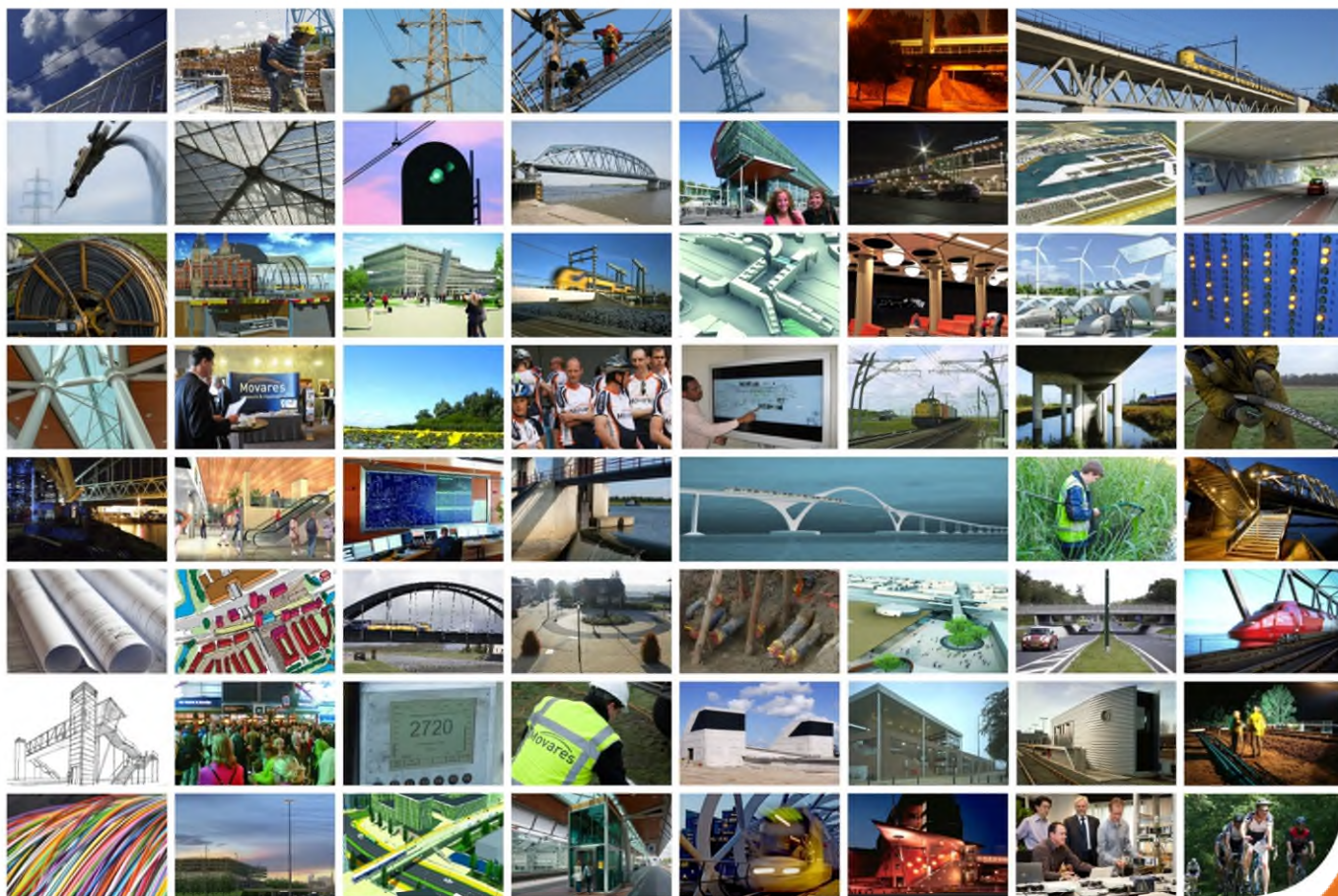




D79-KGA-KA-2000005

3 maart 2020 - Versie 1.0

Autorisatieblad

Cartesiusdriehoek

Trillingsonderzoek - extra maatregelen

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door		✓	3-03-2020
Gecontroleerd door		✓	3-03-2020
Vrijgegeven door		✓	3-03-2020

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

Versie historie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
0.1		11-2-2020	Eerste conceptrapport
0.2		27-2-2020	Aanpassing berekening gebouw B
0.3		28-2-2020	Interne review
0.4		2-3-2020	Verwerking commentaar Keystone

Samenvatting

Keystone Vastgoed B.V. ontwikkelt in Utrecht woningbouw op een perceel van de Cartesiusdriehoek. Dit gebied ligt langs de spoorlijn Amsterdam – Utrecht, dichtbij station Utrecht Zuilen. Op basis van de afstand tot het spoor en het spoorgebruik is trillingshinder in de woningen niet op voorhand uit te sluiten, daarom is een indicatief onderzoek gedaan door Peutz waarin wordt aangegeven dat nader onderzoek met behulp van metingen en dynamische rekenmodellen nodig is.

Movares heeft nader onderzoek uitgevoerd met metingen en rekenmodellen (frequentie-afhankelijk). Op basis van de resultaten van de vorig onderzoek zijn overschrijdingen van de (strengere) streefwaarden voor een nieuwe situatie te verwachten in alle bouwblokken. In de bouwblokken het dichtst bij het spoor (A, B en C) zijn ook overschrijdingen van de streefwaarden voor bestaande situaties mogelijk.

Op 14 januari 2020 heeft een overleg plaatsgevonden bij de gemeente Utrecht waarbij de gemeente Utrecht, Keystone en Movares aanwezig waren. Naar aanleiding van dit overleg met de gemeente Utrecht heeft Keystone aan Movares gevraagd voor de blokken A, B en C de volgende (nieuwe) maatregelvarianten door te rekenen:

De uitgevoerde simulaties leiden tot de volgende conclusies:

- Met een aangepaste rekenmethode, waarbij de funderingsoverdracht is gebruikt uit een FEM bodemmodel, is de trillingssterkte tot 50% afgenomen ten opzichte van de eerder gepresenteerde resultaten;
- In de referentiesituatie is het trillingssterkte hoger dan de streefwaarden voor bestaande situaties;
- De maatregelen hebben voor verschillende gebouwen verschillende effecten. Sommige maatregelen zijn effectief voor een gebouw, maar versterken de trillingen juist in een ander gebouw;
- Gebouw A: De trillingen zijn lager dan de streefwaarden voor bestaande situaties bij toepassing van de volgende maatregelen:
 - o 1: betonplaat
 - o 1a: betonplaat + EPS
 - o 2: extra wanden
 - o 4b: OTC betonwand
- Gebouw B: De trillingen zijn lager dan de streefwaarden voor bestaande situaties bij toepassing van de volgende maatregelen:
 - o 1: betonplaat
 - o 2: extra wanden
 - o 4a: OTC damwand
 - o 4b: OTC betonwand
- Gebouw C: De trillingen zijn lager dan de streefwaarden voor bestaande situaties bij toepassing van de volgende maatregelen:
 - o 1: betonplaat
 - o 4a: OTC damwand
 - o Opvallend is dat het hoogste niveau in gebouw C optreedt op de begane grond. Een mogelijke verklaring is dat de vloeren op de begane

grond andere eigenschappen hebben dan de verdiepingsvloeren.

Mogelijk kan aan de streefwaarden worden voldaan door de vloeren op de begane grond aan te passen.

- De maatregel met betonplaat is effectief voor alle gebouwen (bouwblok A, B en C).

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doel	6
1.3 Aanpak	6
1.4 Leeswijzer	6
2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Omgeving	7
2.3 Bouwlocatie	8
2.4 Geplande bebouwing	9
3 Beoordelingskader	10
3.1 Algemeen	10
3.2 Grootheden	10
3.3 Streefwaarden	10
3.3.1. <i>Nieuwe of bestaande situatie</i>	11
3.3.2. <i>Periode gedurende de dag</i>	11
3.3.3. <i>Gebouwfunctie</i>	11
3.4 Beoordeling in huidige onderzoek	12
4 Meetresultaten	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Meetresultaten	13
5 Analyse en berekeningen	15
5.1 Prognosemethode	15
5.1.1. <i>Overdracht tussen meetpunten</i>	15
5.1.2. <i>Overdracht van maaiveld naar fundering in FEM</i>	16
5.1.3. <i>Overdracht van fundering naar midden vloerveld</i>	17
5.2 Resultaten	18
5.2.1. <i>Prognose trillingen in gebouwen</i>	18
5.3 Betrouwbaarheid	18
5.4 Voorkomen van trillingshinder	19
5.4.1. <i>Afweging</i>	19
5.4.2. <i>Aanvullende maatregelen</i>	19
6 Beschouwde maatregelen	23
7 Conclusies en aanbevelingen	27
Colofon	28

Bijlage I – gegevens van de metingen

Bijlage II – Meetresultaten

Bijlage III – Bodemopbouw

Bijlage IV – Eindige elementen modellen

Bijlage V – Maatregelen

Bijlage VI – Resultaten beoordeling nieuwe situatie

Bijlage VII – Resultaten beoordeling bestaande situatie

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Keystone Vastgoed B.V. ontwikkelt in Utrecht woningbouw op een perceel van de Cartesiusdriehoek. Dit gebied ligt langs de spoorlijn Amsterdam – Utrecht, dichtbij station Utrecht Zuilen. Op basis van de afstand tot het spoor en het spoorgebruik is trillingshinder in de woningen niet op voorhand uit te sluiten, daarom is een indicatief onderzoek gedaan door Peutz waarin wordt aangegeven dat nader onderzoek met behulp van metingen en dynamische rekenmodellen nodig is. Op basis van het rapport van Peutz heeft de gemeente Utrecht gevraagd om de volgende aspecten nader te beschouwen:

- Voldoende lang te meten op een locatie die representatief is voor het bouwgebied
- Meten op meerdere afstanden van het spoor
- Uitvoeren van een dynamisch rekenonderzoek naar trillingen in het gebouw, gebaseerd op de trillingsmetingen en het gebouwwontwerp

Movares heeft een trillingsonderzoek geleverd waarin bovenstaande aspecten zijn opgenomen¹. De gemeente Utrecht beschouwt de door Movares gehanteerde rekenmodellen niet als dynamische rekenmodellen. In dit onderzoek worden dynamische eindige elementenberekeningen toegepast om het trillingsniveau in de gebouwen te voorspellen.

Movares heeft vervolgens met dynamische eindige elementenberekeningen van de gebouwen het trillingsniveau in de Cartesiusdriehoek voorspeld². Uit dit onderzoek kwam naar voren dat de hoogste trillingsniveaus te verwachten zijn in de bouwblokken A, B en C. In deze bouwblokken zijn trillingsniveaus voorspeld die hoger zijn dan de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties. Verschillende maatregelen zijn in dit onderzoek doorgerekend, maar die bleken onvoldoende effectief.

Op 14 januari 2020 heeft een overleg plaatsgevonden bij de gemeente Utrecht waarbij de gemeente Utrecht, Keystone en Movares aanwezig waren. Naar aanleiding van dit overleg met de gemeente Utrecht heeft Keystone aan Movares gevraagd voor de blokken A, B en C de volgende (nieuwe) maatregelvarianten door te rekenen:

- 1: Betonnen funderingsplaat extra dik (1,5 m).
- 1a: Betonnen funderingsplaat extra dik (1,5 m) in combinatie met een EPS-laag vóór de fundering. (Deze variant is in het overleg met de gemeente niet ter sprake gekomen, maar geeft mogelijk tegen relatief beperkte kosten een extra trillingsreductie.)
- 2: Extra wanden, zodat de vloeroverspanningen kleiner worden.
- 3: Afveren van het bouwblok.
- 4a: OTC in de vorm van een damwand met EPS-laag vóór de damwand.
- 4b: OTC in de vorm van een betonwand.

In de beschouwde varianten wordt de funderingsoverdracht steeds met een FEM (Finite Element Method) bodemmodel met de bodem en het bouwblok bepaald. Eerder is gebruik gemaakt van een theoretische funderingsoverdracht. In de laatste resultaten

¹ Cartesiusdriehoek Utrecht, Trillingsonderzoek, Movares, D79-MKA-KA-1800198, 1 november 2018

² Cartesiusdriehoek Utrecht, Trillingsonderzoek met behulp van dynamische rekenmodellen, D79-WGA-KA-1900063, 16 december 2019 – Versie 0.3

bleek dat het uitmaakt of de funderingsoverdracht met een FEM berekening wordt berekend, of dat er een theoretische overdracht gebruikt wordt.

1.2 Doel

U heeft ons gevraagd om een trillingsonderzoek met behulp van eindige elementenberekeningen uit te voeren waarmee voldaan wordt aan de eisen van de gemeente, en waarmee inzichtelijk wordt gemaakt of er aanvullende eisen/aanpassingen nodig zijn aan de bebouwing, en zo ja, welke eisen/aanpassingen dat moeten zijn.

1.3 Aanpak

Trillingen van spoorverkeer zijn locatiespecifiek. Wij hebben daarom de volgende aanpak gevolgd:

1. Uitvoeren van een trillingsmeting ter plaatse van het plangebied. Deze meting bestaat uit twee onderdelen:
 - a. Meting waarmee wij de uitdamping van de trillingen met de afstand vaststellen (hoe verder van het spoor, hoe lager de trillingen). Deze meting heeft een beperkte meetduur van enkele uren, voldoende om de eigenschappen van de bodem en de uitdamping met de afstand vast te stellen.
 - b. Meting waarmee wij over langere tijd (1 week) de trillingen vaststellen. Gezien de door Peutz gemeten waarden is dit niet strikt noodzakelijk, maar gezien het verzoek van de gemeente wordt deze langere meting uitgevoerd. Het grillige karakter van goederentreinen (grote variatie in passeertijd, zwaarte, etc.) maakt een meetduur van een week wenselijk.
Deze metingen zijn reeds uitgevoerd bij het eerder uitgevoerde trillingsonderzoek¹.
2. Het maken van een prognose van de trillingsniveaus in de geplande woningen, op basis van de door u opgegeven eigenschappen van de geplande woningen. De woningen binnen een afstand van 100 meter van het spoor worden ten behoeve van deze prognose doorgerekend met dynamische eindige elementen berekeningen.

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.

