is inzicht verkregen in welke trillingsniveaus in de omgeving optreden door het huidige spoorverkeer en in de toekomstige nieuwbouw met als doel mogelijke trillingshinder voor de toekomstige nieuwbouw te voorkomen.

Als onderdeel van het onderzoek zijn trillingsmetingen en een Quicksan uitgevoerd en is een predictie van verwachte trillingsniveaus gemaakt op basis van factoren uit literatuur en ervaring uit trillingsmetingen. Een gedetailleerde predictie op basis van het ontwerp en uitwerking van mitigerende maatregelen ligt buiten de scope van dit onderzoek. Het detailniveau van het beschikbare ontwerp is op dit moment beperkt tot een schetsontwerp.



# 2

## UITVOERING METINGEN

### 2.1 Twee metingen op maaiveld

De nieuwbouwlocaties Diepstroeten worden voorzien op het terrein van Van Boeijen. Op moment van uitvoeren van de trillingsmetingen in februari 2021 was dit een weiland. De voorziene nieuwbouw betreft twee gebouwen waarvan er één dicht op het spoor wordt voorzien (circa 35 meter), maar waarvan de andere op een afstand van 190 meter staat. Omdat het gebouw dicht op het spoor verreweg maatgevend is en voor het andere gebouw gezien de grote afstand tot het spoor geen trillingshinder wordt verwacht, is het onderzoek uitgevoerd voor het gebouw dicht op het spoor. Op basis van beschikbare tekeningen zijn twee meetlocaties bepaald. Deze locaties betreffen punten van de fundering van de toekomstige nieuwbouw die het dichtst op het spoor liggen. Met de metingen wordt inzicht verkregen in hoe de bodem ter plaatse van de toekomstige nieuwbouw trilt als gevolg van treinpassages over het spoor. In Figuur 1 worden de meetlocaties gegeven. Figuur 2 toont een foto van het plangebied. Het kruisvormige gebouw in Figuur 1 is een bestaand gebouw.

Figuur 1 Meetlocaties trillingsmetingen ten opzichte van de voorziene nieuwbouw



Figuur 2 Plangebied gezien vanaf Hendrik van Boeijenlaan



## 2.2 Meetopstellingen

Voor de metingen is op maaiveld gemeten op twee locaties. De afstanden zijn bepaald op basis van de beschikbare tekeningen:

- Meetlocatie 1: circa 35 meter van het buitenste spoor (circa 10 meter vanaf de rand van de weg)
- Meetlocatie 2: circa 55 meter van het buitenste spoor (circa 30 meter van de rand van de weg)

In Figuur 1 zijn deze locaties weergegeven. In Figuur 3 worden foto's getoond van de geplaatste trillingsmeters.



Figuur 3 Foto's Geplaatste trillingsmeters meetsessie 1



Bij de plaatsing van de meters is de bovenste bodemlaag van ongeveer 30 cm verwijderd (zie Figuur 3 linker foto). Op de stevige ondergrond zijn de meters geplaatst.

## 2.3 Meetperiodes

In onderstaande tabel wordt de meetperiode weergegeven.

Tabel 1. Meetperiode trillingsmetingen

Type meting	meetperiode
Meetsessie 1	22 februari 11:00 – 28 januari 16:00 2021

## 2.4 Specificaties meetapparatuur

In onderstaande tabel worden de specificaties van de ingezette meetapparatuur weergegeven.

Tabel 2. Type trillingsmeters

Type meting	type
Meetsessie 1	FrogWatch accelerometer sensors

## 2.5 Uitvoeringsaspecten

De metingen zijn uitgevoerd door Alcedo B.V. De verwerking van de ruwe meetdata, de interpretatie en nadere verwerking is uitgevoerd door Cohere Consultants.

Voor beide metingen geldt de volgende definitie van meetrichtingen:

- X-richting: horizontaal loodrecht op het spoor;
- Y-richting: horizontaal parallel aan het spoor;
- Z-richting: verticaal



# 3

## TOETSINGSKADER TRILLINGEN

Bij toetsing van hinder door trillingen wordt in Nederland meestal de SBR-richtlijn deel B gehanteerd. Dit omdat er op dit moment geen wetgeving bestaat met daarin grenswaarden voor trillingshinder (zie [ref. 1]). De SBR-richtlijn deel B kent twee toetsingsgrootheden, namelijk  $V_{\max}$  en  $V_{\text{per}}$ . De  $V_{\max}$  representeert het maximale te verwachten trillingsniveau. De  $V_{\text{per}}$  is een periodiek trillingsniveau, wat wil zeggen een (energetisch) gemiddelde waarde over een beoordelingsperiode. Zie ook hoofdstuk 9 van de SBR-richtlijn.

### 3.1 Streefwaarden trillingsniveaus $V_{\max}$ (maximum) en $V_{\text{per}}$ (periodiek)

De richtlijn maakt gebruik van streefwaarden. Over het algemeen is voor een mens een  $V_{\max}$  groter dan 0,1 voelbaar. De richtlijn geeft aan dat indien bij nieuwbouw de  $V_{\max}$  niveaus onder de streefwaarde A1 (0,1 voor woningen) liggen, er wordt voldaan aan de richtlijn. Liggen de  $V_{\max}$  niveaus hoger maar onder de streefwaarde A2 (van 0,2 voor woningen) én  $V_{\text{per}}$  ligt onder de streefwaarde A3 (van 0,05 voor woningen), dan wordt ook voldaan aan de streefwaarden in de richtlijn. Tabel 3 geeft de streefwaarden weer voor een nieuwe situatie (waaronder nieuwbouw langs het spoor), tabel 4 geeft de streefwaarden volgens de richtlijn voor een bestaande situatie die ruimer zijn dan die voor nieuwbouw. Onderscheid wordt gemaakt tussen de dag-, avond- en nachtperiode, waarvoor geldt:

- Dagperiode: 07:00-19:00
- Avondperiode: 19:00-23:00
- Nachtperiode: 23:00-07:00

Figuur 4 geeft de toetsing schematisch weer.

