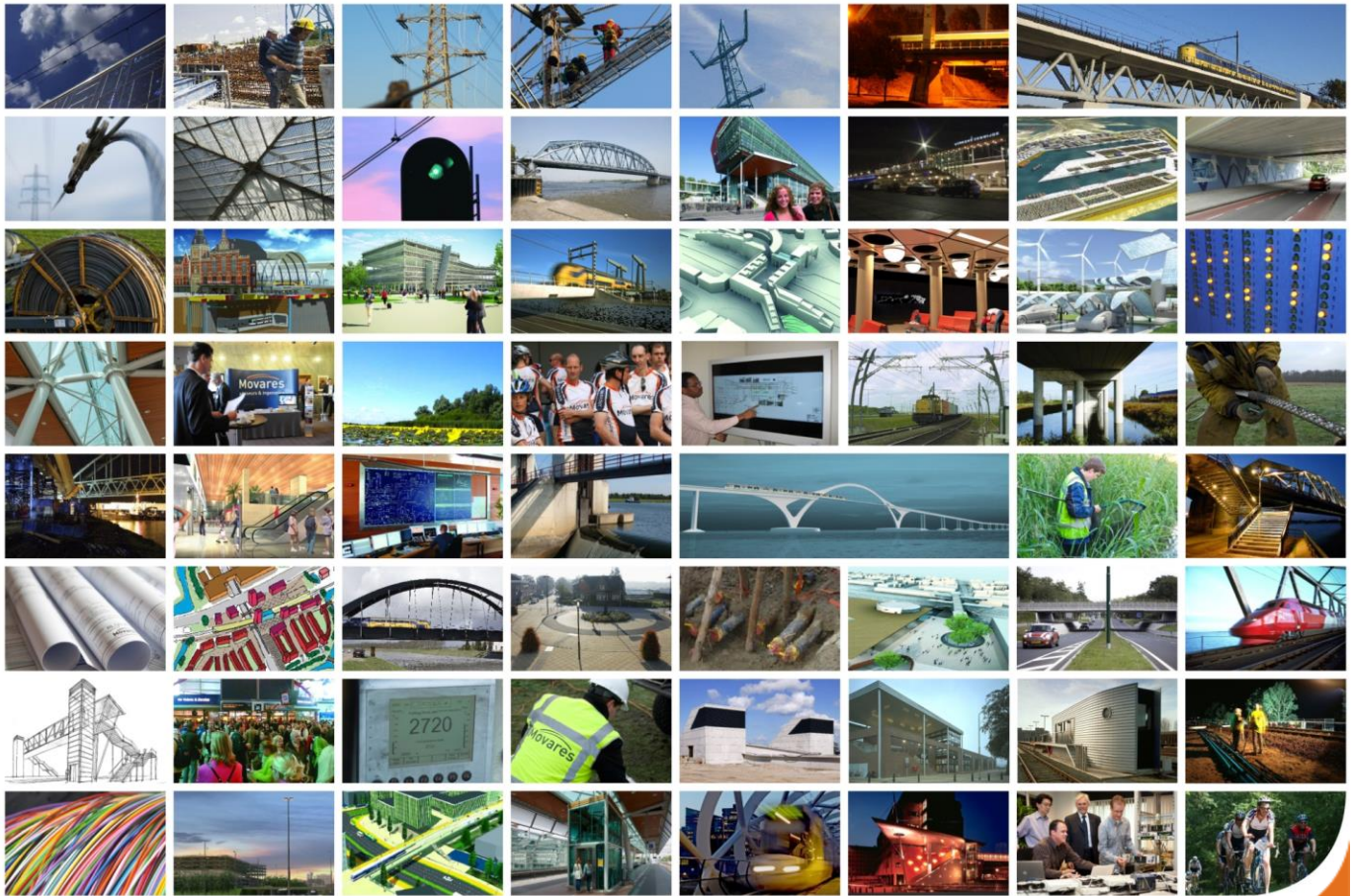




D79-CLO-KA-2000005

25 februari 2020 - Versie 1.0

Autorisatieblad

Trillingsonderzoek plangebied

WFC Ede

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Lommers CR (Niels)	✓	25-02-2020
Gecontroleerd door	Boon, PM	✓	25-02-2020
Vrijgegeven door	Wijnands, MNJH	✓	25-02-2020

Op dit autorisatieblad ontbreken de handtekeningen wegens de digitale verwerking van ons vrijgaveproces. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.
(Het formele proces is van toepassing op de definitieve versie.)

Versie historie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
0.3	Opgesteld door: Niels Lommers. Gecontroleerd door: Pieter Boon. Vrijgegeven door: Mark Wijnands	19-02-2020	Conceptversie, ter commentaar door opdrachtgever.

Samenvatting

Rond de voormalige Mauritskazerne (gelegen ten noordoosten van het station Ede-Wageningen) ontwikkelt gemeente Ede samen met partners het World Food Center (WFC) en de WFC Experience. Hier komt alles over duurzame en gezonde voeding samen. Een levendig gebied voor wonen, werken en recreëren. Direct ten zuiden van het plangebied van het WFC ligt het spoor tussen Utrecht en Arnhem. In het kader van een goede ruimtelijke ordening wil de gemeente Ede hinder door spoortrillingen onderzoeken en zorgvuldig laten meewegen in de besluitvorming voor de bestemmingsplannen van verschillende deelgebieden voor het WFC.