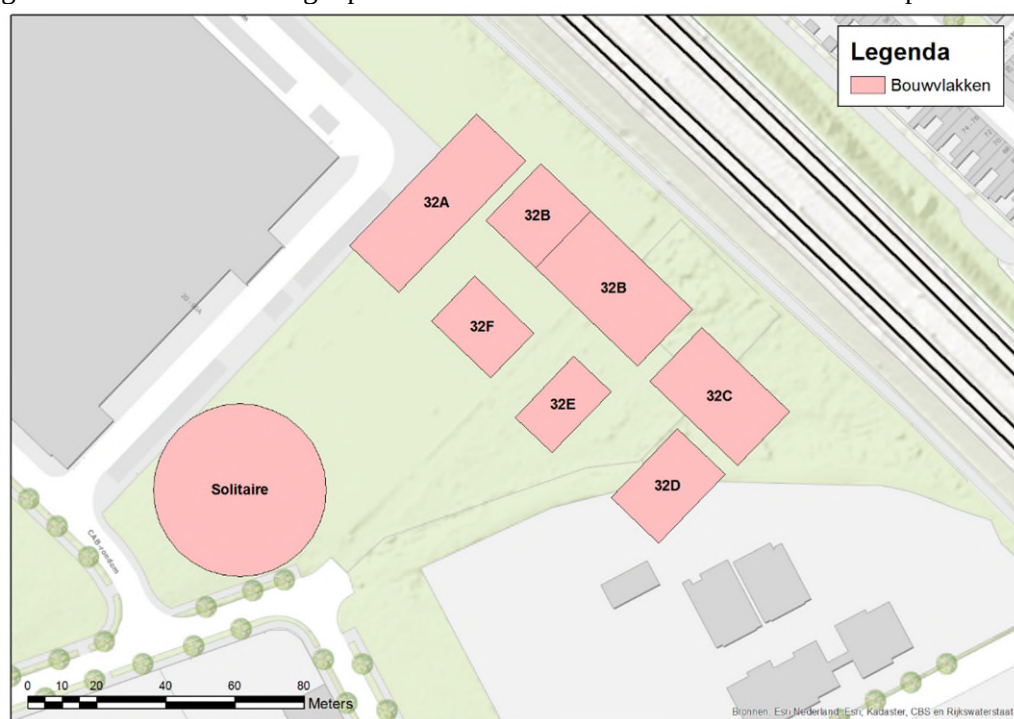
2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

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 westen van de spoorlijn Utrecht – Amsterdam, zie Figuur 2-1. De spoorlijn wordt zowel door reizigers- als door goederenverkeer gebruikt. De kortste afstand van woningen tot het spoor is 39 meter (bouwblok 32B). Bouwblokken 32A t/m 32F liggen binnen een afstand van 100 meter van het spoor. Het gebouwblok “Solitaire” ligt op een afstand van meer dan 100 meter van het spoor.



Figuur 2-1 Plangebied nieuwbouw Cartesiusdriehoek

De rijsnelheden van het treinverkeer zijn weergegeven in Tabel 2-1, en gebaseerd op gegevens uit het *Geluidregister Spoor* en het trillingsonderzoek ten behoeve van *Ede Spoorzone*.

Tabel 2-1 Rijsnelheden treinverkeer

Corridor	Type trein	Snelheid
Utrecht – Amsterdam	Doorgaande treinen (ICE en IC)	86 tot 109 km/h
Utrecht – Amsterdam	Stoppende reizigerstreinen (SPR)	64 tot 103 km/h
Utrecht – Amsterdam	Goederentreinen	60 tot 80 km/h

Het aantal treinen gedurende dag, avond en nacht is weergegeven in Tabel 2-2. De intensiteiten zijn gebaseerd op het trillingsonderzoek zoals uitgevoerd ten behoeve van *Tracébesluit Doorstroomstation Utrecht*.

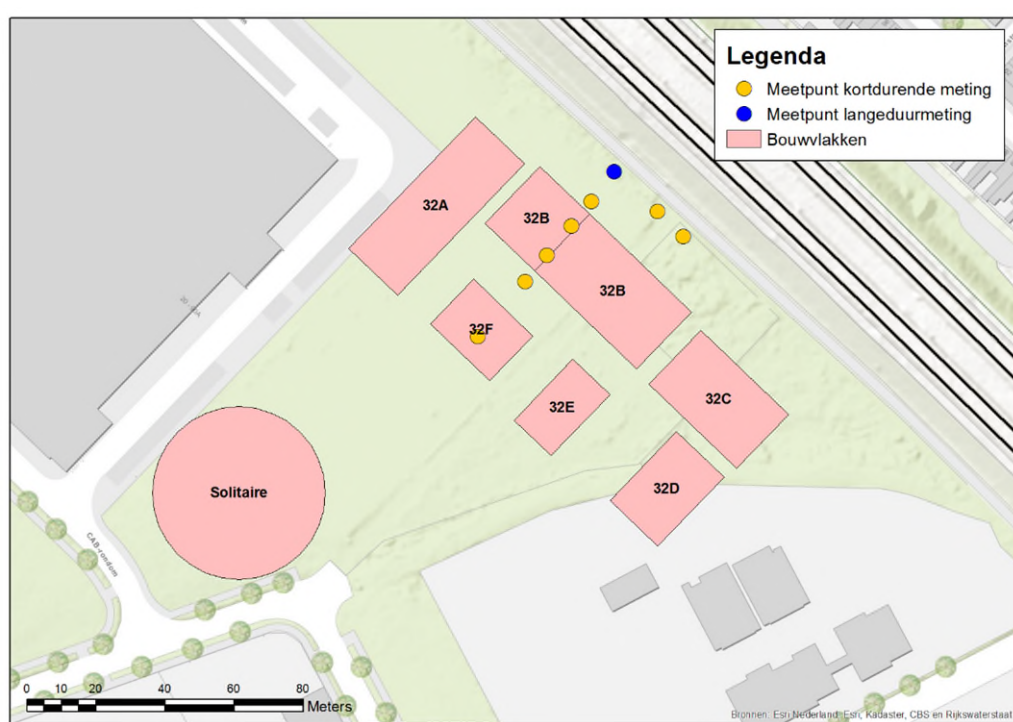
Tabel 2-2 Intensiteiten treinverkeer per uur per richting

Treintype en verbinding	Dag (7:00 – 19:00)	Avond (19:00 – 23:00)	Nacht (23:00 – 7:00)
Intercity Schiphol – Utrecht v.v. ³	4.00	3.50	1.00
Intercity Amsterdam – Utrecht v.v.	6.00	6.00	1.93
ICE Amsterdam – Utrecht v.v.	1.00	1.00	0.32
Sprinter Breukelen – Utrecht v.v.	6.00	6.00	1.93
Goederen Amsterdam – Utrecht v.v.	0.70	0.76	0.48

Nabij het onderzoeksgebied bevinden zich geen andere trillingsbronnen met een waarneembare trillingssterkte. Andere bronnen zijn daarom niet meegenomen in dit onderzoek.

2.3 Bouwlocatie

De metingen zijn uitgevoerd op maaiveldniveau op de locatie van de geplande nieuwbouw. De te bouwen panden liggen op een afstand vanaf zo'n 39 meter tot het dichtstbijzijnde hoofdspoor. Het spoor ligt hier op verhoogd talud. Een plattegrond van de locatie met daarop de meetlocaties is weergegeven in Figuur 2-2. Op deze locatie zijn twee metingen uitgevoerd op maaiveld: een onbemande lange meting met één meetpunt en een bemande korte meting met acht meetpunten op meerdere locaties. Het meetpunt voor de lange meting is ook tijdens de korte meting gebruikt. Een foto van de meetopstelling is weergegeven in Figuur 2-3.



Figuur 2-2 Locatie van de meetlocatie met de meetpunten.

³ In de berekening is rekening gehouden met de intensivering voor PHS, waarin de intensivering wordt verhoogd tot: dag (7:00 – 19:00): 6.00, avond (19:00 – 23:00): 6.00 en nacht (23:00 – 7:00): 1.93.



Figuur 2-3 Foto van de meetopstelling van de langeduurmeting

2.4 Geplande bebouwing

De eigenschappen van de toekomstige bebouwing zijn bekend. In dit onderzoek is gerekend met de eigenschappen zoals opgenomen in Tabel 2-3. De nummering van de gebouwen correspondeert met de nummers in Figuur 2-1.

Gezien de bodemopbouw (zie Bijlage III, dit betreft sonderingen aan de overzijde van het spoor) wordt de toekomstige bebouwing op palen gefundeerd.

Tabel 2-3 Eigenschappen bebouwing

Nr	Naam	Type gebouw	Hoogte	Beukmaat	Vloertype
1	32A	Appartementen	16.2	7.5	Breedplaatvloer
2	32B	Appartementen	16.2	6.6	Breedplaatvloer
3	32C	Appartementen	16.2	6.6	Breedplaatvloer
4	32D	Appartementen	16.2	5.2	Breedplaatvloer
5	32E	Appartementen	16.2	7.3	Breedplaatvloer
6	32F	Appartementen	16.2	6.8	Breedplaatvloer

3 Beoordelingskader

3.1 Algemeen

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 is schade als gevolg van passerende treinen onwaarschijnlijk op een afstand van meer dan 30 meter tot 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.

3.2 Grootheden

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.

3.3 Streefwaarden

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.

3.3.1. Nieuwe of bestaande situatie

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.

3.3.2. Periode gedurende de dag

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.

3.3.3. Gebouwfunctie

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 en in Tabel 3-1 voor bestaande situaties. De huidige onderzoekslocatie heeft 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 ¹⁾	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	---

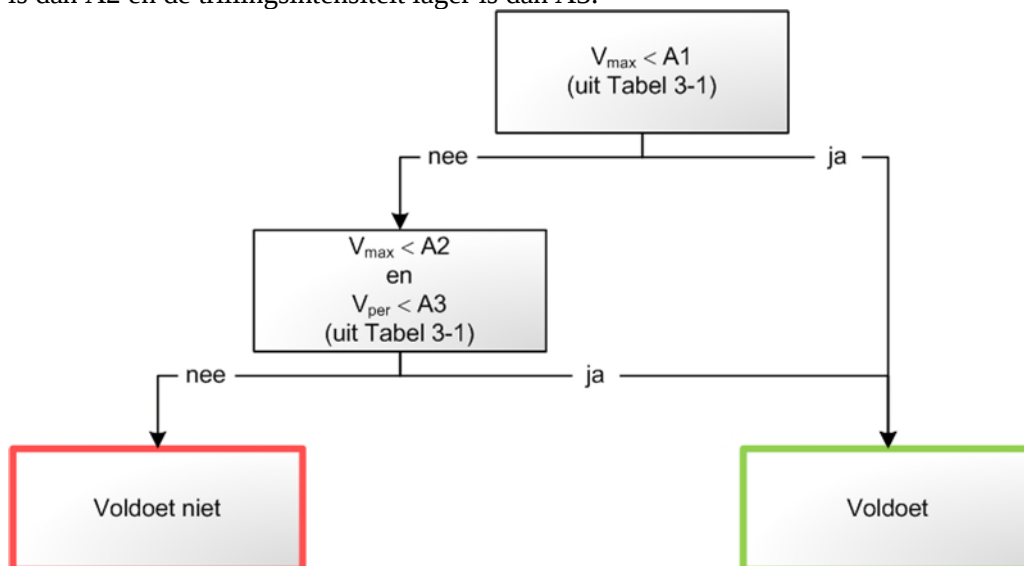
¹⁾ Een streefwaarde van 0.1 betekent een waarde kleiner dan 0.15

Tabel 3-2 Streefwaarden bestaande situatie volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
<i>Gezondheidszorg</i>	0.2 ¹⁾	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
<i>Wonen</i>	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
<i>Kantoor</i>	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
<i>Bijeenkomsten</i>	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
<i>Kritische werkruimte</i>	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

3.4 Beoordeling in huidige onderzoek

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

4 Meetresultaten

4.1 Inleiding

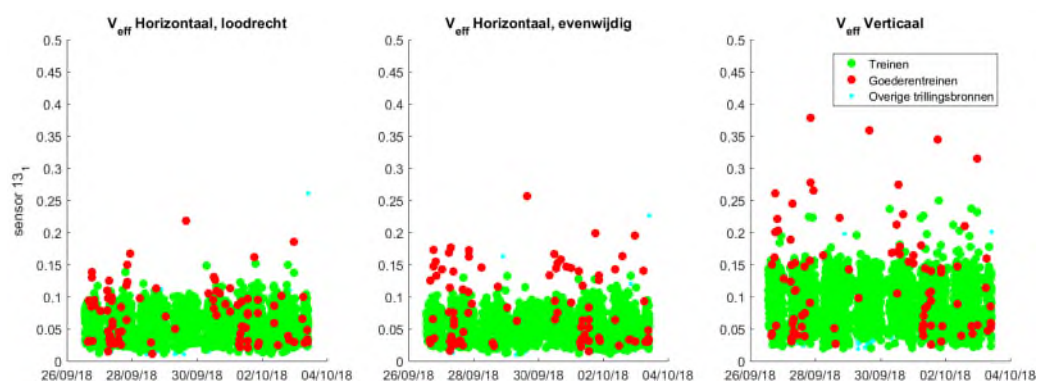
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de reeds eerder uitgevoerde metingen beschreven. Er zijn twee metingen uitgevoerd:

1. Een korte duur meting met meerdere meetpunten, bedoeld om de variatie in bodemopbouw en spreiding van de trillingsniveaus binnen het onderzoeksgebied vast te stellen;
2. Een lange duur meting met één meetpunt, om de variatie van de trillingen over de tijd vast te stellen. Op deze manier ontstaat een representatief beeld van de trillingen over een looptijd van een week.

4.2 Meetresultaten

De gemeten trillingssnelheden van de treinen tijdens de lange meting zijn per richting weergegeven in Figuur 4-1. Dit betreft de trillingen op maaiveld op ca. 22.7 m afstand van het spoor. Op maaiveld zorgen vooral de goederentreinen voor hoge trillingen. De trillingen zijn weergegeven in drie richtingen:

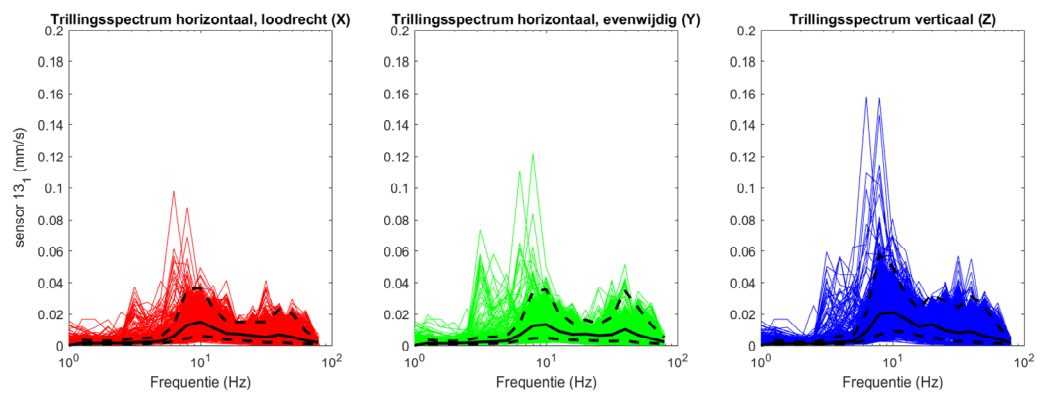
1. Horizontaal, loodrecht op het spoor (ook wel X genoemd);
2. Horizontaal, parallel aan het spoor (ook wel Y genoemd);
3. Verticaal (ook wel Z genoemd).