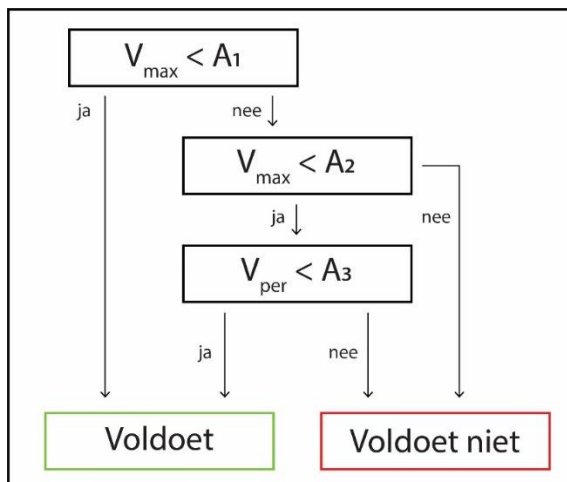
Tabel 3 Gehanteerde streefwaarden volgend uit de SBR B (nieuwbouw)

Gebouwfunctie	Streefwaarde dag- en avondperiode			Streefwaarde nachtperiode		
	$V_{\max}$ (A1)	$V_{\max}$ (A2)	$V_{\text{per}}$ (A3)	$V_{\max}$ (A1)	$V_{\max}$ (A2)	$V_{\text{per}}$ (A3)
gezondheidszorg	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
kantoor en onderwijs	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
bijeenkomsten	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

Tabel 4 Gehanteerde streefwaarden volgend uit de SBR B (bestaande bouw)

Gebouwfunctie	Streefwaarde dag- en avondperiode			Streefwaarde nachtperiode		
	$V_{\max}$ (A1)	$V_{\max}$ (A2)	$V_{\text{per}}$ (A3)	$V_{\max}$ (A1)	$V_{\max}$ (A2)	$V_{\text{per}}$ (A3)
gezondheidszorg	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
wonen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
kantoor en onderwijs	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
bijeenkomsten	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

Figuur 4 Toetsingsschema trillingshinder SBR richtlijn deel B



### 3.2 Kwalificatie voor hinder door weg- en railverkeer

De SBR-richtlijn geeft ter aanvulling in bijlage V waarden voor de kwalificatie van hinder voor weg- en railverkeer. Deze waarden zijn gegeven in Tabel 5. Bij de afweging van maatregelen kan hier rekening mee worden gehouden.

Tabel 5. Hinderkwalificatie voor weg- en railverkeer volgens SBR B bijlage V

$V_{max}$	Hinderkwalificatie
< 0,1	geen hinder
0,1 – 0,2	weinig hinder (bestaande situaties)
0,2 – 0,8	matige hinder
0,8 – 3,2	hinder
> 3,2	ernstige hinder

# 4

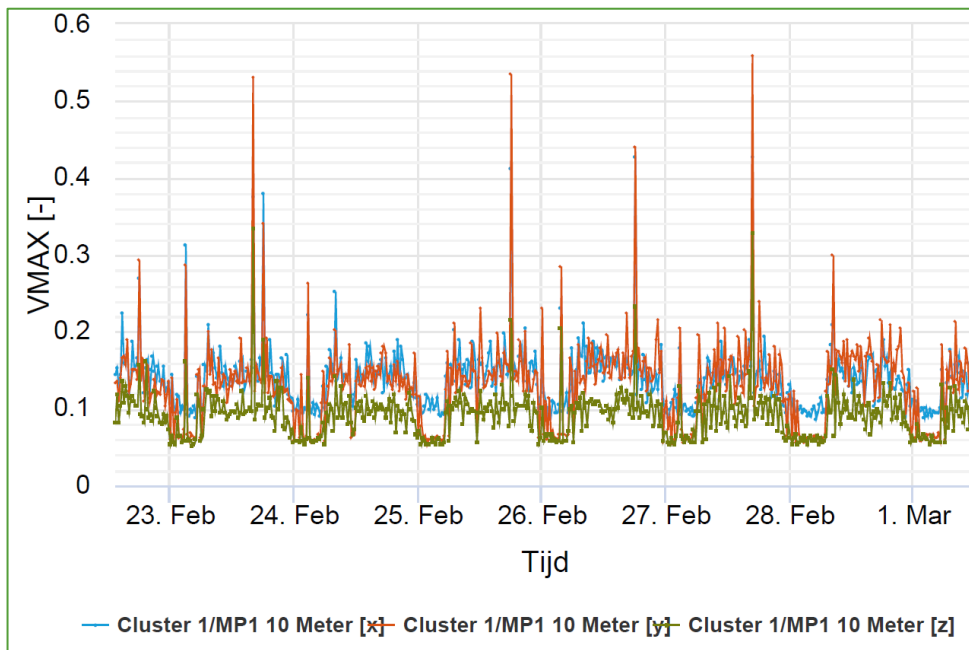
## MEETRESULTATEN

### 4.1 Resultaten maximale trillingsniveaus $V_{\text{eff,max}}$

Op het terrein is op twee locaties naast het spoor gemeten (zie hoofdstuk 2). De resultaten worden in dit hoofdstuk besproken. Eerst wordt ingegaan op de maximale trillingsniveaus  $V_{\text{eff,max}}$ <sup>1</sup> en vervolgens op de periodieke niveaus  $V_{\text{per}}$  en de frequentie-inhoud van de gemeten signalen.

Uit de meetresultaten blijkt dat op het terrein ten tijde van de metingen hoofdzakelijk treinpassages zijn gemeten.<sup>2</sup> In Figuur 5 worden de gemeten  $V_{\text{ef,max}}$  niveaus weergegeven voor meetlocatie 1.