Een samenvatting van de resultaten van het onderzoek is weergegeven in onderstaand overzicht. Hierin is per functie aangegeven op welke afstand

1. Wordt voldaan aan de streefwaarden, ongeacht de toegepaste constructie. Buiten deze afstand tot het doorgaande spoor (het tweede spoor vanaf het noorden gezien, hier rijden de doorgaande treinen die voor de hoogste trillingen zorgen) kan zonder nader onderzoek worden gebouwd.
2. Mogelijk wordt voldaan aan de streefwaarden. Voldoen aan de streefwaarden is dan afhankelijk van de gekozen beukmaat, het vloertype en de bouwhoogte. Algemeen geldt dat de grotere beukmaten en grotere bouwhoogtes leiden tot lagere trillingen, en dat zwaardere funderingen ook zorgen voor een afname van de trillingen.
3. Niet wordt voldaan aan de streefwaarden. Voldoen aan de streefwaarden is dan niet meer mogelijk met uitsluitend bouwkundige optimalisaties. Er zijn zwaardere en complexere ingrepen nodig om te voldoen aan de streefwaarden, bijvoorbeeld het afveren van het gebouw (of bij kritische werkruimtes alleen de relevante vloeren) of het toepassen van trillingsschermen in de bodem.

Classificatie	Afstand tot doorgaand spoor			Toelichting
	Wonen	Kantoor	Kritische werkruimte	
Voldoet, geen maatregelen of detailonderzoek nodig	> 110 m	> 55 m	> 160 m	
Voldoet mogelijk, afhankelijk van de constructie: optimaliseren constructie bij uitwerking ontwerp	65 – 110 m	20 – 55 m	100 – 160 m	Grotere beukmaten, grotere bouwhoogtes, zwaardere funderingen
Voldoet niet, maatregelen nodig bij verdere uitwerking ontwerp	< 65 m	< 20 m	< 100 m	Afveren van gebouw (of vloer bij kritische werkruimte), trillingsscherm

Voor kritische werkruimtes geldt dat de hier weergegeven contouren bij zeer gevoelige apparatuur (zoals elektronenmicroscopen) onvoldoende ruim zijn. Voor dergelijke apparatuur kunnen de contourafstanden met een factor 2 toenemen, en dient bovendien aandacht te worden besteed aan de wegen in het plangebied, omdat deze in dat geval ook voor verstorende trillingen kunnen zorgen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doel	3
1.3 Aanpak	3
2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten	4
2.1 Inleiding	4
2.2 Omgeving	4
2.3 Meting	5
2.4 Geplande bebouwing	6
3 Beoordelingskader	7
3.1 Algemeen	7
3.2 Grootheden	7
3.3 Streefwaarden	7
3.3.1. <i>Nieuwe of bestaande situatie</i>	8
3.3.2. <i>Periode gedurende de dag</i>	8
3.3.3. <i>Gebouwfunctie</i>	8
3.4 Beoordeling in huidige onderzoek	8
4 Meetresultaten	10
4.1 Inleiding	10
4.2 Meetresultaten	10
5 Analyse en berekeningen	11
5.1 Prognosemethode	11
5.2 Resultaten meting	12
5.3 Resultaten berekeningen per functie	12
5.3.1. <i>Gebouwfunctie wonen</i>	12
5.3.2. <i>Resultaten kantoren</i>	14
5.3.3. <i>Resultaten kritische werkruimte</i>	15
6 Conclusie	17
Colofon	18

Bijlage I – Gegevens metingen

Bijlage II – Meetresultaten

Bijlage III – Gebouwtypes

Inleiding

1.1 Aanleiding

Rond de voormalige Mauritskazerne (gelegen ten noordoosten van het station Ede-Wageningen) ontwikkelt gemeente Ede samen met partners het World Food Center (WFC) en de WFC Experience. Hier komt alles over duurzame en gezonde voeding samen. Een levendig gebied voor wonen, werken en recreëren.

1.2 Doel

Direct ten zuiden van het plangebied van het WFC ligt het spoor tussen Utrecht en Arnhem. In het kader van een goede ruimtelijke ordening wil de gemeente Ede hinder door spoortrillingen onderzoeken en zorgvuldig laten meewegen in de besluitvorming voor de bestemmingsplannen van verschillende deelgebieden voor het WFC.

De gemeente Ede wil:

- voor de beoogde nieuwe gebouwen en functies de berekende trillingsniveaus laten toetsen aan de streefwaarden van de SBR B-richtlijn (trillingshinder);
- indien noodzakelijk maatregelen kunnen afwegen;
- deze vertalen naar voorwaardelijke verplichtingen:
 - de planregels van de bestemmingsplannen;
 - en in verband met de gronduitgifte.

In het (bestemmings)plan zal enige flexibiliteit van functies nagestreefd worden, waardoor we werken met zones ten aanzien van trillingshinder (milieuzone - trillingshinder spoor).