Figuur 4-1 Trillingssterktes op maaiveldniveau als functie van de tijd

Het trillingsspectrum van de gemeten treinen in deze periode is weergegeven in Figuur 4-2. De trillingen zijn vooral dominant in verticale richting (Z). De trillingen zijn vooral hoog tussen de 5 en 10 Hz.

Daarnaast is met de korte meting voor elk meetpunt bepaald hoe de gemeten trillingen in dat meetpunt zich verhouden tot de trillingen in het meetpunt voor de lange meting, zie Bijlage II. Met deze verhoudingen zijn voor elk meetpunt de trillingen van alle gepasseerde treinen vastgesteld.



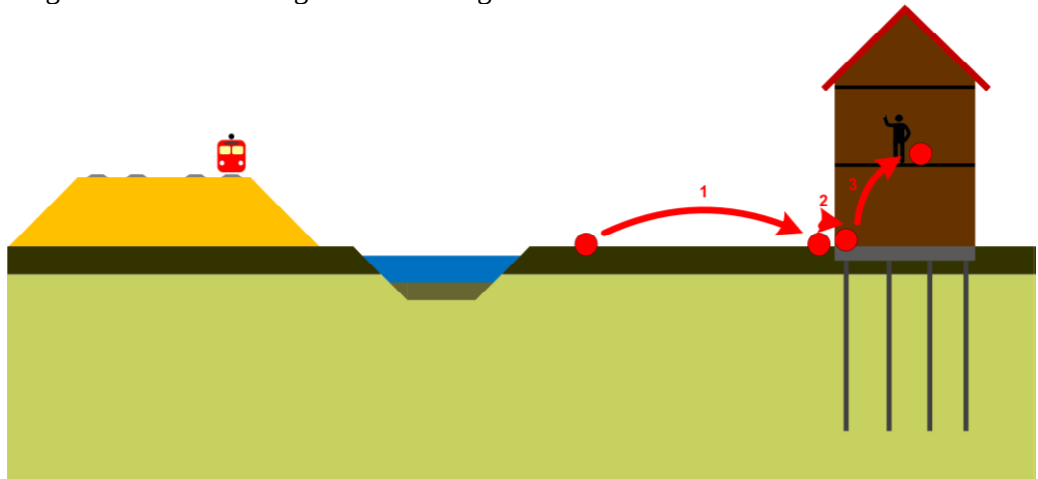
Figuur 4-2 Trillingsspectra van treinpassages tijdens de lange meting

5 Analyse en berekeningen

5.1 Prognosemethode

De resultaten van de metingen zijn gecombineerd met informatie over de geplande bebouwing. Hiermee is een prognose gemaakt van de trillingssterktes aan de fundering en op de vloeren van de gebouwen, op de locatie van elk bouwvlak.

De prognoses van trillingen op funderingsniveau en op midden vloerveld wordt gedaan volgens de methode die getoond is in Figuur 5-1.



Figuur 5-1 Methode voor het vaststellen van de trillingen in een gebouw

Deze methode werkt als volgt:

1. De trillingen van de langeduurmeting worden vertaald naar een meetpunt op maaiveld ter plaatse van het bouwvlak, door de trillingen bij het bouwvlak uit de korteduurmeting te delen op de trillingen bij het meetpunt van de langeduurmeting uit de korteduurmeting. Deze overdracht corrigeert voor bijvoorbeeld verschillen in afstand tot het spoor (uitdamping van de trillingen met de afstand) en voor variatie in de bodem of de spoorligging.
2. De trillingen op maaiveld worden vertaald naar een meetpunt op de fundering van het bouwvlak, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type fundering) en de bodem.
3. De trillingen op de fundering worden vertaald naar een meetpunt op de hoogste vloer van het bouwvlak, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type constructie). In dit onderzoek gebeurt deze vertaling met behulp van eindige elementen modellen van de gebouwen.

Resultaat van deze berekening is een predictie van de trillingssituatie in het gebouw, waarbij elke afzonderlijke trein zoals gemeten is bij de langeduurmeting is vertaald naar een trillingssignaal in de woning. Over deze trillingen worden de parameters V_{max} en V_{per} bepaald, waarna deze worden beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

5.1.1. Overdracht tussen meetpunten

De overdracht van het meetpunt uit de langeduurmeting naar de overige meetpunten is bepaald tijdens de korte meting. Deze overdrachten zijn weergegeven in Bijlage II. Door deze overdrachten te vermenigvuldigen met de trillingen uit de langeduurmeting, zijn de trillingen uit die meting op elk willekeurig punt te bepalen. Voor tussenliggende

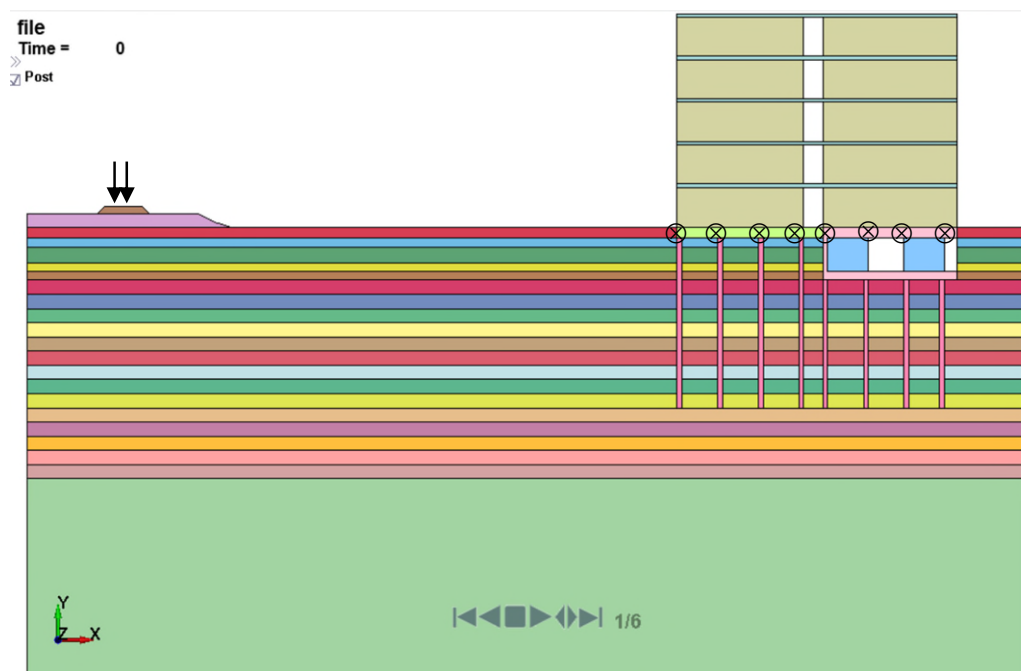
punten wordt geïnterpoleerd op basis van de Barkan-vergelijking, een empirische formule die de uitdemping van de trillingen met de afstand beschrijft.

5.1.2. Overdracht van maaiveld naar fundering in FEM

Gebouwen A, B en C staan deels op een kelder. Om de overdracht van maaiveld naar verschillende posities op de fundering te bepalen, zijn er 2D FEM vlakke rek modellen opgezet met de gebouwen inclusief de fundering, de heipalen en de kelder. Een afbeelding van dit model staat in Figuur 5-2. De eigenschappen van de bodem zijn gebaseerd op sondering Sondering 13 uit het ter plaatse uitgevoerd geotechnisch bodemonderzoek⁴.

De berekende responsies ter plaatse van de fundering in deze modellen wordt toegepast als opgelegde trilling aan de onderzijde van de gebouwmodellen (5.1.3). Varianten van dit model zijn ook gebruikt om de invloed van verschillende maatregelen te beschouwen, zoals een betonplaat onder de fundering of een trillingsscherm.

Een zelfde model van de bodem is opgesteld zonder het gebouw. De overdracht van maaiveld naar midden vloerveld ontstaat door de trillingen ter plaatse van de vloeren uit het gebouwmodel (5.1.3) te delen door de trillingen op maaiveld ter plaatse van de voorzijde van het gebouw.



Figuur 5-2 FEM model gebouw B, inclusief bodem, fundering, heipalen en kelder.

Dynamische belasting vindt plaats ter plaatse van de pijlen. De responsie van het model wordt bepaald bij de ⊗ symbolen. Deze responsie wordt opgelegd aan de onderzijde van het gebouwmodel.

⁴ Rapport “nieuwbouw 300 woningen 3 laags, cartesiusweg, UTRECHT”, Van Dijk GEO- EN MILIEUTECHNIEK b.v., opdrachtnummer 115752, 29 oktober 2018

5.1.3. Overdracht van fundering naar midden vloerveld

De overdracht van fundering naar midden vloerveld is afhankelijk van de gebouwconstructie, gebouwafmetingen, type vloer en de eigenfrequentie van de vloer. Op basis van de constructieve tekeningen van de gebouwen, zijn eindige elementenmodellen van de bouwblokken opgesteld. Afbeeldingen van de modellen staan in Bijlage IV. Deze eindige elementenmodellen worden aan de onderzijde (fundering) belast met de responsie uit het bodemmodel (5.1.2). Uit de dynamische respons van het gebouw op deze belasting, volgen overdrachten van maaiveld naar de verschillende vloeren in het gebouw.

5.2 Resultaten

De trillingen op de locatie van de lange duurmetering zijn weergegeven in Tabel 5-1. Op maaiveld zijn de trillingen al hoger dan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn voor nieuwe situaties, met name in verticale richting.

Tabel 5-1 Meetresultaten en beoordeling op maaiveld en fundering

	X	Y	Z
<i>V_{per}, dag</i>	0.01	0.01	0.05
<i>V_{per}, avond</i>	0.01	0.01	0.05
<i>V_{per}, nacht</i>	0.01	0.01	0.03
<i>V_{max}, gemeten</i>	0.22	0.26	0.38

5.2.1. Prognose trillingen in gebouwen

Vervolgens is voor alle bouwblok A, B en C een prognose gemaakt van de trillingen in de gebouwen op de vloeren op de bewoonde verdiepingen. Overschrijdingen van het beoordelingskader zijn in de tabel oranje gearceerd wanneer er alleen een overschrijding optreedt van de (strengere) streefwaarden voor de nacht, en rood als ook de (minder strenge) streefwaarden voor de dag worden overschreden. Het resultaat van de prognoses is opgenomen in Bijlage VI (toetsing nieuwe situatie) en Bijlage VII (toetsing bestaande situatie).

Uit de resultaten blijkt dat de voorspelde trillingen aanmerkelijk hoger zijn dan de streefwaarden voor nieuwe situaties. Ook zijn de voorspelde trillingen in gebouw A, B en C vaak hoger dan de streefwaarden voor bestaande situaties. Daarom zijn in de volgende paragraaf verschillende maatregelen onderzocht.

Kleur	Toelichting
	Mogelijke overschrijding, alleen 's nachts
	Mogelijke overschrijding, zowel overdag als 's nachts

Tabel 5-2 Resultaten referentiemodel

	Beoordeling Nieuwe situatie						Beoordeling Bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting		X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
Gebouw A	0,00	0,1	0,00	0,3	0,07	0,6	0,00	0,1	0,00	0,3	0,07	0,6
Gebouw B	0,03	0,4	0,00	0,2	0,05	0,5	0,03	0,4	0,00	0,2	0,05	0,5
Gebouw C	0,00	0,1	0,00	0,2	0,04	0,5	0,00	0,1	0,00	0,2	0,04	0,5

Een aantal opmerkingen bij de resultaten:

- De grootste overschrijdingen 's nachts worden veroorzaakt door incidentele passages van goederentreinen met sterk afwijkende trillingen, het gaat dan om ongeveer 1 trein per week met trillingen boven de streefwaarden, deze passeert in de late avonduren (tussen 23:00 en 00:00 uur).

5.3 Betrouwbaarheid

De prognoses zijn gebaseerd op de meest recente inzichten en de uitgangspunten zoals opgenomen in hoofdstuk 2. Desondanks is er een aantal parameters die kunnen leiden tot andere uitkomsten dan zoals hierboven beschreven:

- Wijzigingen in de sporenlay-out, het spoorgebruik of de rijnsnelheid van de treinen ten opzichte van de situatie waarvan in dit onderzoek is uitgegaan

(*Doorstroomstation Utrecht*). In het geval van wijzigingen buiten de spoorzone zal ProRail doorgaans trillingsonderzoek uitvoeren.

2. Toename van het aantal treinen, waardoor de waarde van V_{per} hoger wordt. De waarde van V_{max} neemt hierdoor niet toe. In dit onderzoek is al rekening gehouden met de toename van het aantal treinen als gevolg van het *Programma Hoogfrequent Spoor* (PHS). Dat is ook de reden dat de trillingsintensiteit V_{per} vrij hoog is, in dit programma rijden er namelijk 12 intercity's en 6 sprinters per uur per richting tussen Utrecht en Amsterdam.
3. De ligging van het spoor heeft invloed op de trillingen van het treinverkeer, deze spoorligging hangt samen met (onder meer) de onderhoudscyclus van het spoor. Naar verwachting zorgt deze variatie in spoorligging voor een variatie van +/- 25 procent in de trillingen;
4. Het FEM model is een schematische benadering van de constructie van het gebouw. Details van het gebouw kunnen van invloed zijn op het dynamisch gedrag.