Figuur 5 Trillingsmeetdata  $V_{\text{max}}$  locatie 1



<sup>1</sup> De benaming  $V_{\text{eff,max}}$  betreft individuele opgetreden trillingsniveaus, de benaming  $V_{\text{max}}$  betreft het overall hoogste niveau.

<sup>2</sup> Dit volgt uit het feit dat op beide locaties op dezelfde tijdstippen de hoogste niveaus zijn gemeten. Zou bijvoorbeeld wegverkeer hiervan het gevolg zijn dan is de verwachting dat er grotere verschillen tussen de twee meetpunten wordt aangetroffen.

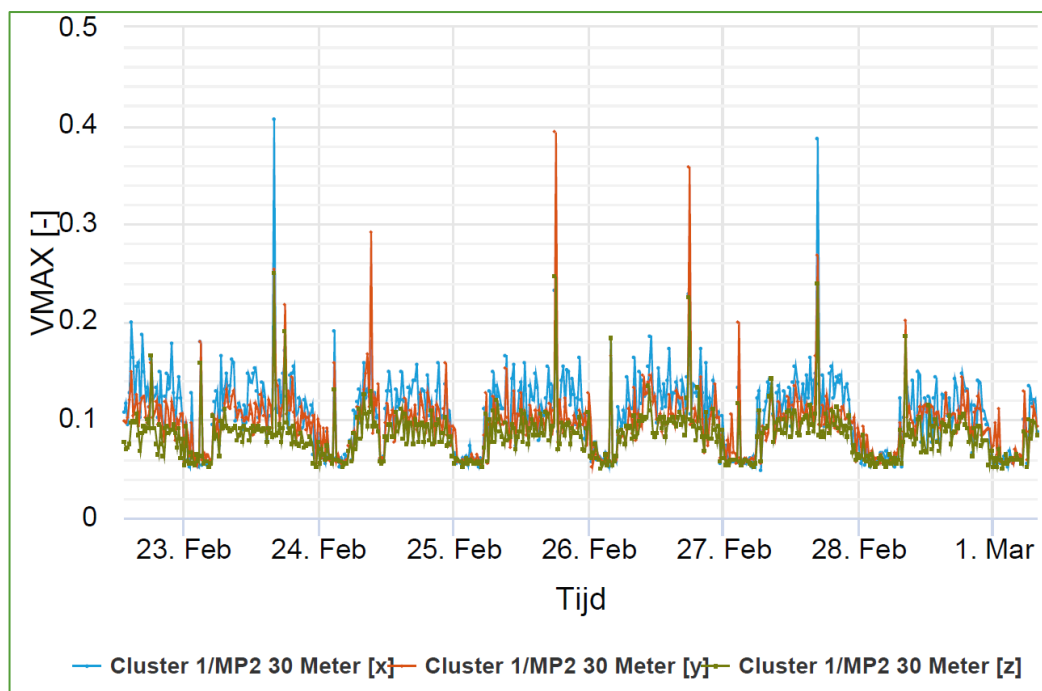
Uit de meetdata zijn de hoogst gemeten  $V_{\text{eff,max}}$  waarden bepaald. Deze gemeten niveaus worden weergegeven in Tabellen 6 en 7. Uit de tabellen blijkt dat de hoogst gemeten waarden op beide locaties meerdere keren op hetzelfde tijdstip is opgetreden. Dit bevestigt het beeld dat het om (goederen-)treinpassages gaat.

Tabel 6 Top 15 hoogst gemeten niveaus locatie 1

Datum	Tijdstip*	$V_{\text{eff,max X}}$	$V_{\text{eff,max Y}}$	$V_{\text{eff,max Z}}$
27/02/2021	16:47	0.428	0.56	0.334
25/02/2021	18:12	0.427	0.535	0.329
23/02/2021	16:16	0.413	0.531	0.326
26/02/2021	18:11	0.379	0.441	0.234
23/02/2021	16:17	0.375	0.378	0.215
23/02/2021	18:11	0.332	0.34	0.205
23/02/2021	18:12	0.314	0.335	0.189
26/02/2021	18:11	0.312	0.311	0.162
28/02/2021	08:28	0.274	0.299	0.162
23/02/2021	03:01	0.252	0.287	0.159
26/02/2021	03:54	0.232	0.285	0.154
24/02/2021	02:54	0.222	0.263	0.151
27/02/2021	18:18	0.212	0.24	0.148
23/02/2021	03:01	0.21	0.236	0.145
25/02/2021	12:06	0.209	0.231	0.143

\*Tijdstip hoort bij y-richting.

Figuur 6 Trillingsmeetdata  $V_{\text{max}}$  locatie 2





Tabel 7 Top 15 hoogst gemeten niveaus locatie 2

Datum	Tijdstip*	$V_{\text{eff,max X}}$	$V_{\text{eff,max Y}}$	$V_{\text{eff,max Z}}$
23/02/2021	16:16	0.406	0.393	0.25
27/02/2021	16:47	0.386	0.358	0.246
23/02/2021	16:17	0.297	0.292	0.24
25/02/2021	18:12	0.232	0.268	0.225
26/02/2021	18:11	0.228	0.254	0.197
24/02/2021	02:54	0.191	0.217	0.19
26/02/2021	11:21	0.186	0.202	0.186
26/02/2021	03:54	0.184	0.201	0.184
23/02/2021	03:01	0.179	0.2	0.165
24/02/2021	09:15	0.179	0.182	0.158
26/02/2021	14:23	0.173	0.179	0.142
25/02/2021	18:22	0.172	0.168	0.135
26/02/2021	19:54	0.172	0.167	0.133
23/02/2021	18:12	0.171	0.166	0.133
25/02/2021	09:21	0.166	0.165	0.132

\*Tijdstip hoort bij x-richting.