Met het trillingsonderzoek wordt een prognose gemaakt van de te verwachte trillingsniveaus voor de beoogde gebouwfuncties binnen de ontwikkeling van het WFC.

1.3 Aanpak

In 2018 hebben wij in opdracht van AM een trillingsonderzoek uitgevoerd op het ENKA-terrein. De meting van destijds is representatief voor het plangebied WFC; het gaat om dezelfde grondsoort en om een beperkte afstand langs de spoorlijn gemeten. In overleg met AM is deze meetdata ook gebruikt voor het plangebied van WFC, gelegen aan de andere zijde van de spoorlijn.

Wij hebben voor het voorliggende onderzoek de volgende aanpak gevolgd:

1. Bruikbaar maken van de meetdata uit 2018.
2. Uitvoeren van nieuwe berekeningen op basis van deze meetdata. De resultaten hiervan hebben we opgedeeld in 3 categorieën conform de SBR B-richtlijn: wonen, kantoren en kritische werkruimtes. Deze zijn dan verder opgesplitst in volgorde van afnemende afstand tot de spoorlijn:
 - a. Functie mogelijk zonder maatregelen, ongeacht de gekozen constructie.
 - b. Functie mogelijk, maar afhankelijk van de gekozen constructie zijn wel bouwkundige en constructieve optimalisaties nodig.
 - c. Functie mogelijk maar alleen met maatregelen.

In de berekeningen hebben we verschillende varianten bebouwing beschouwd:

- Types gebouwen: grondgebonden woningen, appartementen en kantoren
- Verschillende beukmaten
- Verschillende bouwhoogtes

2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

2.1 Inleiding

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

2.2 Omgeving

De meetlocatie bevond zich ten noorden van de spoorlijn Ede-Wageningen – Arnhem, zie Figuur 2-1. De spoorlijn wordt zowel door reizigers- als door goederenverkeer gebruikt. De sporenlay-out wordt in de toekomst gewijzigd, zie Figuur 2-1, in het kader van het project Spoorzone Ede. De toekomstige sporenlay-out wordt gebruikt voor de trillingsprognose van de woningen, omdat deze situatie al juridisch is vastgelegd in een onherroepelijk bestemmingsplan.



Figuur 2-1 Sporenlay-out Spoorzone Ede

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

Tabel 1 Rijsnelheden treinverkeer

Corridor	Type trein	Snelheid
Ede-Wageningen – Arnhem	Doorgaande reizigerstreinen (ICE)	140 km/h
Ede-Wageningen – Arnhem	Stoppende reizigerstreinen (IC en SPR)	0 tot 100 km/h
Ede-Wageningen – Arnhem	Goederentreinen	90 km/h

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

Ede OV-knoop. Het aantal treinen (m.n. intercity's) is na realisatie van genoemd plan hoger dan in de huidige situatie. Zo rijden er in de huidige situatie 4 intercity's per uur in de dag- en avondperiode. Door te rekenen met het toekomstige aantal treinen houdt dit onderzoek alvast rekening met toekomstige intensiveringen van het aantal treinen.

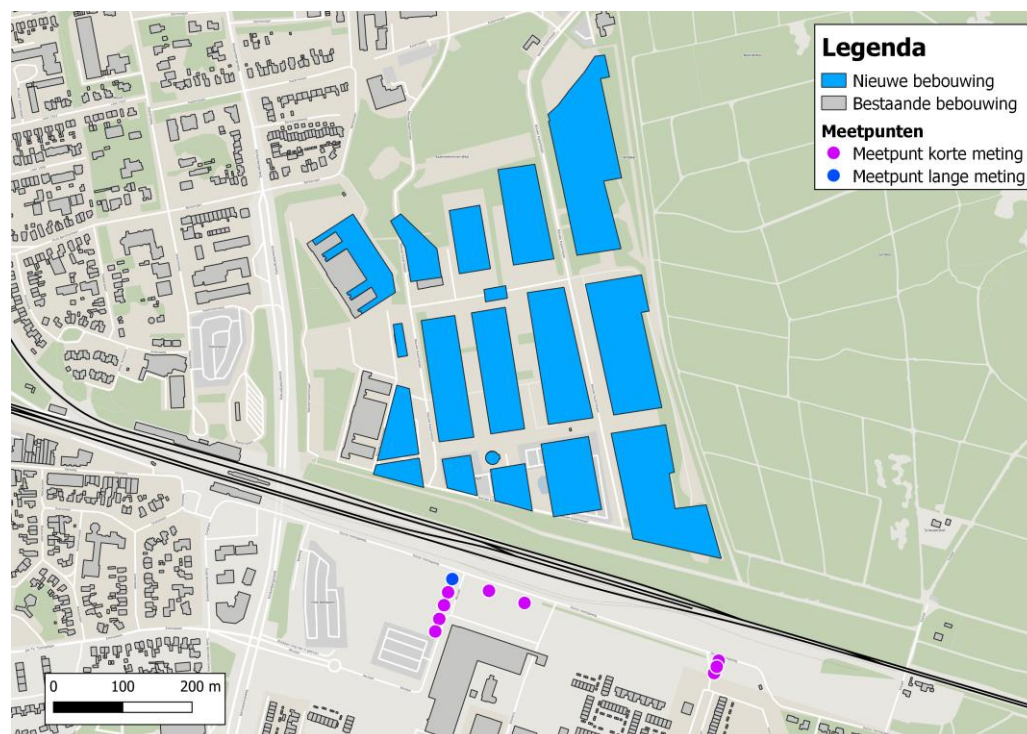
Tabel 2 Intensiteiten treinverkeer per uur per richting