5.4 Voorkomen van trillingshinder

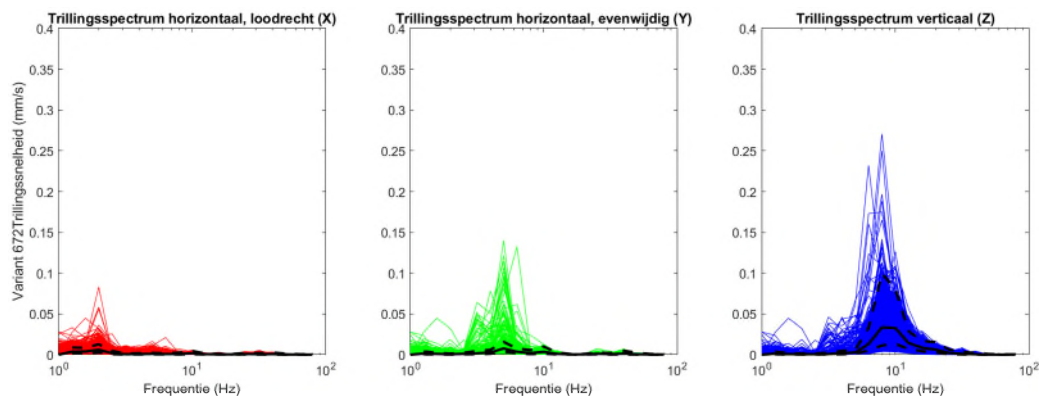
Op basis van de resultaten van dit onderzoek zijn overschrijdingen van de (strengere) streefwaarden voor een nieuwe situatie te verwachten in alle bouwblokken. In de bouwblokken het dichtst bij het spoor (A, B en C) zijn ook overschrijdingen van de streefwaarden voor bestaande situaties mogelijk. Dit komt vooral doordat de trillingen afkomstig van het spoor bij vrij lage frequenties dominant zijn (tussen de 5 en 10 Hz). Dit zijn frequenties die slecht uitdempem met de afstand.

5.4.1. Afweging

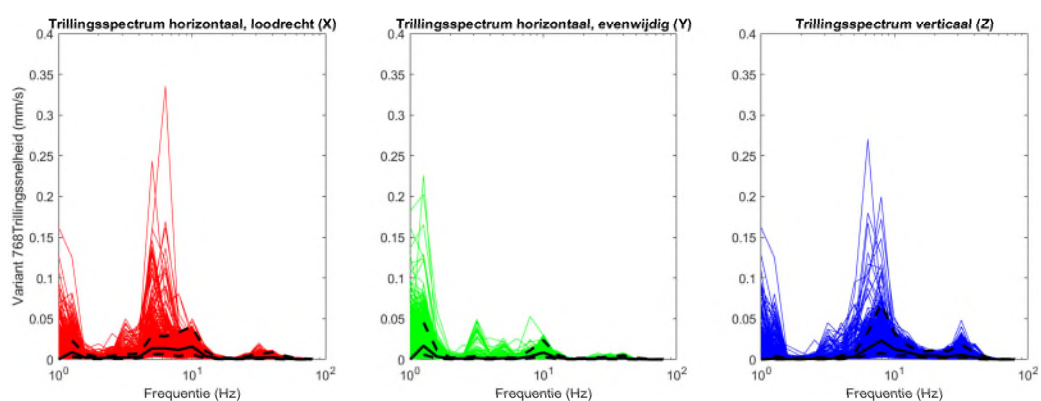
Door de hoge trillingen op maaiveld is het zonder maatregelen niet mogelijk om in de bouwblokken dichtbij het spoor te voldoen aan de streefwaarden voor nieuwe situaties uit de SBR B-richtlijn. In gebouw A, B en C geeft de FEM prognose ook hogere trillingen dan de streefwaarden voor bestaande situaties. Hiervoor bevelen we een maatregelafweging aan.

5.4.2. Aanvullende maatregelen

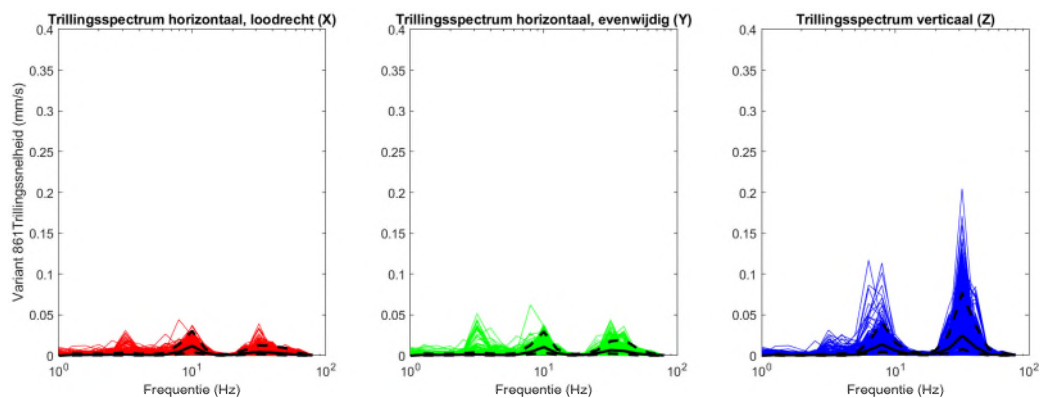
Wanneer het wenselijk is om de trillingen verder te reduceren, dan zijn er globaal gezien een aantal mogelijkheden: maatregelen in de bodem (zoals trillingsschermen) of maatregelen aan het gebouw (globaal het verstevigen van het gebouw zodat het minder gevoelig is voor de dominante trillingsfrequenties, of het qua trillingen loskoppelen van de fundering en de rest van het gebouw). Relevant hierbij is dat bij de keuze van maatregelen rekening wordt gehouden met de trillingen in het gebouw. De verwachte trillingsspectra in de blokken A t/m C zijn weergegeven in Figuur 5-3 tot en met Figuur 5-6. De trillingen zijn dominant tussen de 5 en 16 Hz in de verticale richting, en tussen 3 en 8 Hz in de horizontale richting. Maatregelen zullen vooral deze trillingsfrequenties moeten reduceren. Bij gebouw C blijken de hoogste trillingen op te treden op de begane grond. Hier heeft het spectrum ook inhoud rond een frequentie van 30 Hz.



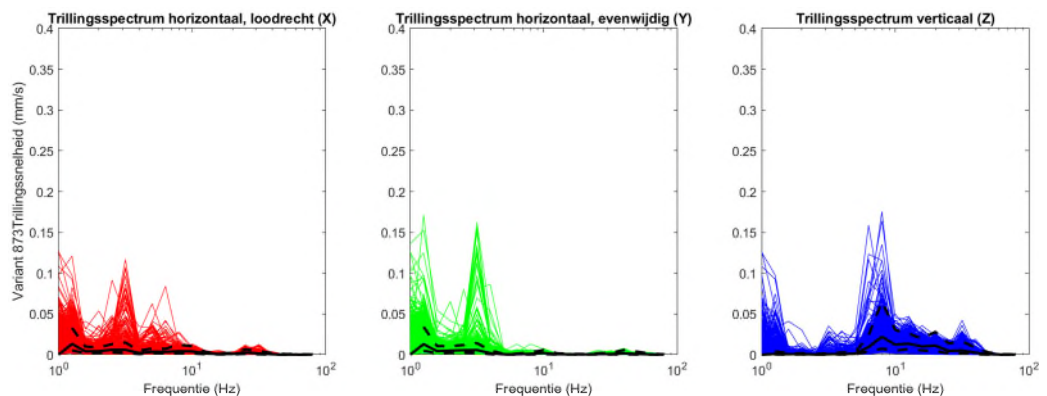
Figuur 5-3 Trillingsspectra in blok 32A (bovenste verdieping)



Figuur 5-4 Trillingsspectra in blok 32B (bovenste verdieping)



Figuur 5-5 Trillingsspectra in blok 32C op begane grond



Figuur 5-6 Trillingsspectra in blok 32C op bovenste verdieping

Omdat het trillingsspectrum vrij breed is (meerdere piekfrequenties over een breed frequentiedomein) is het technisch complex om de trillingen goed te reduceren. Veel maatregelen versterken immers de trillingen bij een bepaalde frequentie, terwijl andere frequenties dan worden uitgedempt. Bij een breed trillingsspectrum (zoals in deze situatie) hebben veel maatregelen daarom een averechts effect.

Op basis van bovenstaande zijn er een aantal mogelijke maatregelen te identificeren:

1. Realisatie van een trillingsscherm in de bodem, bijvoorbeeld een sloot of een scherm van beton, jet-grout of een dubbele damwand met een sleuf of EPS⁵ ertussen (een dergelijk trillingsscherm is aan de overzijde van het spoor gerealiseerd). Een sloot heeft bij deze bodem, en gezien de diepte van de kelder, pas effect bij een zeer forse diepte, dat is ruimtetechnisch hier niet inpasbaar. Het scherm aan de overzijde van het spoor heeft echter pas vanaf 10 Hz effect. Een effectief trillingsscherm zal daarom van beton of jet-grout moeten zijn, en een forse diepte moeten hebben van minimaal zo'n 20.0 meter, bij een breedte van 1.0 meter. De kosten voor een dergelijk scherm bedragen, bij een vereiste lengte van 225 meter, € 4.500.000,- (€ 20k/m1). Ook dan nog is het effect bij frequenties tussen de 5 en 8 Hz zeer beperkt, naar verwachting tot maximaal 10 procent. Reducties van minder dan 30 procent worden conform bestaande jurisprudentie als niet voelbaar aangemerkt. Bovendien wordt met een dergelijke maatregel nog niet voldaan aan het beoordelingskader. Wel neemt de trillingsintensiteit V_{per} naar verwachting af.
2. Aanpassen van de bebouwing zodat de gevoeligheid voor 5 tot 10 Hz nog verder wordt verminderd. Mogelijkheden hiervoor zijn:
 - a. Het vergroten van de eigenfrequentie van de vloeren door het verkleinen van de overspanning of het dikker maken van de vloeren. Gezien het feit dat gewerkt wordt met een standaard beukmaat van 6 tot 7 meter, is verkleinen van de tussenruimtes niet haalbaar. Het effect is beperkt tot maximaal zo'n 10 procent. De huidige vloeren zijn al relatief stijf.
 - b. Het verbeteren van de horizontale stijfheid van het gebouw, door kolomstructuren te vervangen door dragende wanden (verbeteren van de schijfwerking) en door niet-dragende tussenwanden (houtskelet of gips) te vervangen door dragende wanden. Het effect van dergelijke maatregelen is

⁵ Expanded Polystyrene of piepschuim

afhankelijk van de gebouwconstructie. Gezien de verschillen tussen de bouwblokken A, B en C, kan een dergelijke maatregel mogelijk tot een reductie van 30-40% bij de bouwblokken A en B.

- c. Het verstijven van de fundering, zodat de overdracht van maaiveldtrillingen naar trillingen in de fundering beperkt wordt.
- 3. Afveren van de fundering, door gebruik te maken van een dubbele fundering. De constructie voor de blokken A t/m F zullen dan afgeveerd moeten worden op deels een betonnen plaat en op deels de parkeerbak, met daarop verende elementen en daarop de funderingsbalken van het gebouw. Hierbij zijn er twee mogelijkheden: afveren met behulp van rubberen blokken of met behulp van stalen veerdozen. Nadeel van een afgeveerde fundering is dat trillingen rond de eigenfrequentie van het systeem altijd worden versterkt. Omdat lage frequenties vanaf ca. 3 Hz in de horizontale richting al een bijdrage leveren aan het trillingsniveau, zal de afveerfrequentie van een dergelijk systeem maximaal 2 Hz moeten zijn. Dergelijke lage frequenties zijn met rubberen blokken niet te realiseren. Met stalen veerdozen kunnen lagere afveerfrequenties gerealiseerd worden, maar 2 Hz is ook voor stalen veerdozen een zeer lage afveerfrequentie. De kosten voor deze maatregel worden geraamd op € 5.600.000,-.

Het project bestaat uit verschillende woningtypen, waarvan een groot deel bestaat uit sociale huurwoningen en starterswoningen. Miljoenen kostende maatregelen, zoals het afveren van het gebouw en een ondergronds trillingsscherm, leiden er toe dat het project financieel als financieel onhaalbaar kan worden bestempeld.

6 Beschouwde maatregelen

Op 14 januari 2020 heeft een overleg plaatsgevonden bij de gemeente Utrecht waarbij de gemeente Utrecht, Keystone en Movares aanwezig waren. In dit overleg zijn de resultaten besproken op basis van de rapportage van 16 december 2019⁶. Naar aanleiding van dit overleg met de gemeente Utrecht heeft Keystone aan Movares gevraagd voor de blokken A, B en C de volgende (nieuwe) maatregelvarianten door te rekenen:

- 1: Betonnen funderingsplaat extra dik (1,5 m).
- 1a: Betonnen funderingsplaat extra dik (1,5 m) in combinatie met een EPS-laag vóór de fundering (0,5 m). (Deze variant is in het overleg met de gemeente niet ter sprake gekomen, maar geeft mogelijk tegen relatief beperkte kosten een extra trillingsreductie).
- 2: Extra wanden, zodat de vloeroverspanningen kleiner worden.
- 3: Afveren van het bouwblok.
- 4a: OTC (Ondergrondse Trillingswerende Constructie) in de vorm van een damwand met EPS-laag vóór de damwand.
- 4b: OTC in de vorm van een betonwand.

Uit Tabel 5-2 blijkt de FEM berekeningen ook met de aangepaste funderingsoverdracht leiden tot overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden, zowel in de huidige als in de toekomstige situatie. Dit betekent dat er nog steeds maatregelen nodig zijn om de trillingen te reduceren.

De maatregelen staan beschreven in Bijlage V, en de resultaten per verdieping staan in Bijlage VI en VII. Een deel van de maatregelen heeft geleid tot aanpassingen in het bodemmodel, en een deel van de aanpassingen heeft tot aanpassingen in het gebouwmodel geleid. In Tabel 6-1 is te zien welke combinaties van het bodemmodel en het gebouwmodel hiervoor gebruikt zijn.

⁶ Cartesiusdriehoek Utrecht, Trillingsonderzoek met behulp van dynamische rekenmodellen, D79-WGA-KA-1900063, 16 december 2019 – Versie 0.3

Tabel 6-1 Beschouwde combinaties: bodemmodel en gebouwmodel voor blok A, B, C

		Bodemmodel				
		0: referentie	1: 1.5m dikke betonbplaat	1a: 1.5m dikke betonbplaat +EPS	4a: OTC damwand + EPS	4b: OTC betonwand
gebouwmodel	referentie	A,B,C	A,B,C	A,B,C	A,B,C	A,B,C
	2: extra wanden	A,B,C				
	3: afveren op 3Hz	A,B,C				

Uit de resultaten blijken de maximale trillingssterkten voor de referentiesituatie te zijn afgenomen ten opzichte van de eerder gepresenteerde resultaten. Voor gebouwen A en B is de maximale trillingssterkte in de referentiesituatie 50% lager. De maatregelen hebben verschillende effecten voor de verschillende gebouwen.