## 4.2 Resultaten periodieke (gemiddelde) trillingsniveaus $V_{\text{per}}$

Volgens de SBR-richtlijn deel B moet per beoordelingsperiode een  $V_{\text{per}}$ -niveau worden berekend op basis van aantal opgetreden  $V_{\text{eff,max}}$ -niveaus binnen de periode met een waarde boven de  $V_{\text{eff,max}} = 0,1$ . Uit Figuren 5 en 6 blijkt dat er enkele pieken optreden maar dat de meeste niveaus onder de  $V_{\text{eff,max}}$  is 0,2 liggen. De uiteindelijk gemeten  $V_{\text{per}}$ -niveaus liggen onder de te hanteren streefwaarde. In Tabel 8 worden de maximaal gemeten niveaus weergegeven. Alle gemeten niveaus liggen onder de streefwaarde van  $A3 = 0,05$ .

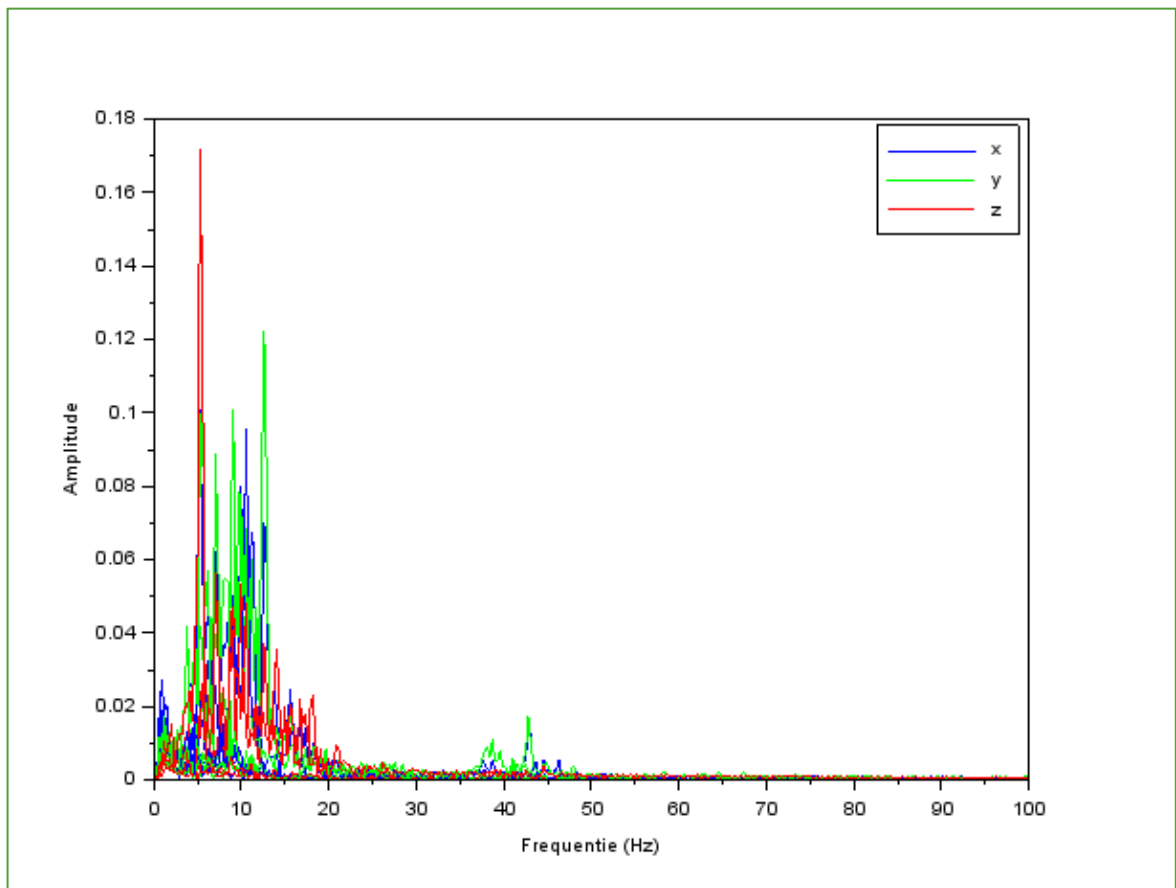
Tabel 8 Top 11 hoogst gemeten niveaus  $V_{\text{per}}$  beide meetocaties

Datum	$V_{\text{per X}}$	$V_{\text{per Y}}$	$V_{\text{per Z}}$
Meetpunt 1	0,033	0,030	0,013
Meetpunt 2	0,021	0,015	0,009