Treintype en verbinding	Dag (7:00 – 19:00)	Avond (19:00 – 23:00)	Nacht (23:00 – 7:00)
Intercity Utrecht – Arnhem v.v.	6.00	6.00	1.93
ICE Utrecht – Arnhem v.v.	1.00	1.00	0.32
Sprinter Ede-Wageningen Arnhem v.v.	2.00	2.00	0.64
Goederen Utrecht – Arnhem v.v.	0.07	0.08	0.05

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

2.3 Meting

De metingen zijn in 2018 uitgevoerd op maaiveld ten zuiden van de spoorlijn. Een plattegrond van de locatie met daarop de meetlocaties is weergegeven in Figuur 2-2. Er zijn twee types metingen uitgevoerd op maaiveld: een onbemande lange meting met één meetpunt en een bemande korte meting met tien 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 Een plattegrond van het plangebied, langeduur meetpunt en meetpunten korte meting.



Figuur 2-3 Foto van de meetopstelling van de langeduurmeting

2.4 Geplande bebouwing

De eigenschappen van de toekomstige bebouwing zijn nog niet bekend. In dit onderzoek is zodoende gerekend met veel voorkomende gebouw eigenschappen. In grote lijnen is gerekend met de volgende eigenschappen:

- grondgebonden woningen, met drie beukmaatvarianten;
- appartementen, met twee beukmaatvarianten en drie hoogtevarianten (3, 6 en 10 bouwlagen);
- kantoren met twee beukmaatvarianten en drie hoogtevarianten (bijvoorbeeld 3, 6 en 10 bouwlagen);
- Verder is er gerekend met breedplaatvloeren en kanaalplaatvloeren.

De berekeningen zijn vervolgens op verschillende afstanden tot het spoor uitgevoerd. Verder is ermee gerekend dat de gebouwen op (boor)palen zijn gefundeerd gezien de scheef weglopende grondlagen. Een gedetailleerd overzicht van eigenschappen en afstanden is opgenomen in Bijlage III.

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 als gevolg van het plan. In dit onderzoek is daarom alleen beoordeeld op de SBR B-richtlijn. Wel zal bij de functie *kritische werkruimte* worden aangegeven wat de impact is van toepassen van de SBR C-richtlijn. Deze richtlijn kent geen eigen grenswaarden, maar verwijst naar apparaatspecifieke eisen. Deze zijn op dit moment nog niet bekend.

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 voor nieuwe situaties. De huidige onderzoekslocatie heeft diverse bestemmingen (wonen, kantoor en kritische werkruimtes zijn mogelijk in het plan). Commerciële functies vallen buiten het toepassingsgebied van de SBR B-richtlijn en worden daarom doorgaans niet op trillingshinder beoordeeld. Deze ruimtes hebben ook geen langdurige verblijfsfunctie.

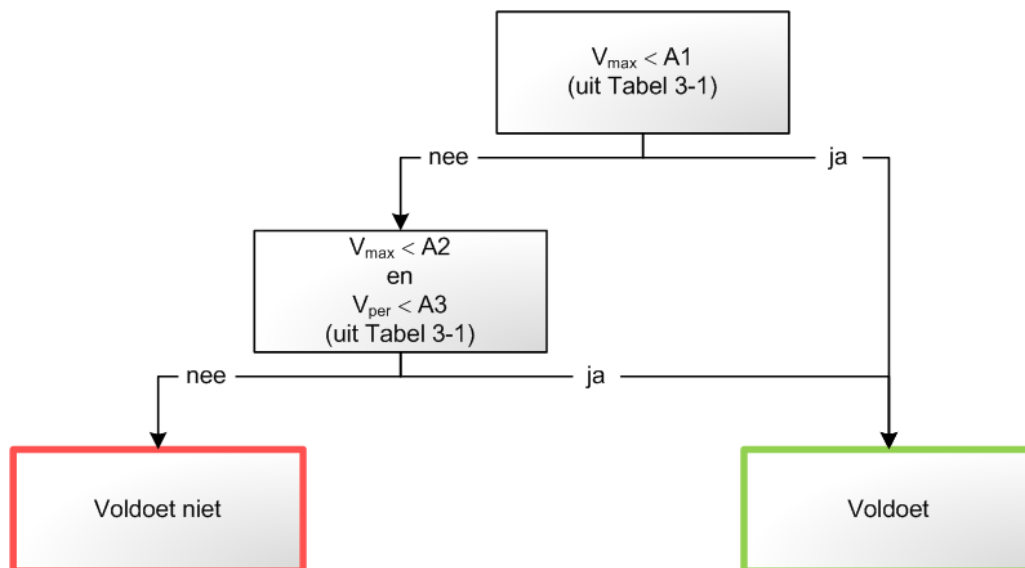
Tabel 3 Streefwaarden nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn

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

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

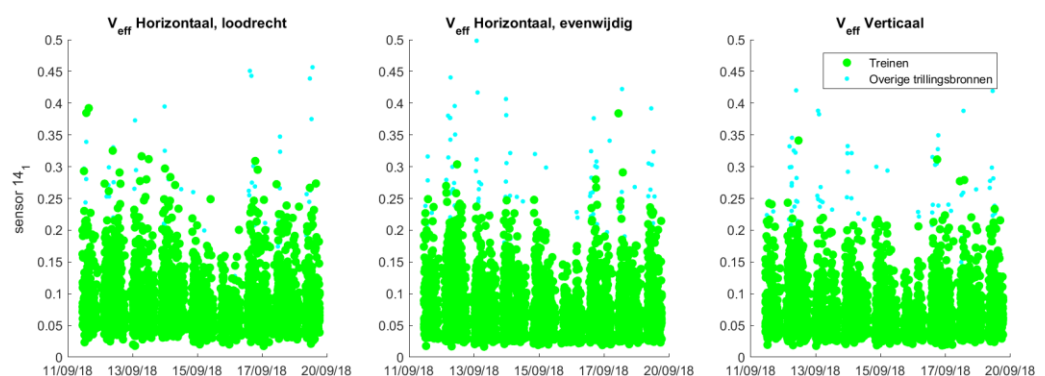
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen uit 2018 beknopt beschreven. Er zijn twee metingen uitgevoerd:

1. Een korte meting met meerdere meetpunten, bedoeld om de variatie in bodemopbouw en spreiding van de trillingsniveaus binnen het onderzoeksgebied vast te stellen;
2. Een lange 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 meetrichting weergegeven in Figuur 4-1. Dit betreft de trillingen op maaiveld op ca. 58 m afstand van het spoor. Op maaiveld zorgen vooral de doorgaande ICE's 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

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 kan het trillingsniveau op elke willekeurige afstand tot het spoor bepaald worden.

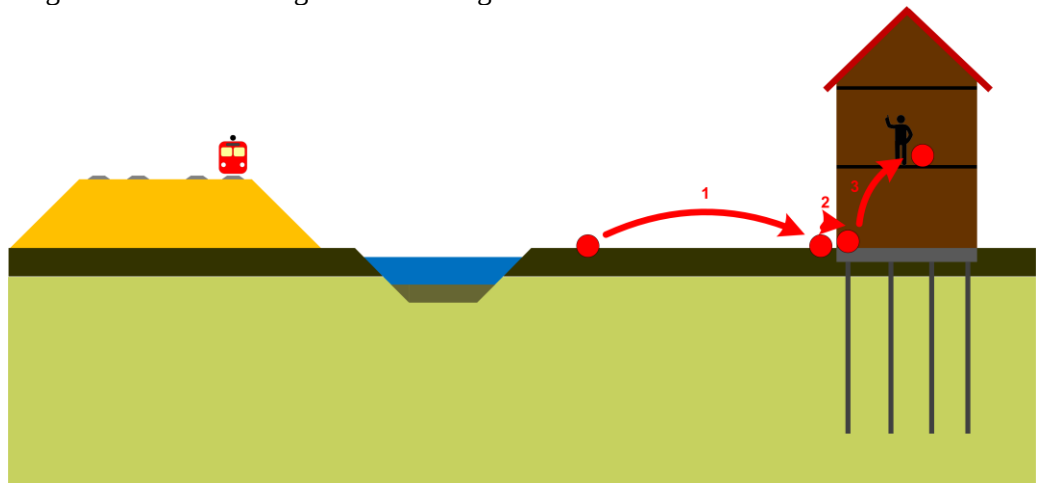
5 Analyse en berekeningen

5.1 Prognosemethode

De resultaten van de korte en de lange meting 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. Daarnaast brengen we de onzekerheid van de predicties (onder meer veroorzaakt door onzekerheid in exacte dimensionering, materiaalkeuze en constructiewijze) in rekening door een 50%-waarde en een 95%-waarde te onderscheiden:

- 50%-waarde: De kans dat de trillingen lager zijn dan deze waarde is 50%. Deze waarde representeert daarmee de verwachtingswaarde voor trillingen in de woningen en geldt voor gebouwen met gemiddelde constructieve eigenschappen.
- 95%-waarde: De kans dat de trillingen lager zijn dan deze waarde is 95%. De kans op voorkomen is klein, maar niet verwaarloosbaar. De 95%-waarde wordt gebruikt als redelijkerwijs maximaal te verwachten trillingssterkte en geldt voor gebouwen met ongunstige constructieve eigenschappen. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld dat de onderste laag van een hoog gebouw met een kolommenstructuur is gerealiseerd, waardoor de horizontale stijfheid lager is en met name horizontale, laagfrequente trillingen hoger kunnen zijn in de bovenste delen van het gebouw.