In de volgende tabellen staat het effect van de verschillende maatregelen per gebouw samengevat. Hieruit volgt:

- **Gebouw A:**
Met maatregel 1, 1a, 2, 3 en 4b is het voorspelde trillingsniveau lager dan de streefwaarden bestaand. Bij alle andere maatregelen zijn de voorspelde hoger dan de streefwaarden bestaand.
- **Gebouw B:**
Met maatregel 1, 2, 4a en 4b is het voorspelde trillingsniveau lager dan de streefwaarden bestaand. Bij alle andere maatregelen zijn de voorspelde hoger dan de streefwaarden bestaand.
- **Gebouw C:**
Met maatregel 1 en 4a is het voorspelde trillingsniveau lager dan de streefwaarden bestaand. Bij alle andere maatregelen zijn de voorspelde hoger dan de streefwaarden bestaand. Opvallend is dat het hoogste niveau in gebouw C optreedt op de begane grond. Een mogelijke verklaring is dat de vloeren op de begane grond andere eigenschappen hebben dan de verdiepingsvloeren. Mogelijk kan aan de streefwaarden worden voldaan door de vloeren op de begane grond aan te passen.

Tabel 6-2 Resultaten maatregel 1 – betonplaat (1.5 m)

	Beoordeling Nieuwe situatie						Beoordeling Bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting		X-richting		Y-richting		Z-richting	
	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax
Gebouw A	0,00	0,1	0,00	0,2	0,03	0,4	0,00	0,1	0,00	0,2	0,03	0,4
Gebouw B	0,02	0,3	0,01	0,3	0,04	0,4	0,02	0,3	0,01	0,3	0,04	0,4
Gebouw C	0,01	0,2	0,01	0,3	0,03	0,4	0,01	0,2	0,01	0,3	0,03	0,4

Tabel 6-3 Resultaten maatregel 1a – betonplaat (1.5m) met EPS (0.5 m)

	Beoordeling Nieuwe situatie						Beoordeling Bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting		X-richting		Y-richting		Z-richting	
	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax
Gebouw A	0,00	0,1	0,00	0,2	0,03	0,4	0,00	0,1	0,00	0,2	0,03	0,4
Gebouw B	0,02	0,3	0,00	0,3	0,05	0,5	0,02	0,3	0,00	0,3	0,05	0,5
Gebouw C	0,01	0,2	0,00	0,3	0,04	0,5	0,01	0,2	0,00	0,3	0,01	0,5

Tabel 6-4 Resultaten maatregel 2 – extra wanden

	Beoordeling Nieuwe situatie						Beoordeling Bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting		X-richting		Y-richting		Z-richting	
	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax
Gebouw A	0,01	0,3	0,00	0,2	0,02	0,4	0,01	0,3	0,00	0,2	0,02	0,4
Gebouw B	0,06	0,4	0,01	0,3	0,01	0,4	0,06	0,4	0,01	0,3	0,01	0,4
Gebouw C	0,08	0,5	0,01	0,3	0,03	0,4	0,08	0,5	0,01	0,3	0,03	0,4

Tabel 6-5 Resultaten maatregel 3 – afgeveerd

	Beoordeling Nieuwe situatie						Beoordeling Bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting		X-richting		Y-richting		Z-richting	
	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax
Gebouw A	0,00	0,2	0,01	0,5	0,00	0,3	0,00	0,2	0,01	0,5	0,00	0,3
Gebouw B	0,01	0,6	0,02	0,8	0,00	0,3	0,01	0,6	0,02	0,8	0,00	0,3
Gebouw C	0,02	0,8	0,02	0,9	0,00	0,2	0,02	0,8	0,02	0,9	0,00	0,2

Tabel 6-6 Resultaten maatregel 4a – OTC damwand met EPS

	Beoordeling Nieuwe situatie						Beoordeling Bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting		X-richting		Y-richting		Z-richting	
	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax
Gebouw A	0,00	0,1	0,00	0,3	0,05	0,5	0,00	0,1	0,00	0,3	0,05	0,5
Gebouw B	0,01	0,4	0,00	0,3	0,01	0,3	0,01	0,4	0,00	0,3	0,01	0,3
Gebouw C	0,02	0,3	0,01	0,3	0,01	0,4	0,02	0,3	0,01	0,3	0,01	0,4

Tabel 6-7 Resultaten maatregel 4b – OTC betonwand

	Beoordeling Nieuwe situatie						Beoordeling Bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting		X-richting		Y-richting		Z-richting	
	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax	Vper	Vmax
Gebouw A	0,00	0,1	0,01	0,2	0,02	0,4	0,00	0,1	0,01	0,2	0,02	0,4
Gebouw B	0,01	0,3	0,00	0,3	0,01	0,3	0,01	0,3	0,00	0,3	0,01	0,3
Gebouw C	0,02	0,2	0,01	0,3	0,05	0,6	0,02	0,2	0,01	0,3	0,05	0,6

In Tabel 6-8 zijn indicatief het aantal berekende overschrijding weergegeven per week. Dit aantal treinpassages is beschouwd voor de nieuwe situaties.

Tabel 6-8 Overschrijding voor nieuwe situatie

	Overschrijding in de dag- en avondperiode			Overschrijding in de nachtperiode		
	Blok A	Blok B	Blok C	Blok A	Blok B	Blok C
Kelder	6	3	1	34	18	32
Betonplaat (1.5 m)	0	0	0	8	10	7
Betonplaat (1.5 m) met EPS (0.5 m)	0	3	1	8	20	28
Extrawanden	0	0	1	6	12	53
Kelder met OTC (betonwand)	0	0	3	7	5	56
Kelder met OTC (damwand en EPS)	6	0	0	34	8	6
Afveren	1	13	15	13	21	28

7 Conclusies en aanbevelingen

In dit onderzoek zijn metingen en berekeningen uitgevoerd om de verwachte trillingsniveaus in nieuw te bouwen woningen in de Cartesiusdriehoek in Utrecht te bepalen. Deze verwachte waarden zijn getoetst aan de streefwaarden voor nieuwe en bestaande situaties uit de SBR-B-richtlijn. Bij de prognose is gebruik gemaakt van dynamische FEM modellen van de 6 gebouwblokken 32A t/m 32F.

De uitgevoerde simulaties leiden tot de volgende conclusies:

- Met een aangepaste rekenmethode, waarbij de funderingsoverdracht is gebruikt uit een FEM bodemmodel, is de trillingssterkte tot 50% afgenomen ten opzichte van de eerder gepresenteerde resultaten;
- In de referentiesituatie is het trillingssterkte hoger dan de streefwaarden voor bestaande situaties;
- De maatregelen hebben voor verschillende gebouwen verschillende effecten. Sommige maatregelen zijn effectief voor een gebouw, maar versterken de trillingen juist in een ander gebouw;
- Gebouw A: De trillingen zijn lager dan de streefwaarden voor bestaande situaties bij toepassing van de volgende maatregelen:
 - o 1: betonplaat
 - o 1a: betonplaat + EPS
 - o 2: extra wanden
 - o 4b: OTC betonwand
- Gebouw B: De trillingen zijn lager dan de streefwaarden voor bestaande situaties bij toepassing van de volgende maatregelen:
 - o 1: betonplaat
 - o 2: extra wanden
 - o 4a: OTC damwand
 - o 4b: OTC betonwand
- Gebouw C: De trillingen zijn lager dan de streefwaarden voor bestaande situaties bij toepassing van de volgende maatregelen:
 - o 1: betonplaat
 - o 4a: OTC damwand
 - o Opvallend is dat het hoogste niveau in gebouw C optreedt op de begane grond. Een mogelijke verklaring is dat de vloeren op de begane grond andere eigenschappen hebben dan de verdiepingsvloeren. Mogelijk kan aan de streefwaarden worden voldaan door de vloeren op de begane grond aan te passen.
- De maatregel met betonplaat is effectief voor alle gebouwen.

Colofon

Opdrachtgever Keystone Vastgoed Projecten BV

Uitgave Movares Nederland B.V.

Kennislijn Gebouwen en Infra
groep Lijninfra en Geotechniek:Lijninfra en Geotechniek

Daalse Kwint
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon



Ondertekenaar

Adviseur

Projectnummer MN000587

Kenmerk D79-KGA-KA-2000005

© 2020, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, 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.

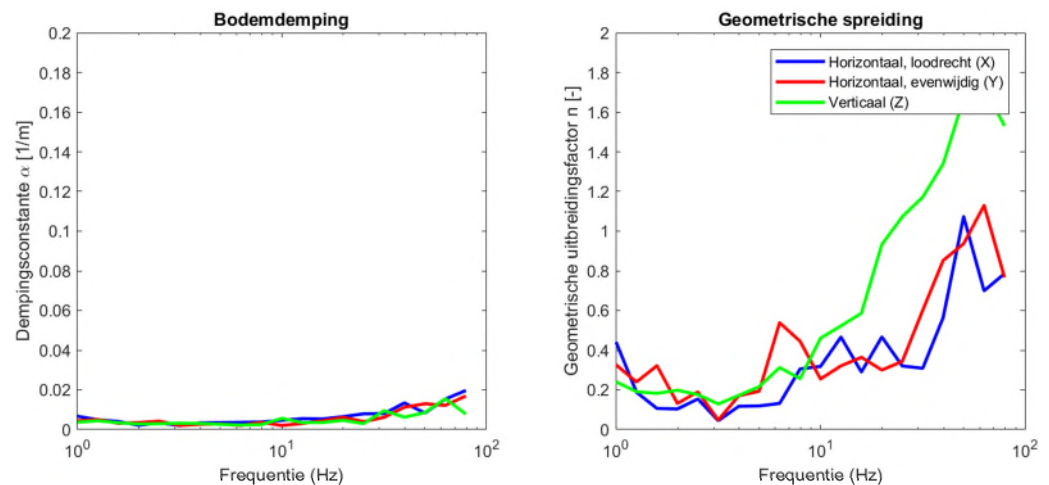
Bijlage I – gegevens van de metingen

Conform de eisen in de SBR B-richtlijn, hoofdstuk 11, bevat deze bijlage de gegevens van de metingen.

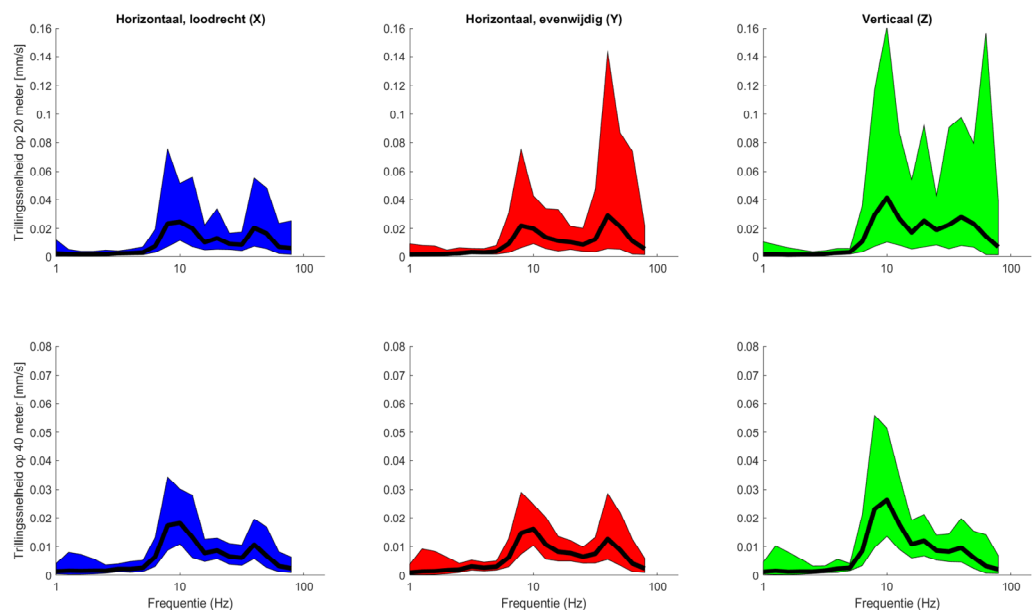
1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i> <i>Daalseplein 101</i> <i>3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	 e-mail:  tel.: 
2	Meting uitgevoerd door	
3	Tijdsperiode meting	<i>03-10-2018 10:35 tot 03-10-2018 13:05 (korteduurmeting)</i> <i>26-09-2018 13:25 tot 03-10-2018 13:05 (langeduurmeting)</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen.</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Woningen met een maximale bouwhoogte van 17.3 m.</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Acht 3D-geofoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Raspberry Pi met USB-DUX.</i>
		<i>Meetcomputers leggen zowel de trillingssterkte per 30 seconden als het tijdssignaal vast.</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie figuren in hoofdstuk 4</i>
11	Motivatatie classificatie gebouw	<i>Zie hoofdstuk 2</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Zie hoofdstuk 2</i>

Bijlage II – Meetresultaten

In Figuur II - 1 zijn de dynamische bodemeigenschappen weergegeven. Links is de bodemdemping weergegeven, rechts de geometrische spreiding van de trillingen. De bodemdemping is zeer laag, waardoor de trillingen slecht uitdempen met de afstand. Dit komt door de gelaagde bodem, zie ook Bijlage III. In Figuur II - 2 zijn de trillingsspectra (gemiddelde en bandbreedte) weergegeven van passerende intercity's op 20 en 40 meter afstand, zoals gemeten op maaiveld. Duidelijk zichtbaar is hier dat de trillingen met name rond 10 Hz zeer hoog zijn. Dit beeld matcht met metingen die in het kader van andere projecten in deze omgeving zijn uitgevoerd.