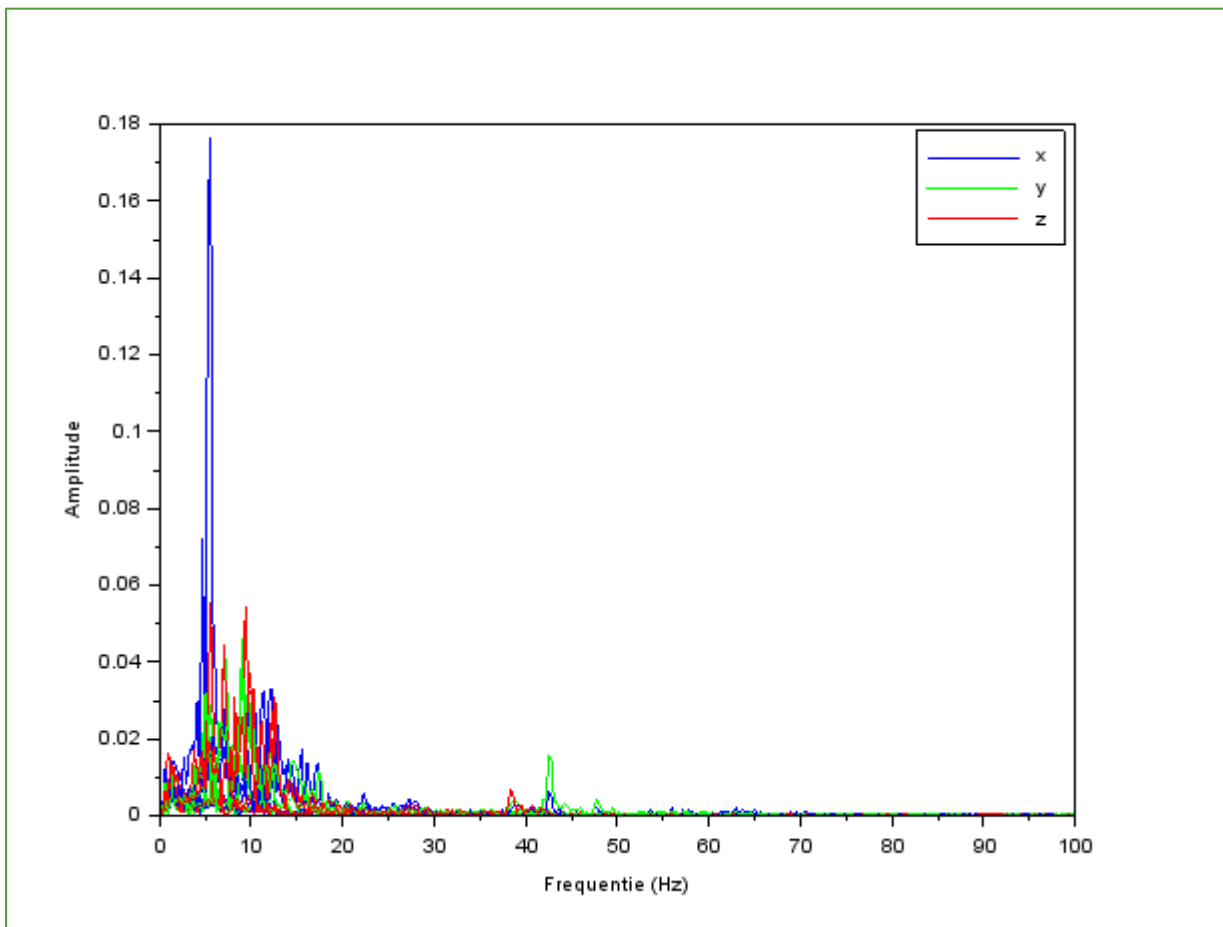
## 4.3 Frequentie-inhoud

Om een beter beeld te krijgen van de eigenschappen van de hoogst gemeten trillingssignalen is gekeken naar de frequentie-inhoud van deze signalen. Hiertoe wordt voor de hoogste vijf signalen de frequentie-inhoud getoond in Figuren 7 en 8. De inhoud van de vijf signalen zijn over elkaar heen geplot. Uit de figuren blijkt dat dominante frequenties liggen tussen de circa 5 en 15 Hz.

Figuur 7 Frequentie-inhoud hoogste 5 signalen locatie 1 (over elkaar heen geplot)



Figuur 8 Frequentie-inhoud hoogste 5 signalen locatie 2 (over elkaar heen geplot)



# 5

## QUICK SCAN

Naast het uitvoeren van trillingsmetingen is ook een Quickscan uitgevoerd naar de trillingsgevoeligheid van de locatie en de toekomstige nieuwbouw. Hierbij is in overeenstemming met de handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen [ref. 3] gekeken naar het treinbeeld, de spooropbouw en de bodemgesteldheid, en zijn de eigenschappen van de toekomstige voorziene nieuwbouw beschouwd.

### 5.1 Treinbeeld

De lijn Assen – Groningen kent veelal reizigersvervoer. Er passeren vier treinen per uur per richting (gedurende de dag- en avondperiode). Dit betreffen twee Intercity's en twee Sprinters per uur per richting. Beide typen treinen halteren op station Assen. Figuur 9 toont Intercity's richting Groningen zowel een koploper als een VIRM. De rij snelheid ter plaatse van de nieuwbouwlocatie van het reizigersvervoer varieert en wordt geschat op ca. 60-80 km/h in verband met halteren op station Assen. Naast het reizigersvervoer passeert ook goederenvervoer. Het goederenvervoer passeert naar verwachting op doorgaande snelheid (ca. 90 km/h). Uit de resultaten van de trillingsmetingen blijkt dat gedurende enkele nachten trillingssignalen zijn gemeten die van een goederentreinpassage lijken te komen. Het aantal gemeten passages lijkt beperkt tot enkele per week.

Figuur 9 Passerende Intercity's richting Groningen (links type VIRM, rechts type ICM koploper)



#### Toekomstige situatie goederenvervoer

Voor zover bekend wordt er geen toedoevende toename in goederenvervoer verwacht op het spoor tussen Assen en Groningen. Aangenomen wordt dat de huidige meetresultaten representatief zijn om te gebruiken in de toetsing.



## 5.2 Spooropbouw en onregelmatigheden

Uit een visuele inspectie blijkt dat het spoor ter plaatse van de toekomstige nieuwbouw in goede staat is. Dat wil zeggen dat er geen visuele onregelmatigheden zijn waargenomen. In Figuur 10 wordt de ligging van de spoorbaan weergegeven. Het betreft ballastspoor met betonnen dwarsliggers. De spoorbaan ligt circa 1,5 meter verhoogd en er is een sloot tussen de spoorbaan en de voorziene nieuwbouw aanwezig die op sommige plekken vrijwel droog stond (zie ook Figuur 10). Ten zuiden van de nieuwbouwlocatie is een stalen bruggetje aanwezig over het Anreepdiep.