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. Deze overdracht corrigeert voor verschillen in afstand tot het spoor (uitdamping van de trillingen met de afstand). Dit is op basis van de Barkan-vergelijking, een empirische formule die de uitdamping van de trillingen met de afstand beschrijft;
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);

3. De trillingen op de fundering worden vertaald naar een meetpunt op de hoogste vloer van het bouwblok, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type constructie).

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.

Een document van VROM geeft indicatieve richtlijnen voor het bepalen van de overdracht van trillingen van maaiveld naar fundering¹. Deze theoretische waarden komen goed overeen met praktijkwaarden uit metingen en zijn daarom in dit onderzoek aangehouden. Voor de overdracht van de trillingen van de fundering naar midden vloerveld wordt een semi-empirisch rekenmodel gebruikt, gebaseerd op een groot aantal metingen in gebouwen. Op basis van de kenmerken van de bebouwing wordt een verwachte overdracht berekend.

5.2 Resultaten meting

De trillingen op de locatie van de lange duurmetering zijn weergegeven in Tabel 4. Op maaiveld zijn de trillingen al hoger dan de streefwaarden voor wonen uit de SBR B-richtlijn voor nieuwe situaties.

Tabel 4 Meetresultaten en beoordeling op maaiveld en fundering

	X	Y	Z
<i>V_{per}, dag</i>	0.02	0.02	0.02
<i>V_{per}, avond</i>	0.02	0.02	0.02
<i>V_{per}, nacht</i>	0.01	0.01	0.01
<i>V_{max}, gemeten</i>	0.39	0.38	0.34

5.3 Resultaten berekeningen per functie

In de volgende subparagrafen is per gebouwfunctie (*kantoor*, *wonen* en *kritische werkruiimte*) aangegeven binnen welke contourafstanden wordt voldaan aan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Zoals eerder aangegeven hanteren we hierbij drie contourafstanden:

1. Trillingen voldoen aan de SBR B-richtlijn, ongeacht de constructie van het bouwwerk
2. Trillingen voldoen mogelijk aan de SBR B-richtlijn, maar dit is afhankelijk van de bouwkundige constructie. In deze zone moet het bouwkundige ontwerp worden geoptimaliseerd op trillingen.
3. Trillingen voldoen niet aan de SBR B-richtlijn (ongeacht de constructie van het bouwwerk). Hier zijn maatregelen nodig om te voldoen aan de streefwaarden.

De genoemde afstanden zijn steeds afstanden tot het (van bovenaf gezien) tweede spoor, dit is het doorgaande spoor wat voor de hoogste trillingen zorgt.

5.3.1. Gebouwfunctie wonen

De berekende trillingen in de gebouwtypes met functie *wonen* zijn getoetst aan de SBR-B richtlijn. De resultaten daarvan zijn afgebeeld in Figuur 5-2. Hierin is te zien bij welke bouwblokken bouwkundige maatregelen of ontwerpoptimalisaties nodig zijn om aan de richtlijn te voldoen.

¹ Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte, Ministerie VROM, mei 1995, distributienummer 12462/164.



Figuur 5-2 Contouren trillingshinder ‘Wonen’

Voldoet, geen maatregelen nodig

Vanaf 110 meter van het spoor zullen alle gebouwen met de bestemming *wonen* voldoen aan de SBR-B richtlijn.

Voldoet mogelijk, ontwerpoptimalisaties kunnen nodig zijn

Voor afstanden tussen de 65 en 110 meter zullen er, afhankelijk van de constructie, bouwkundige optimalisaties getroffen moeten worden om tot een acceptabel leefklimaat te komen. Hierbij kan gedacht worden aan de volgende optimalisaties:

- De trillingen zijn lager bij grotere beukmaten (bijv. van 7 of 8 meter).
- De trillingen zijn lager bij hoge gebouwen dan bij lage gebouwen (bijv. hoogbouw i.p.v. laagbouw, of appartementen i.p.v. grondgebonden woningen).

Met bovenstaande optimalisaties is in deze zone te voldoen aan de streefwaarden voor trillingshinder. Zo voldoen appartementen met beukmaten van minimaal 7 meter en een bouwhoogte van minimaal 10 meter aan de streefwaarden. Bij kleinere beukmaten adviseren wij om hoger te bouwen (bijv. 30 meter) of zwaardere bouw toe te passen (bijv. een zwaardere fundering of zware betonnen constructie).