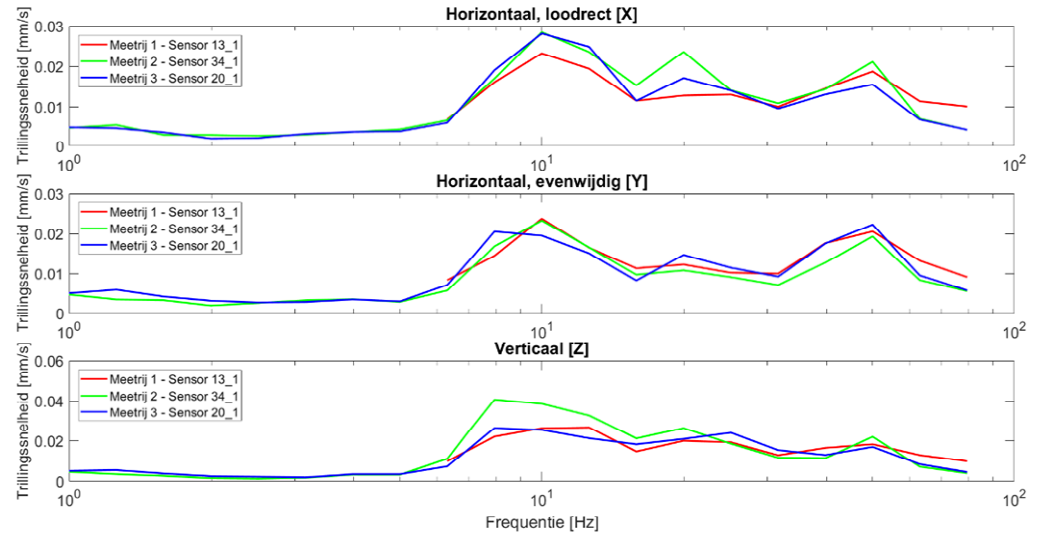
Figuur II - 1 Bodemdemping en geometrische spreiding



Figuur II - 2 Trillingssnelheid op 20 m en 40 m van de eerste meetrij

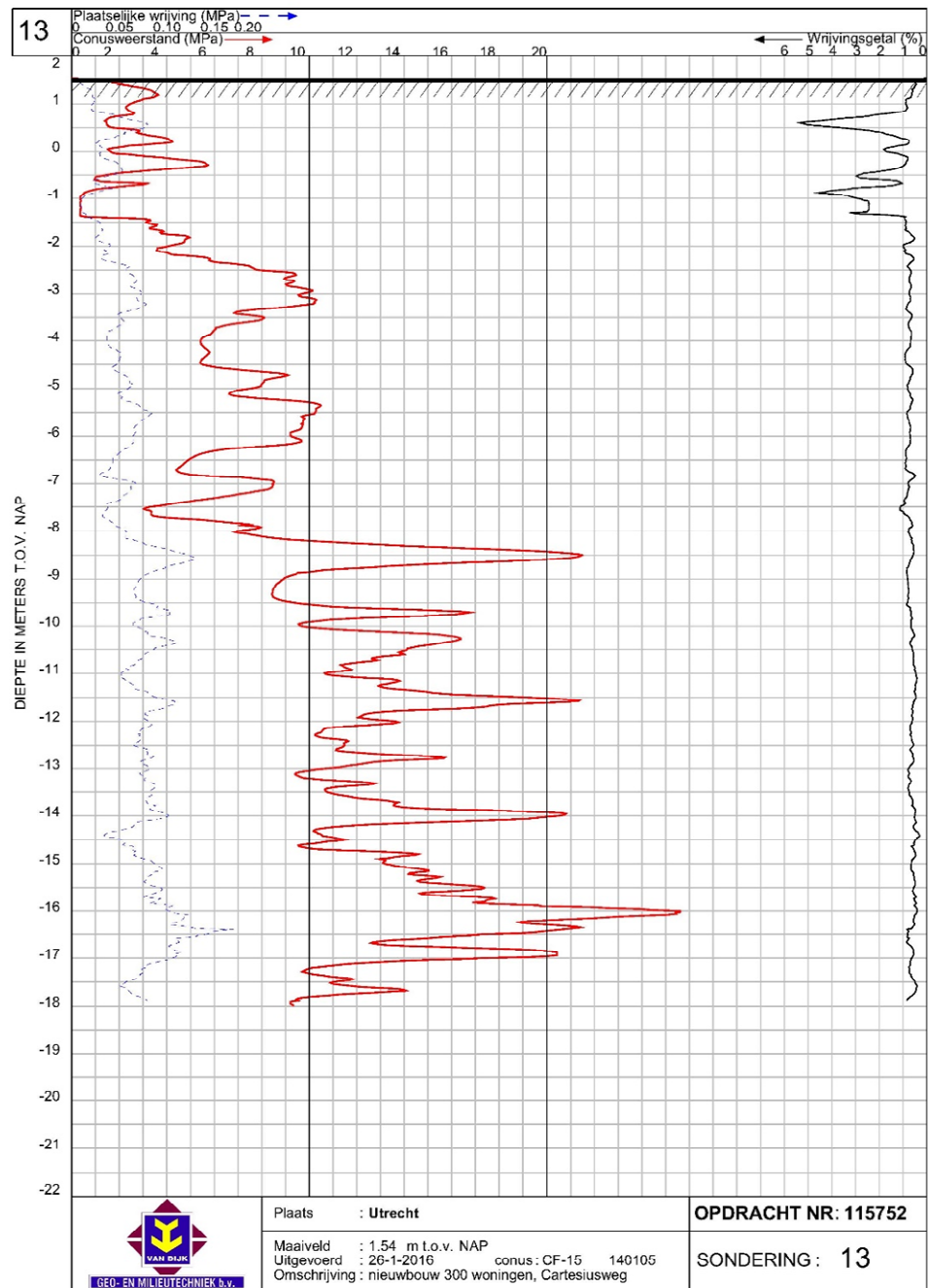
In Figuur II - 3 is het gemiddelde trillingsspectrum van een aantal treinen weergegeven op de meetpunten parallel aan het spoor. De resultaten van de meetpunten zijn

vergelijkbaar, er is slechts beperkt sprake van spreiding parallel langs het spoor. Deze variatie is meegenomen als onzekerheid in dit onderzoek.



Figuur II - 3 Trillingssnelheden van de per richting.

Bijlage III – Bodemopbouw

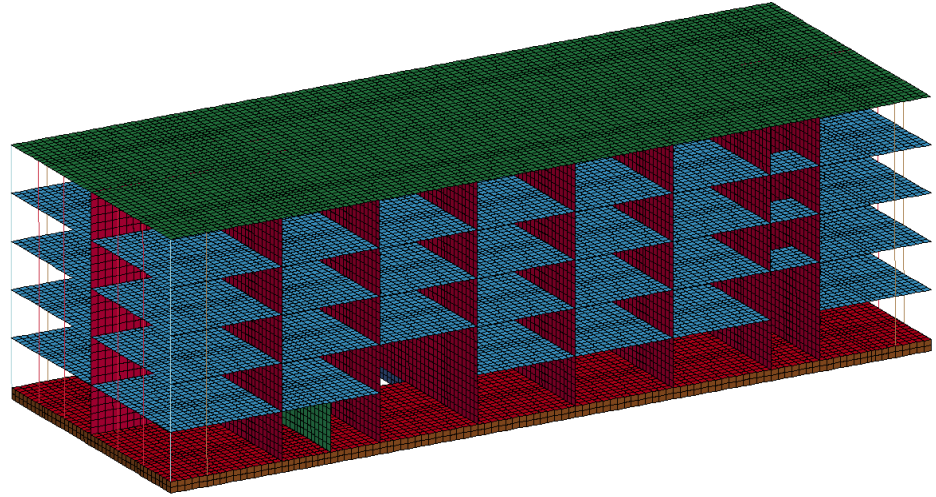


1-8-2018

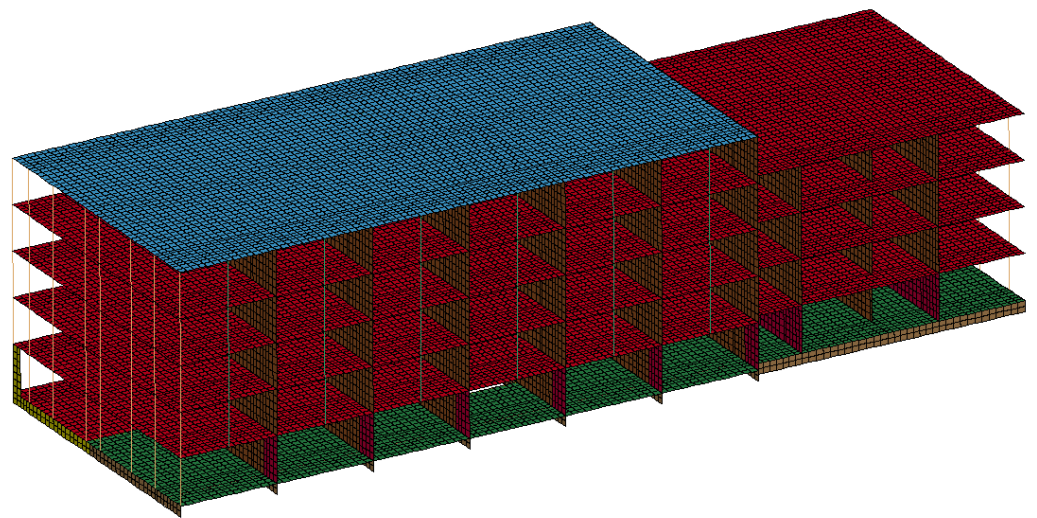
uitgevoerd volgens NEN-EN-ISO 2276-1: 2012/C1: 2013, toepassingsklasse 3

1/1

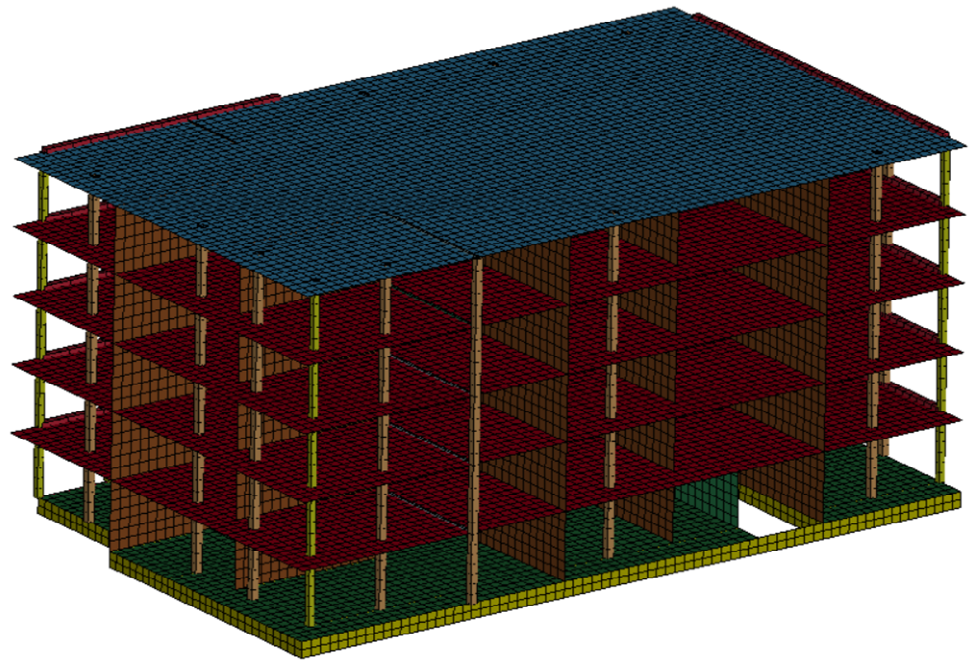
Bijlage IV – Eindige elementen modellen



Blok 32A



Blok 32B



Blok 32C

Bijlage V – Maatregelen

De volgende maatregelen zijn als volgt uitgevoerd:

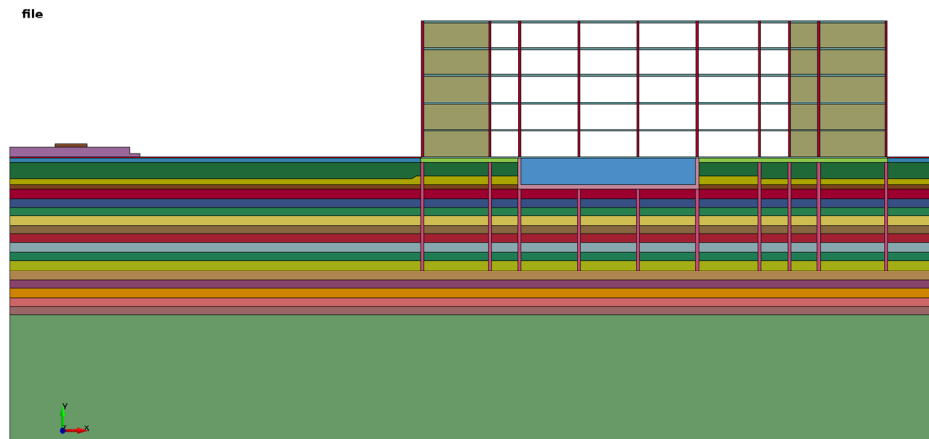
1. Betonnen funderingsplaat
 - 1.a Extra dik (1,5 m).
 - 1.b Betonnen funderingsplaat extra dik (1,5 m) in combinatie met een EPS-laag vóór de fundering. (Deze variant is in het overleg met de gemeente niet ter sprake gekomen, maar geeft mogelijk tegen relatief beperkte kosten een extra trillingsreductie).
2. Extra wanden, zodat de vloeroverspanningen kleiner worden.
3. Afveren van het bouwblok.
4. OTC in de vorm van:
 - 4.a een damwand met EPS-laag vóór de damwand.
 - 4.b een betonwand.
5. Betonnen funderingsplaat extra dik (2,0 m) toegepast aan Blok B.
6. Betonnen funderingsplaat extra dik (1,5 m) in combinatie met een EPS-laag vóór de fundering (1,0 m).

Maatregelen 1 tot en met 4 in de bovenste lijst genoemd zijn uitgevoerd voor de bouwblokken A, B en C.

Maatregelen 5 en 6 in de bovenste lijst genoemd zijn uitgevoerd voor de bouwblok B.

Referentie model

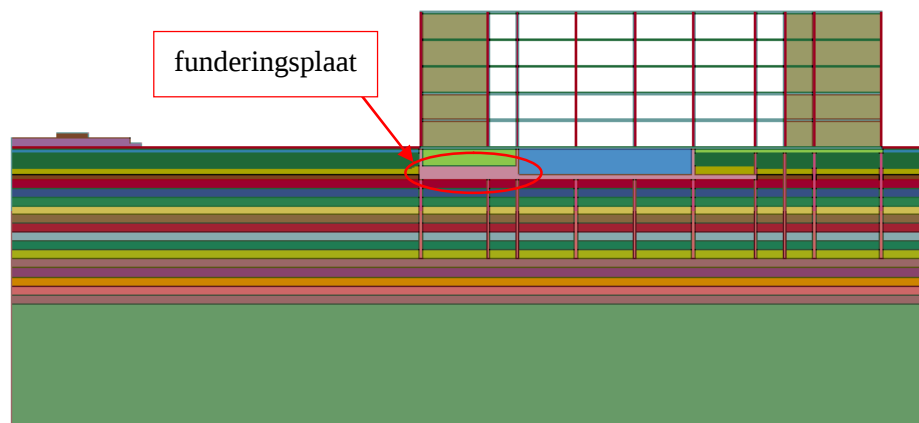
De referentie model voor het bepalen van de overdracht naar fundering wordt per alle drie bouwblokken gemodelleerd zoals in de figuur hieronder weergegeven.