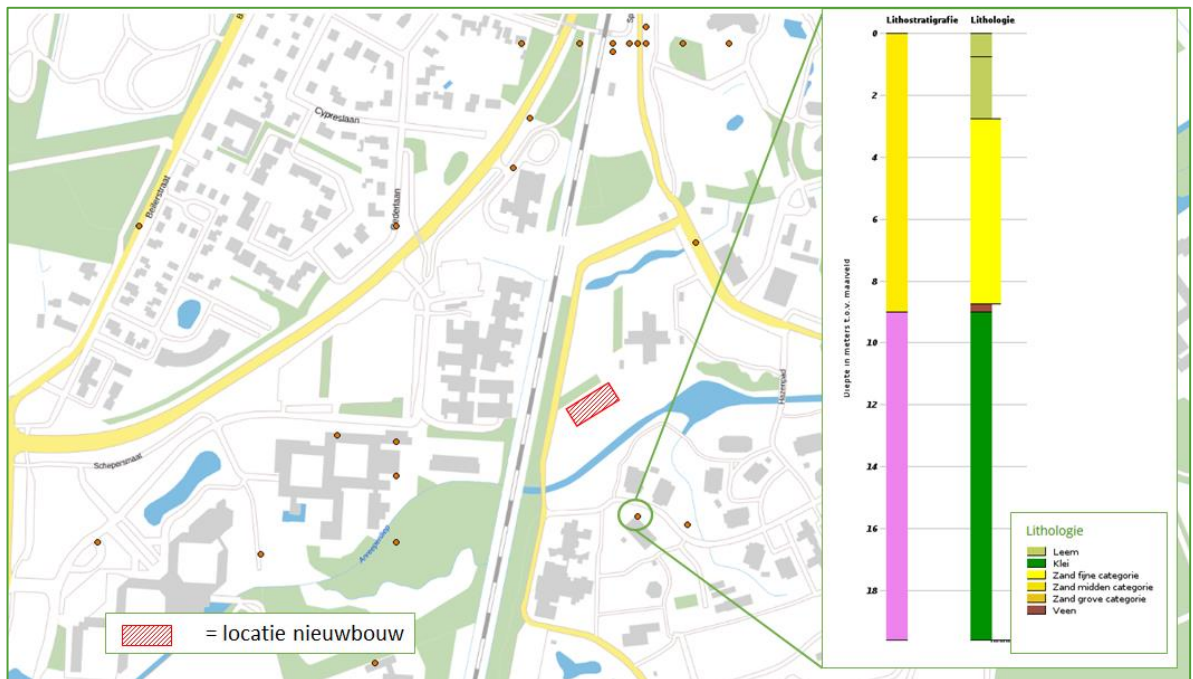
Figuur 10 Spoorbaan gezien vanaf zijde Hendrik Boeijenlaan



## 5.3 Bodemopbouw

Om een beeld te krijgen van de bodemopbouw ter plaatse van de nieuwbouwkavels is het BRO-loket geraadpleegd. Er zijn geen sonderingen beschikbaar op de locatie, maar wel de resultaten van een boring. In Figuur 11 wordt het resultaat weergegeven.

Figuur 11 Boring nabij de nieuwbouw (bron: BRO-loket)



Met het oog op treintrillingen geldt dat bij een bodem waarbij de bovenste laag uit slappe (vaak klei-)lagen bestaat, over het algemeen hogere trillingsniveaus worden verwacht dan wanneer er zandgrond aanwezig is. Echter, omdat er bij zandgrond minder demping optreedt geldt, dat trillingen in zandgrond vanuit het spoor naar de omgeving, een groter bereik hebben dan in slappe kleigrond.

Uit Figuur 11 volgt de verwachting dat de bovenste twee a drie meter zandige/siltige ondergrond betreft maar dat daaronder een stevigere zandlaag aanwezig is van circa 6 meter en daaronder kleiige maar wel stijve (keileem) bodem. Als gevolg hiervan treedt de overdracht van trillingen op maaiveld grotendeels via de zandige toplaag op. Op basis van de grondopbouw ter plaatse van de boring is mogelijk een paalfundering voor de nieuwbouw te verwachten die tot in de stijve zandlaag wordt geplaatst (en daarmee 4-5 meter onder maaiveld)<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Het type fundering is op dit moment niet zeker en hangt af van de bovenbelasting.



# 6

## PREDICTIE TOEKOMSTIGE NIEUWBOUW

### 6.1 Voorzien ontwerp

Het ontwerp van de toekomstige nieuwbouw kent het detailniveau van een schetsontwerp. De te onderzoeken nieuwbouw kent een knik in het gebouw en is gelegen onder een hoek met het spoor. Dit wordt weergegeven in Figuur 12 waarin de voorziene oriëntatie en indeling wordt gepresenteerd.

Figuur 12 Schetsmatige indeling nieuwbouw (bron: Landschappelijke inpassing en beeldkwaliteit Diepstroeten Assen, BügelHajema)



Figuur 13 Impressiefoto van bestaande wooneenheden



Figuur 13 geeft een impressie van de al aanwezige woonzorgeenheden. Deze eenheden kennen gelijk de voorziene nieuwbouw een enkellaagse bebouwing. De voorziene nieuwbouw zal wat betreft karakter vergelijkbare kenmerken hebben als de reeds bestaande bouw. Enkele eigenschappen beschreven in het landschappelijke inpassingsplan van BügelHajema worden gegeven in Tabel 9.

Tabel 9. Informatie woningeigenschappen uit bron: Landschappelijke inpassing en beeldkwaliteit Diepstroeten Assen, BügelHajema.

Eigenschap	Beschrijving
Type materiaal	Natuurlijk en licht gebruik veel hout
Hoofdvorm	Enkelvoudig
Vorm dak	Platte afwerking of flauwe kap
Type vloer	Nog niet bepaald
Type fundering	Nog niet bepaald

Zoals uit Tabel 9 blijkt zijn gedetailleerde gegevens van het ontwerp nog niet bekend. Met name het type fundering, de afmetingen ervan en het type vloer zijn met het oog op trillingen van belang. Omdat het om enkellaags bouw gaat en er bij trillingshinder getoetst wordt midden op de vloer is van belang hoe trillingen zich vanuit de bodem via de fundering naar de vloer voortplanten. In de volgend paragraaf wordt hier op ingegaan.



## 6.2 Predictie toekomstige niveaus

Voor het bepalen van het verwachte trillingsniveau binnenin de woning midden op de vloer zijn een aantal aspecten van belang:

- De overdracht van trillingen in de bodem naar fundering;
- De voortplanting van trillingen vanuit fundering de gebouwconstructie in;
- Eigenfrequentie van vloeren en eventuele opslingering hiervan.