Voldoet niet, maatregelen zijn nodig

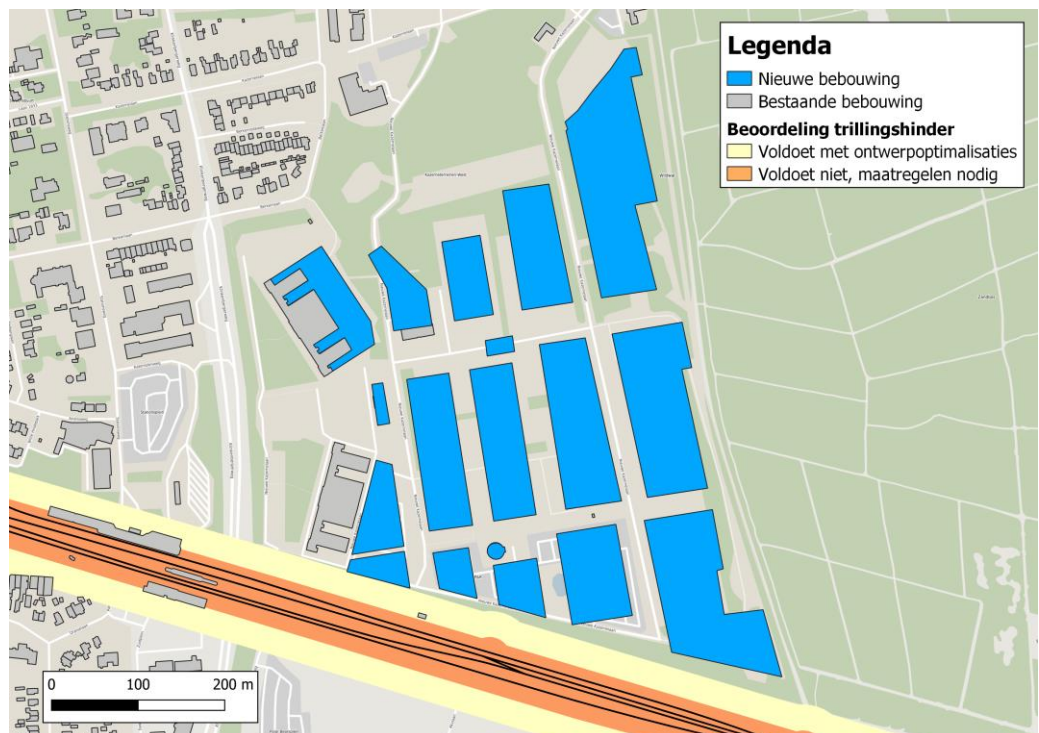
Binnen 65 meter tot het spoor zullen er (evt. naast ontwerpoptimalisaties) ook bouwkundige maatregelen genomen moeten worden om aan de strenge streefwaarden voor nieuwbouw te voldoen. Voorbeeld van maatregelen zijn:

- Afveren van de fundering door te werken met een dubbele fundering, met daartussen veerdozen (met een maximale eigenfrequentie van 6 Hz).

- Het plaatsen van een trillingsscherm in de bodem tussen het spoor en de bebouwing, bij voorkeur dicht op het spoor of dicht op de bebouwing.
- Het toepassen van een zware fundering (bijv. parkeerkelder of zware funderingsplaat i.p.v. een fundering van betonnen balken)

5.3.2. Resultaten kantoren

De SBR-B richtlijnen is voor gebouwen met de functie kantoren een stuk minder streng dan voor wonen. Verder wordt er geen onderscheid gemaakt tussen dag of nacht. Zoals te zien in Figuur 5-3 hoeft men voor kantoren alleen bouwkundige optimalisaties uit te voeren voor gebouwen die op de rand van het plangebied staan (op 50 meter van het spoor).



Figuur 5-3 Contouren trillingshinder ‘Kantoor’

Voldoet, geen maatregelen nodig

Vanaf 55 meter zijn er geen maatregelen nodig om aan de streefwaarden voor kantoren te voldoen. Alleen bouwvlak C valt voor een klein deel binnen deze zone.

Voldoet mogelijk, ontwerpoptimalisaties kunnen nodig zijn

Bij kantoorgebouwen binnen 50 meter van het spoor zijn beperkte ontwerpoptimalisaties nodig om te voldoen aan de streefwaarden. Handvatten hiervoor zijn:

- Toepassen van beukmaten groter dan 6 meter.
- Bij beukmaten kleiner dan 6 meter geen kanaalplaat- maar bijv. breedplaatvloeren toepassen, of andere vloertypes met meer demping (dus geen staal-beton vloeren).

Voldoet niet, maatregelen zijn nodig

Het gebied waar men voor kantoren maatregelen zou moeten treffen valt buiten het plangebied voor WFC Ede.

5.3.3. Resultaten kritische werkruimte

De streefwaarde voor kritische werkruimte is streng. De trillingssterkte mag niet boven de 0.1 uitkomen, de trillingsniveaus in de gebouwtypes zijn getoetst aan deze waarde. De resultaten van deze toets is weergegeven in Figuur 5-4. Merk hierbij op dat, afhankelijk van de toe te passen gevoelige apparatuur, strengere streefwaarden kunnen gelden, waarbij de contourafstanden toenemen. Bijvoorbeeld elektronenmicroscopen zijn aanzienlijk gevoeliger voor verstoring door trillingen dan de genoemde streefwaarde van 0.1. Wij zien in de praktijk dan ook dat de streefwaarde uit de SBR B-richtlijn voor kritische werkruimtes niet wordt gebruikt, maar dat veelal specifieke eisen op basis van de te plaatsen apparatuur worden gehanteerd. Voor zeer gevoelige apparatuur kunnen de contourafstanden met een factor 2 toenemen, en dient bovendien aandacht te worden besteed aan de wegen in het plangebied, omdat deze in dat geval ook voor versturende trillingen kunnen zorgen.