Figuur V - 4 *Referentie model met de kelder voor Blok 32A*

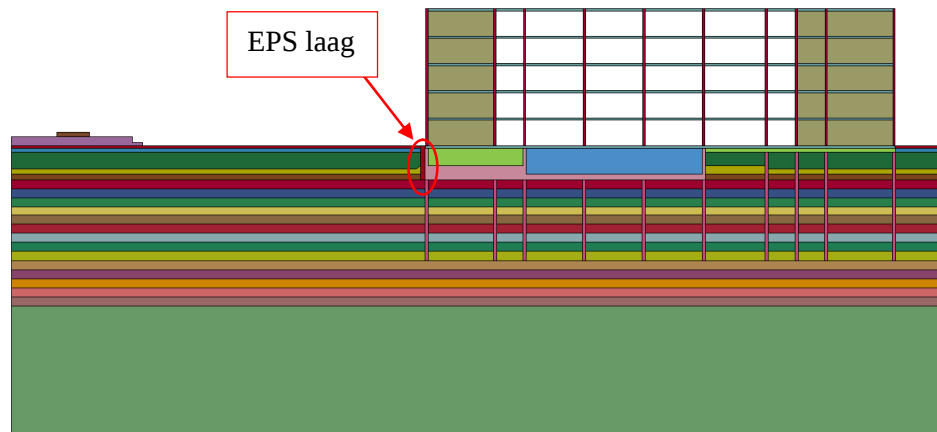
Betonnen funderingsplaat

De extra dik betonnen funderingsplaat wordt in het model per alle drie bouwblokken meegenomen zoals in de figuur hieronder weergegeven.



Figuur V - 5 *Maatregelen betonnen funderingsplaat voor Blok 32A*

De extra dik betonnen funderingsplaat met extra EPS laag tussen het spoor en de gebouw wordt in het model per alle drie bouwblokken meegenomen zoals in de figuur hieronder weergegeven.

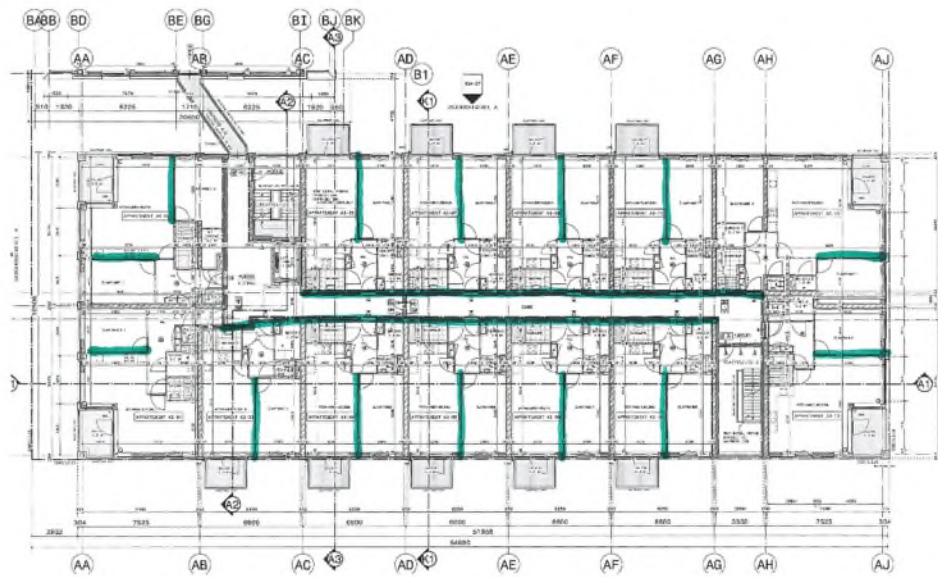


Figuur V - 6 *Maatregelen betonnen funderingsplaat met EPS voor Blok 32A*

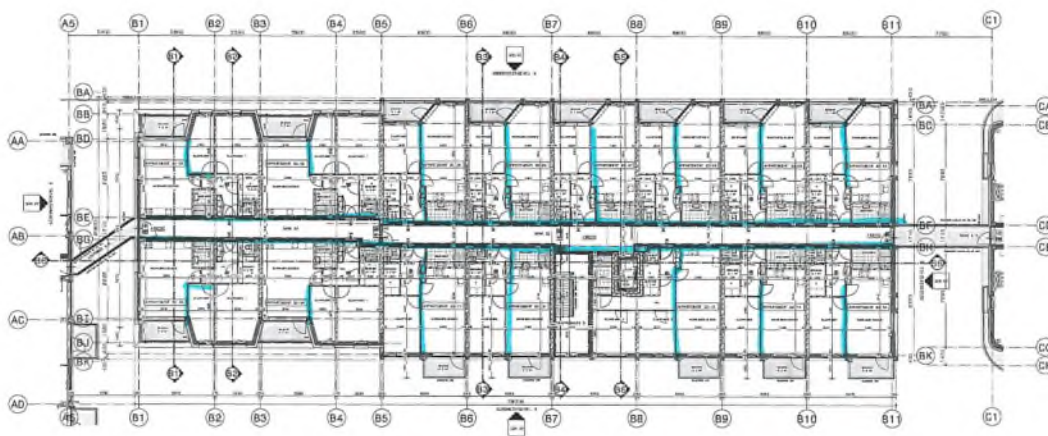
Extra wanden

De maatregel wanden is uitgevoerd per bouwblok als hieronder uitgelegd.

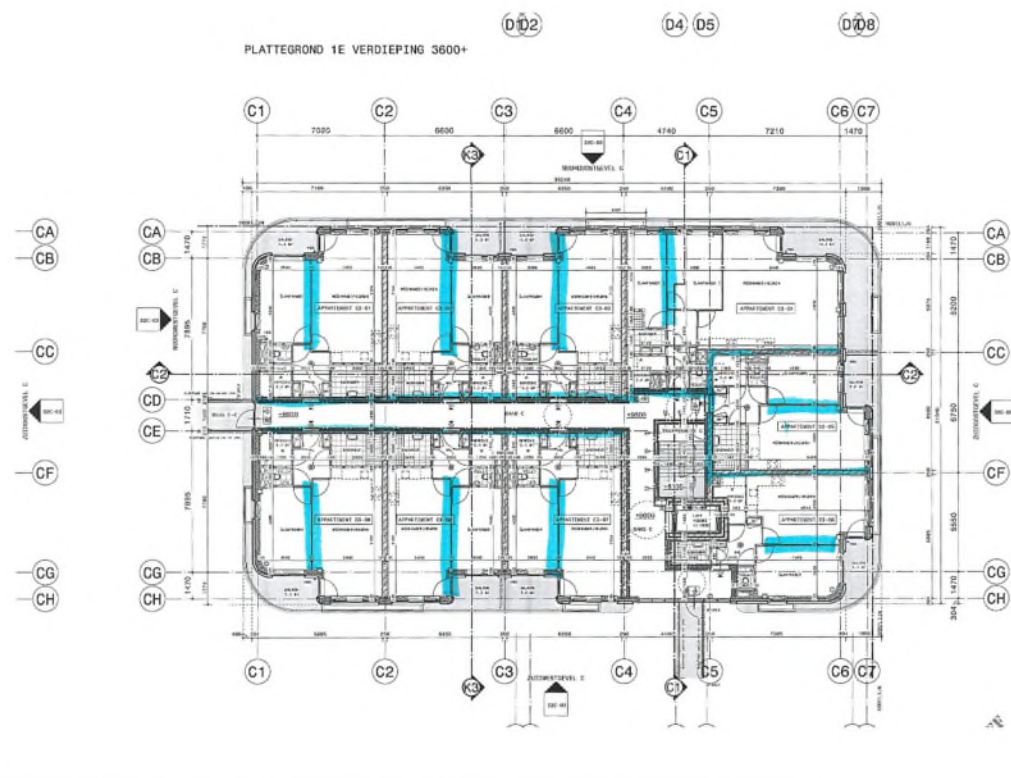
In alle gebouwen worden extra kalkzandsteen wanden toegevoegd tussen de constructief wanden, zie de figuur hieronder. De extra wanden zijn aangegeven met een blauwe markering.



Figuur V - 7 Maatregelen voor alle verdiepingen gebouw 32A



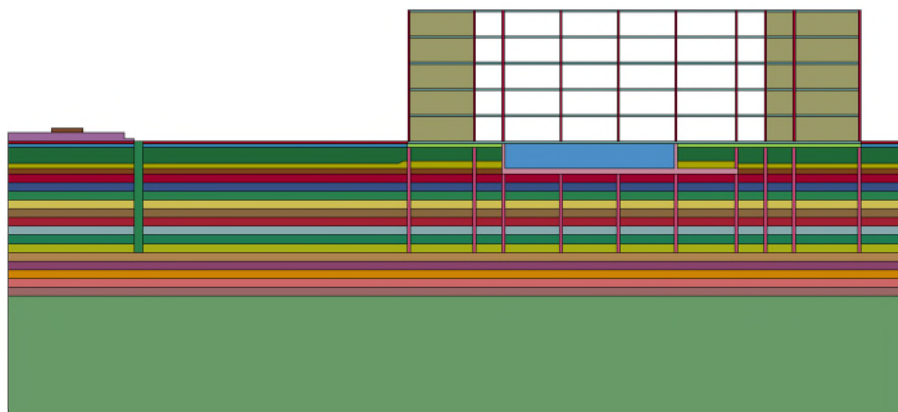
Figuur V - 8 *Maatregelen voor alle verdiepingen gebouw 32B*



Figuur V - 9 Maatregelen voor alle verdiepingen gebouw 32C

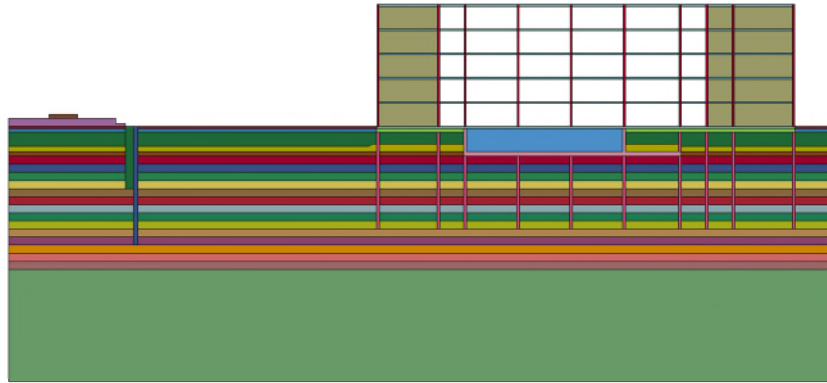
OTC

De OTC in de vorm van een betonwand wordt in het model per alle drie bouwblokken meegenomen zoals in de figuur hieronder weergegeven.



Figuur V - 10 *Maatregelen OTC betonnenwand voor Blok 32A*

De OTC in de form van een damwand met EPS wordt in het model per alle drie bouwblokken meegenomen zoals in de figuur hieronder weergegeven.



Figuur V - 11 *Maatregelen OTC damwand met EPS voor Blok 32A*

Bijlage VI – Resultaten beoordeling nieuwe situatie

In deze bijlage worden de resultaten van de in bijlage V benoemde maatregelen weergegeven en beoordeeld volgens de SBR-B richtlijnen volgens een nieuwe situatie.

Bouwblok A

Tabel VI -1: Prognose trillingen in Bouwblok 32A vanuit in eerdere analyse

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.12	0.00	0.15	0.11	0.44
1	0.01	0.33	0.00	0.15	0.13	0.67
2	0.01	0.40	0.00	0.26	0.15	0.80
3	0.01	0.26	0.00	0.28	0.19	1.06
4	0.00	0.08	0.00	0.52	0.22	1.24

Tabel VI -2: Referentie model met kelder

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,07	0,00	0,1	0,02	0,37
1	0,00	0,09	0,00	0,19	0,05	0,50
2	0,00	0,07	0,00	0,13	0,06	0,55
3	0,00	0,08	0,00	0,19	0,07	0,60
4	0,00	0,06	0,00	0,25	0,07	0,62

Tabel VI - 3: maatregelen 1 - betonplaat

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,07	0,00	0,10	0,00	0,24
1	0,00	0,07	0,00	0,21	0,01	0,34
2	0,00	0,08	0,00	0,18	0,01	0,36
3	0,00	0,06	0,00	0,18	0,02	0,40
4	0,00	0,07	0,00	0,23	0,03	0,42

Tabel VI - 4: maatregelen 1a – betonplaat met EPS

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,08	0,00	0,12	0,01	0,26
1	0,00	0,08	0,01	0,23	0,01	0,35
2	0,00	0,09	0,00	0,20	0,01	0,38
3	0,00	0,08	0,00	0,18	0,02	0,41
4	0,00	0,07	0,00	0,24	0,03	0,43

Tabel VI - 5: maatregelen 2 – extra wanden

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,07	0,00	0,1	0,02	0,39
1	0,00	0,12	0,00	0,16	0,01	0,30
2	0,00	0,18	0,00	0,13	0,01	0,31
3	0,00	0,23	0,00	0,15	0,01	0,31
4	0,01	0,27	0,00	0,17	0,01	0,32

Tabel VI - 6: maatregelen 3 – afgeveerd

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,17	0,00	0,22	0,00	0,22
1	0,00	0,13	0,01	0,28	0,00	0,25
2	0,00	0,11	0,01	0,39	0,00	0,25
3	0,00	0,08	0,01	0,51	0,00	0,25
4	0,00	0,10	0,01	0,47	0,00	0,26

Tabel VI - 7: maatregelen 4 – OTC damwand met EPS

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,05	0,00	0,09	0	0,27
1	0,00	0,05	0,00	0,19	0,02	0,39
2	0,00	0,06	0,00	0,16	0,01	0,33
3	0,00	0,07	0,00	0,19	0,05	0,52
4	0,00	0,05	0,00	0,25	0,05	0,54

Tabel VI - 8: maatregelen 4 – OTC betonwand

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,07	0,00	0,11	0,00	0,25
1	0,00	0,10	0,01	0,22	0,01	0,28
2	0,00	0,07	0,00	0,19	0,01	0,35
3	0,00	0,07	0,00	0,18	0,01	0,38
4	0,00	0,06	0,00	0,23	0,02	0,40

Bouwblok B

Tabel VII - 9: *Prognose trillingen in Bouwblok 32B vanuit eerste analyse*

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.13	0.00	0.16	0.08	0.46
1	0.01	0.17	0.00	0.15	0.14	0.72
2	0.01	0.32	0.00	0.14	0.16	0.82
3	0.01	0.54	0.00	0.13	0.18	0.93
4	0.01	0.74	0.00	0.14	0.22	1.13

Tabel VI -10: *Referentie model met kelder*

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.15	0.00	0.17	0.03	0.32
1	0.01	0.22	0.00	0.14	0.04	0.42
2	0.01	0.16	0.00	0.18	0.04	0.46
3	0.01	0.35	0.00	0.18	0.05	0.45
4	0.03	0.36	0.00	0.21	0.05	0.52