Op de verschillende onderdelen wordt kort ingegaan.

### Overdracht van bodem naar fundering

Over het algemeen kan gesteld worden dat het trillingsniveau op de fundering lager ligt dan in de bodem. Hoeveel het trillingsniveau afneemt is afhankelijk van de stijfheid en de massa van de fundering ten opzichte van de stijfheid- en massa-eigenschappen van de bodem. Daarbij speelt een belangrijke rol welke golflengtes in de bodem optreden en hoe deze zich verhouden tot de geometrie van de constructie. Uit de metingen blijkt dat de gemeten trillingen een vrij consistent beeld laten zien met dominante trillingsfrequenties rond de 5-15 Hz. De grondopbouw is de bovenste paar meter sterk zandig/siltig, maar daaronder is dichtgepakt zand aanwezig. Golflengtes zullen daarom mogelijk variëren, een eerste inschatting is dat deze rond de 10-15 meter liggen.<sup>4</sup>

Een algemene factor die in de CUR166 wordt gehanteerd voor de overdracht van bodem naar fundering betreft een factor van 0,7. Oftewel, het niveau op fundering bedraagt ongeveer 0,7 maal het niveau in de bodem [ref. 5].

Met het oog op de voorziene nieuwbouw is het vooral van belang dat zoveel mogelijk stijfheid en massa in de fundering wordt gecreëerd. In het geval van een 'standaard' strokenfundering wordt gerekend met een factor 0,7.

De overdracht van trillingen in de bodem naar fundering kan worden gereduceerd door een stijve massieve fundering te realiseren.

### Voortplanting van trillingen vanuit fundering de gebouwconstructie in

Hoe trillingen zich via de fundering voortplanten in de gebouwconstructie hangt af van het type constructie, de massa en stijfheidsverdeling en hoeveel demping optreedt. Daarbij is van belang in welke richting de trilling optreedt en van welke frequenties en golflengtes er sprake is. Verschillende vormen van gebouwbewegingen kunnen optreden. Zo kan een verticale beweging van de fundering leiden tot een horizontale beweging van de vloer met name op de hoogste verdieping. Een verticale beweging ter plaatse van de oplegging van de vloer kan leiden tot opslingering in het midden van de vloer.

Voor de voorziene nieuwbouw Dieptstroeten geldt dat er enkellaagse bouw wordt voorzien. Dit is in principe gunstig omdat er geen opslingering van vloeren of gebouwconstructie kan optreden voor hogere verdiepingen. Enkel opslingering van de beganegrondvloer moet voorkomen worden.

---

<sup>4</sup> De golfsnelheid bij zandgronden ligt vaak rond de 100 m/s of hoger en is afhankelijk van de stijfheid. De bovenste toplaag kent mogelijk iets lagere golfsnelheden. Bij een frequentie van 5 Hz volgt dan een golflengte van iet minder dan 20 meter, rond de 15 meter bijvoorbeeld. Bij hogere frequenties neemt de golflengte af. Over het algemeen geldt hoe korter de golflengte hoe gunstiger.

## Opslingering van vloeren

Opslingering van vloeren kan optreden wanneer de dominante frequentie-inhoud van de trillingsignalen overeenkomt met de eigenfrequentie van de vloer. De mate van opslingering hangt vervolgens af van hoeveel demping er optreedt. Dit hangt weer samen met de massa van de vloer. Over het algemeen geldt hoe meer massa, hoe gunstiger. De ervaring leert dat in sommige gevallen een opslingeringsfactor van rond de 3 kan optreden. Hierbij is meestal sprake van houten vloeren. Voor betonnen vloeren hanteren wij een maximale factor van 2,0.<sup>5</sup>

Omdat nog geen gegevens beschikbaar zijn van het type vloer kan nog geen goede inschatting van de eigenfrequentie van de vloer worden gemaakt. Echter, bij beganegrondvloeren is relatief makkelijk opslingering te voorkomen door bijvoorbeeld een extra ondersteuning te realiseren.

Voor trillingen in de bodem in horizontale richting wordt geen opslingering van vloeren verwacht. Enkel de verticale meetrichting wordt hiertoe beschouwd omdat het om enkellaagse bouw gaat.

De voorgestelde opslingeringsfactoren zijn samengevat in tabel 10.

Tabel 10. Opslingeringsfactoren per woningtype

Veffmax maaiveld	Woning beganegrond
Voorgestelde opslingeringsfactor	a.g.v. verticale meetrichting factor 1,0 – 2,0 a.g.v. horizontale meetrichting factor 1,0

## Resultaten van de predictie

Worden de factoren zoals voorgesteld voor de overdracht en opslingering toegepast op de gemeten trillingsniveaus in de bodem, dan volgt een predictie van trillingsniveau op vloerniveau zoals weergegeven in Tabel 11.

Onderscheid wordt gemaakt in de dag- en nachtperiode. Voor de nachtperiode gelden namelijk strengere streefwaarden (zie Tabel 3). Uit de predictie volgt dat de hoogste waarden in horizontale richting worden verwacht wanneer er geen opslingering optreedt (opslingering vindt plaats in verticale richting). Treedt er wel opslingering op dan wordt voor de dagperiode een waarde verwacht die net boven de streefwaarde voor de dagperiode uitkomt ( $A_2 = 0,4$ ). Voor de nachtperiode geldt dat met opslingering ook boven de streefwaarde voor de nachtperiode van  $A=0,2$  wordt uitgekomen.

Tabel 11. Predictie van verwachte niveaus  $V_{\max}$ \*

Maximaal gemeten $V_{\text{eff,max}}$ maaiveld o.b.v. locatie 1	Prognose trillingsniveaus $V_{\max}$
Dagperiode verticaal: 0,33	0,23-0,46
Dagperiode horizontaal: 0,56	0,39
Nachtperiode verticaal: 0,21	0,15-0,29
Nachtperiode horizontaal: 0,29	0,20

\*De predictie van trillingsniveaus kent altijd een mate van onzekerheid. De range in verticale richting betreft het wel of niet optreden van opslingering.