Tabel VI - 11: *maatregelen 1 - betonplaat*

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.17	0.01	0.28	0.01	0.26
1	0.01	0.20	0.00	0.13	0.03	0.35
2	0.00	0.13	0.00	0.19	0.04	0.42
3	0.02	0.33	0.00	0.18	0.04	0.40
4	0.02	0.27	0.00	0.19	0.04	0.42

Tabel VI - 12: *maatregelen 1a – betonplaat met EPS*

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.12	0.00	0.18	0.01	0.27
1	0.01	0.16	0.00	0.14	0.03	0.42
2	0.00	0.15	0.00	0.22	0.04	0.44
3	0.01	0.31	0.00	0.25	0.04	0.42
4	0.02	0.33	0.00	0.31	0.05	0.52

Tabel VI - 13: maatregelen 2 – extra wanden

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.15	0.00	0.2	0.00	0.27
1	0.00	0.10	0.00	0.14	0.00	0.26
2	0.01	0.18	0.00	0.21	0.01	0.32
3	0.04	0.36	0.00	0.3	0.01	0.35
4	0.06	0.44	0.01	0.34	0.00	0.21

Tabel VI - 14: maatregelen 3 – afgeveerd

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0	0.2	0.01	0.26	0	0.22
1	0	0.25	0.01	0.59	0	0.23
2	0.01	0.36	0.02	0.79	0	0.24
3	0.01	0.48	0.01	0.49	0	0.27
4	0.01	0.62	0.01	0.39	0	0.29

Tabel VI - 15: maatregelen 3 – OTC damwand met EPS

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.09	0.00	0.12	0.00	0.17
1	0.00	0.11	0.00	0.09	0.00	0.24
2	0.00	0.23	0.00	0.16	0.00	0.26
3	0.00	0.37	0.00	0.22	0.00	0.28
4	0.01	0.36	0.00	0.26	0.01	0.25

Tabel VI - 16: maatregelen 3 – OTC betonwand

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.10	0.00	0.13	0.00	0.13
1	0.00	0.11	0.00	0.10	0.00	0.22
2	0.00	0.15	0.00	0.17	0.00	0.24
3	0.00	0.25	0.00	0.23	0.00	0.26
4	0.01	0.33	0.00	0.28	0.01	0.27

Blok 32C

Tabel VI - 17: Prognose trillingen in Bouwblok 32C vanuit eerste analyse

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.13	0.00	0.15	0.09	0.42
1	0.00	0.15	0.01	0.31	0.09	0.37
2	0.01	0.19	0.02	0.44	0.11	0.69
3	0.00	0.26	0.01	0.33	0.13	0.66
4	0.00	0.39	0.00	0.16	0.15	0.75

Tabel VI -18: Referentie model met kelder

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.14	0.00	0.19	0.04	0.52
1	0.01	0.21	0.00	0.13	0.02	0.34
2	0.01	0.18	0.01	0.31	0.02	0.35
3	0.01	0.17	0.01	0.30	0.03	0.38
4	0.00	0.15	0.00	0.28	0.04	0.40

Tabel VI - 19: maatregelen 1 - betonplaat

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.19	0.01	0.24	0.03	0.42
1	0.01	0.20	0.00	0.14	0.02	0.36
2	0.01	0.22	0.00	0.25	0.02	0.37
3	0.01	0.15	0.00	0.23	0.01	0.30
4	0.00	0.15	0.00	0.28	0.01	0.32

Tabel VI - 20: maatregelen 1a – betonplaat met EPS

	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.16	0.00	0.17	0.04	0.52
1	0.01	0.17	0.00	0.16	0.02	0.39
2	0.01	0.22	0.00	0.29	0.03	0.40
3	0.01	0.19	0.00	0.26	0.03	0.41
4	0.00	0.15	0.00	0.32	0.01	0.32

Tabel VI - 21: maatregelen 2 – extra wanden

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.14	0.00	0.20	0.02	0.39
1	0.06	0.39	0.01	0.24	0.00	0.24
2	0.08	0.49	0.01	0.25	0.01	0.34
3	0.05	0.33	0.00	0.21	0.02	0.35
4	0.00	0.24	0.00	0.28	0.03	0.36

Tabel VI - 22: maatregelen 3 – afgeveerd

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.20	0.01	0.26	0.00	0.22
1	0.00	0.35	0.00	0.20	0.00	0.21
2	0.01	0.52	0.01	0.41	0.00	0.22
3	0.01	0.68	0.01	0.64	0.00	0.22
4	0.02	0.83	0.02	0.89	0.00	0.22

Tabel VI - 23: maatregelen 3 – OTC damwand met EPS

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.13	0.00	0.17	0.01	0.25
1	0.01	0.21	0.00	0.13	0.01	0.27
2	0.02	0.25	0.01	0.31	0.01	0.35
3	0.01	0.19	0.01	0.28	0.01	0.35
4	0.00	0.19	0.00	0.29	0.01	0.35

Tabel VI - 24: maatregelen 3 – OTC betonwand

Verdieping	Streefwaarde nieuwe situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.01	0.15	0.00	0.21	0.05	0.59
1	0.02	0.23	0.00	0.14	0.01	0.26
2	0.01	0.20	0.01	0.34	0.01	0.27
3	0.01	0.22	0.01	0.33	0.02	0.35
4	0.00	0.14	0.00	0.26	0.01	0.32

Bijlage VII – Resultaten beoordeling bestaande situatie

In deze bijlage worden de resultaten van de in bijlage V benoemde maatregelen weergegeven en beoordeeld volgens de SBR-B richtlijnen volgens een bestaande situatie.

Bouwblok A

Tabel VII -25: Prognose trillingen in Bouwblok 32A vanuit in eerdere analyse

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.12	0.00	0.15	0.11	0.44
1	0.01	0.33	0.00	0.15	0.13	0.67
2	0.01	0.40	0.00	0.26	0.15	0.80
3	0.01	0.26	0.00	0.28	0.19	1.06
4	0.00	0.08	0.00	0.52	0.22	1.24

Tabel VII -26: Referentie model met kelder

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,07	0,00	0,1	0,02	0,37
1	0,00	0,09	0,00	0,19	0,05	0,50
2	0,00	0,07	0,00	0,13	0,06	0,55
3	0,00	0,08	0,00	0,19	0,07	0,60
4	0,00	0,06	0,00	0,25	0,07	0,62

Tabel VII - 27: maatregelen 1 - betonplaat

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,07	0,00	0,10	0,00	0,24
1	0,00	0,07	0,00	0,21	0,01	0,34
2	0,00	0,08	0,00	0,18	0,01	0,36
3	0,00	0,06	0,00	0,18	0,02	0,40
4	0,00	0,07	0,00	0,23	0,03	0,42

Tabel VII - 28: maatregelen 1a – betonplaat met EPS

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,08	0,00	0,12	0,01	0,26
1	0,00	0,08	0,01	0,23	0,01	0,35
2	0,00	0,09	0,00	0,20	0,01	0,38
3	0,00	0,08	0,00	0,18	0,02	0,41
4	0,00	0,07	0,00	0,24	0,03	0,43

Tabel VII - 29: maatregelen 2 – extra wanden

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,07	0,00	0,1	0,02	0,39
1	0,00	0,12	0,00	0,16	0,01	0,30
2	0,00	0,18	0,00	0,13	0,01	0,31
3	0,00	0,23	0,00	0,15	0,01	0,31
4	0,01	0,27	0,00	0,17	0,01	0,32

Tabel VII - 30: maatregelen 3 – afgeveerd

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,17	0,00	0,22	0,00	0,22
1	0,00	0,13	0,01	0,28	0,00	0,25
2	0,00	0,11	0,01	0,39	0,00	0,25
3	0,00	0,08	0,01	0,51	0,00	0,25
4	0,00	0,10	0,01	0,47	0,00	0,26

Tabel VII - 31: maatregelen 3 – OTC damwand met EPS

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,05	0,00	0,09	0	0,27
1	0,00	0,05	0,00	0,19	0,02	0,39
2	0,00	0,06	0,00	0,16	0,01	0,33
3	0,00	0,07	0,00	0,19	0,05	0,52
4	0,00	0,05	0,00	0,25	0,05	0,54

Tabel VII - 32: maatregelen 3 – OTC betonwand

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0,00	0,07	0,00	0,11	0,00	0,25
1	0,00	0,10	0,01	0,22	0,01	0,28
2	0,00	0,07	0,00	0,19	0,01	0,35
3	0,00	0,07	0,00	0,18	0,01	0,38
4	0,00	0,06	0,00	0,23	0,02	0,40

Bouwblok B

Tabel VIII - 33: Prognose trillingen in Bouwblok 32B vanuit eerste analyse

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.13	0.00	0.16	0.08	0.46
1	0.01	0.17	0.00	0.15	0.14	0.72
2	0.01	0.32	0.00	0.14	0.16	0.82
3	0.01	0.54	0.00	0.13	0.18	0.93
4	0.01	0.74	0.00	0.14	0.22	1.13

Tabel VII -34: Referentie model met kelder

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.15	0.00	0.17	0.03	0.32
1	0.01	0.22	0.00	0.14	0.04	0.42
2	0.01	0.16	0.00	0.18	0.04	0.46
3	0.01	0.35	0.00	0.18	0.05	0.45
4	0.03	0.36	0.00	0.21	0.05	0.52

Tabel VII - 35: maatregelen 1 - betonplaat

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.17	0.01	0.28	0.01	0.26
1	0.01	0.20	0.00	0.13	0.03	0.35
2	0.00	0.13	0.00	0.19	0.04	0.42
3	0.02	0.33	0.00	0.18	0.04	0.40
4	0.02	0.27	0.00	0.19	0.04	0.42

Tabel VII - 36: maatregelen 1a – betonplaat met EPS

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.12	0.00	0.18	0.01	0.27
1	0.01	0.16	0.00	0.14	0.03	0.42
2	0.00	0.15	0.00	0.22	0.04	0.44
3	0.01	0.31	0.00	0.25	0.04	0.42
4	0.02	0.33	0.00	0.31	0.05	0.52

Tabel VII - 37: maatregelen 2 – extra wanden

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.15	0.00	0.20	0.00	0.27
1	0.00	0.10	0.00	0.14	0.00	0.26
2	0.01	0.18	0.00	0.21	0.01	0.32
3	0.04	0.36	0.00	0.30	0.01	0.35
4	0.06	0.44	0.01	0.34	0.00	0.21

Tabel VII - 38: maatregelen 3 – afgeveerd

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.20	0.01	0.26	0.00	0.22
1	0.00	0.25	0.01	0.59	0.00	0.23
2	0.01	0.36	0.02	0.79	0.00	0.24
3	0.01	0.48	0.01	0.49	0.00	0.27
4	0.01	0.62	0.01	0.39	0.00	0.29

Tabel VII - 39: maatregelen 3 – OTC damwand met EPS

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.09	0.00	0.12	0.00	0.17
1	0.00	0.11	0.00	0.09	0.00	0.24
2	0.00	0.23	0.00	0.16	0.00	0.26
3	0.00	0.37	0.00	0.22	0.00	0.28
4	0.01	0.36	0.00	0.26	0.01	0.25

Tabel VII - 40: maatregelen 3 – OTC betonwand

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.10	0.00	0.13	0.00	0.13
1	0.00	0.11	0.00	0.10	0.00	0.22
2	0.00	0.15	0.00	0.17	0.00	0.24
3	0.00	0.25	0.00	0.23	0.00	0.26
4	0.01	0.33	0.00	0.28	0.01	0.27

Blok 32C

Tabel VII - 41: *Prognose trillingen in Bouwblok 32C vanuit eerste analyse*

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.13	0.00	0.15	0.09	0.42
1	0.00	0.15	0.01	0.31	0.09	0.37
2	0.01	0.19	0.02	0.44	0.11	0.69
3	0.00	0.26	0.01	0.33	0.13	0.66
4	0.00	0.39	0.00	0.16	0.15	0.75

Tabel VII -42: *Referentie model met kelder*

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.14	0.00	0.19	0.04	0.52
1	0.01	0.21	0.00	0.13	0.02	0.34
2	0.01	0.18	0.01	0.31	0.02	0.35
3	0.01	0.17	0.01	0.30	0.03	0.38
4	0.00	0.15	0.00	0.28	0.04	0.40

Tabel VII - 43: *maatregelen 1 - betonplaat*

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.19	0.01	0.24	0.03	0.42
1	0.01	0.20	0.00	0.14	0.02	0.36
2	0.01	0.22	0.00	0.25	0.02	0.37
3	0.01	0.15	0.00	0.23	0.01	0.30
4	0.00	0.15	0.00	0.28	0.01	0.32

Tabel VII - 44: *maatregelen 1a – betonplaat met EPS*

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.16	0.00	0.17	0.04	0.52
1	0.01	0.17	0.00	0.16	0.02	0.39
2	0.01	0.22	0.00	0.29	0.03	0.40
3	0.01	0.19	0.00	0.26	0.03	0.41
4	0.00	0.15	0.00	0.32	0.01	0.32

Tabel VII - 45: maatregelen 2 – extra wanden

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.14	0.00	0.20	0.02	0.39
1	0.06	0.39	0.01	0.24	0.00	0.24
2	0.08	0.49	0.01	0.25	0.01	0.34
3	0.05	0.33	0.00	0.21	0.02	0.35
4	0.00	0.24	0.00	0.28	0.03	0.36

Tabel VII - 46: maatregelen 3 – afgeveerd

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.20	0.01	0.26	0.00	0.22
1	0.00	0.35	0.00	0.20	0.00	0.21
2	0.01	0.52	0.01	0.41	0.00	0.22
3	0.01	0.68	0.01	0.64	0.00	0.22
4	0.02	0.83	0.02	0.89	0.00	0.22

Tabel VII - 47: maatregelen 3 – OTC damwand met EPS

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.00	0.13	0.00	0.17	0.01	0.25
1	0.01	0.21	0.00	0.13	0.01	0.27
2	0.02	0.25	0.01	0.31	0.01	0.35
3	0.01	0.19	0.01	0.28	0.01	0.35
4	0.00	0.19	0.00	0.29	0.01	0.35

Tabel VII - 48: maatregelen 3 – OTC betonwand

	Streefwaarde bestaande situatie					
	X-richting		Y-richting		Z-richting	
Verdieping	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}
BG	0.01	0.15	0.00	0.21	0.05	0.59
1	0.02	0.23	0.00	0.14	0.01	0.26
2	0.01	0.20	0.01	0.34	0.01	0.27
3	0.01	0.22	0.01	0.33	0.02	0.35
4	0.00	0.14	0.00	0.26	0.01	0.32