<sup>5</sup> Een factor 2,0 komt overeen met 6dB 'floor resonance' die in de Amerikaanse richtlijn van de FTA wordt genoemd [ref. 4].

De predictie van trillingsniveaus in Tabel 11 betreffen waarden die geschat zijn op basis van ervaring met meetresultaten en factoren zoals deze in literatuur worden gegeven. Met een project-specifieke modelberekening met eindige-elementenmodel kan een nauwkeurigere schatting worden verkregen.

In de predictie is alleen ingegaan op  $V_{\max}$ -niveaus omdat de gemeten  $V_{\text{per}}$ -niveaus dermate onder de streefwaarde liggen dat ook bij opslinging niet boven de streefwaarde wordt uitgekomen. De toetsing van  $V_{\max}$  is daarom maatgevend.

# 7

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 7.1 Conclusies

Uit de resultaten van het trillingsonderzoek volgt een aantal conclusies:

- Meetlocaties 1 en 2 liggen op respectievelijk circa 35 en 55 meter van het spoor waar de fundering van de dichtst bijgelegen woningen wordt voorzien. De twee locaties laten hetzelfde beeld zien waarbij op locatie 1 (dat het dichtst op het spoor ligt) de hoogste niveaus zijn gemeten;
- De hoogst gemeten trillingsniveaus als gevolg van treinpassages lijken op beide locaties het gevolg van goederentreinen.
- De hoogst gemeten  $V_{\text{eff,max}}$ -niveaus zijn gemeten op meetlocatie 1 die het dichtst op het spoor ligt. Deze niveaus zijn gedurende de dagperiode gemeten. Het hoogste niveau bedraagt  $V_{\text{eff,max}} = 0,56$  voor de dagperiode en 0,29 voor de nachtperiode. Beide in horizontale richting gemeten. Voor de verticale richting gelden de waarden  $V_{\text{eff,max}} = 0,33$  en 0,21, respectievelijk.
- Voor  $V_{\text{per}}$  geldt dat lage niveaus op beide locaties zijn gemeten van maximaal 0,033;
- De optredende trillingssignalen tonen dat de dominante frequentie-inhoud voor de maatgevende trillingssignalen ligt tussen de ca. 5 Hz en 15 Hz.
- Worden de gemeten trillingsniveaus in de bodem direct getoetst aan de SBR-richtlijn deel B dan wordt niet voldaan aan de streefwaarden voor nieuwbouw.
- De streefwaarden van de SBR-richtlijn deel B dienen echter te worden getoetst binnenin een gebouw. Hiervoor dient te worden bepaald hoe de toekomstige nieuwbouw reageert op spoortrillingen vanuit de bodem. Er kan namelijk zowel reductie of juist versterking van het trillings signaal plaatsvinden;
- Voor de nieuwbouw is op basis van de beperkte informatie van de karakteristieken een predictie gemaakt van verwachte trillingniveaus op vloerniveau. Onderscheid wordt hierbij gemaakt in horizontale richting en verticale richting omdat het om enkellaagse bouw gaat en er dan enkel mogelijk opslinging van vloeren in verticale richting wordt verwacht.
- Uit de predictie volgt dat voor de dagperiode  $V_{\text{eff,max}}$ -niveaus worden verwacht op vloerniveau tussen de 0,23 en 0,46 in de verticale richting (naargelang er opslinging optreedt) en 0,39 in horizontale richting. Voor de nachtperiode volgen enigszins lagere niveaus tussen de 0,15 en 0,29 voor de verticale richting en 0,2 in horizontale richting. De streefwaarde volgens de SBR-richtlijn deel B voor de dagperiode bedraagt  $V_{\text{eff,max}} A2 = 0,4$  en voor de nachtperiode  $V_{\text{eff,max}} A2 = 0,2$ .
- Geconcludeerd wordt dat een overschrijding van de streefwaarde voor nieuwbouw niet kan worden uitgesloten zonder dat wordt aangetoond dat opslinging wordt voorkomen en er een voldoende stijve fundering (of een andere maatregel) wordt toegepast. Hier dient in de verdere uitwerking van het ontwerp aandacht aan te worden besteed.

## 7.2 Aanbevelingen

Voor de voorziene nieuwbouw wordt aanbevolen met meer detail te kijken naar het ontwerp en te bepalen hoe de fundering en de woningconstructie wordt voorzien. Aanbevolen wordt om te waarborgen dat:

- opslinging wordt vermeden (een nauwkeurige bepaling van eigenfrequentie van vloer is daarbij van belang). Een eventueel extra ondersteuning zou oplossing kunnen bieden wanneer nodig;
- de fundering relatief massief kan worden uitgevoerd (een plaatfundering levert bijvoorbeeld extra stijfheid op, maar ook extra kosten);
- indien een paalfundering wordt toegepast de eventuele positieve werking hiervan in kaart wordt gebracht.

Mocht uit een nadere uitwerking van het ontwerp blijken dat een maatregel erg kostbaar is, dan wordt aanbevolen een kostenbatenafweging te maken. Hierbij kan rekening worden gehouden met het feit dat het om een relatief bescheiden overschrijding van de streefwaarde gaat en dat deze naar verwachting slechts enkele malen per week optreedt.

## REFERENTIES

1. Stichting Bouw Research (2006). SBR-richtlijn deel B: Hinder voor personen in gebouwen.
2. Landschappelijke inpassing en beeldkwaliteit Diepstroeten\_ontwerp (2020). BügelHajema.
3. Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen (2019). Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
4. Federal Transit Administration (2006). Transit Noise and Vibration Impact Assessment.
5. CUR Bouw en Infra (2012). 166 Damwandconstructies, 6<sup>e</sup> herziene druk.