Figuur 5-4 Contouren trillingshinder ‘Kritische werkruimte’

Voldoet, geen maatregelen nodig

Voor gebouwen met *kritische werkruimtes* zijn vanaf 160 meter geen maatregelen of ontwerpoptimalisaties nodig. Vanaf deze afstand zal er met gebruikelijke bouwmethododes worden voldaan aan de strenge streefwaarde voor kritische werkruimtes. Om zeker te weten dat voor alle apparatuur geen verstoring als gevolg van treintrillingen kan optreden, adviseren wij om een contour van minimaal 320 meter aan te houden (factor 2 ruimer).

Voldoet mogelijk, ontwerpoptimalisaties kunnen nodig zijn

Voor afstanden van 100 tot 160 meter van het spoor zullen er bij *kritische werkruimtes* ontwerpoptimalisaties moeten worden toegepast om te voldoen aan de richtlijn. In het algemeen is ons advies om kritische werkruimtes niet binnen deze afstand van het spoor te plaatsen. Wanneer er desondanks binnen deze zone kritische werkruimtes worden gerealiseerd, dan is het advies om (net zoals bij *wonen*), gebouwen zwaar en hoog te construeren (met een zware fundering) en om grotere beukmaten toe te passen (die echter weer gevoeliger zijn voor trillingen als gevolg van lopen).

Voldoet niet, maatregelen zijn nodig

Tot een spoorafstand van 100 meter zijn er maatregelen nodig, bij zeer gevoelige apparatuur kan dat tot 200 meter afstand zijn. Uiteraard geldt hier hetzelfde algemene advies als bij de vorige categorie om kritische werkruimtes waar mogelijk niet binnen deze afstand te plaatsen. Maatregelen om de trillingen te reduceren tot onder de streefwaarden, zijn bijvoorbeeld:

- Afveren van de fundering door te werken met een dubbele fundering, met daartussen veerdozen (met een maximale eigenfrequentie van 3 Hz).
- Afveren van de vloer waarop de gevoelige apparatuur wordt geplaatst. Vaak is dit een significant goedkopere oplossing dan het volledig afveren van het gebouw, bovendien leidt dit doorgaans tot lagere trillingen omdat alleen de relevante delen van het gebouw worden afgeveerd.

6 Conclusie

In dit onderzoek zijn berekeningen uitgevoerd om de verwachte trillingsniveaus in het plangebied van het World Food Center in Ede te bepalen. Deze verwachte waarden zijn getoetst aan de streefwaarden voor nieuwbouw uit de SBR-B richtlijn. Vervolgens is per functie (*wonen, kantoor, kritische werkruimte*), bepaald vanaf welke afstand er met maatregelen, met bouwkundige en constructieve ontwerpoptimalisaties of zonder maatregelen gebouwd kan worden.

Een samenvatting van de resultaten van het onderzoek is weergegeven in onderstaand overzicht. Hierin is per functie aangegeven op welke afstand

4. Wordt voldaan aan de streefwaarden, ongeacht de toegepaste constructie. Buiten deze afstand tot het doorgaande spoor (het tweede spoor vanaf het noorden gezien, hier rijden de doorgaande treinen die voor de hoogste trillingen zorgen) kan zonder nader onderzoek worden gebouwd.
5. Mogelijk wordt voldaan aan de streefwaarden. Voldoen aan de streefwaarden is dan afhankelijk van de gekozen beukmaat, het vloertype en de bouwhoogte. Algemeen geldt dat de grotere beukmaten en grotere bouwhoogtes leiden tot lagere trillingen, en dat zwaardere funderingen ook zorgen voor een afname van de trillingen.
6. Niet wordt voldaan aan de streefwaarden. Voldoen aan de streefwaarden is dan niet meer mogelijk met uitsluitend bouwkundige optimalisaties. Er zijn zwaardere en complexere ingrepen nodig om te voldoen aan de streefwaarden, bijvoorbeeld het afveren van het gebouw (of bij kritische werkruimtes alleen de relevante vloeren) of het toepassen van trillingsschermen in de bodem.

Classificatie	Afstand tot doorgaand spoor			Toelichting
	Wonen	Kantoor	Kritische werkruimte	
Voldoet, geen maatregelen of detailonderzoek nodig	> 110 m	> 55 m	> 160 m	
Voldoet mogelijk, afhankelijk van de constructie: optimaliseren constructie bij uitwerking ontwerp	65 – 110 m	20 – 55 m	100 – 160 m	Grotere beukmaten, grotere bouwhoogtes, zwaardere funderingen
Voldoet niet, maatregelen nodig bij verdere uitwerking ontwerp	< 65 m	< 20 m	< 100 m	Afveren van gebouw (of vloer bij kritische werkruimte), trillingsscherm

Voor kritische werkruimtes geldt dat de hier weergegeven contouren bij zeer gevoelige apparatuur (zoals elektronenmicroscopen) onvoldoende ruim zijn. Voor dergelijke apparatuur kunnen de contourafstanden met een factor 2 toenemen, en dient bovendien aandacht te worden besteed aan de wegen in het plangebied, omdat deze in dat geval ook voor versturende trillingen kunnen zorgen.

Colofon

Opdrachtgever Gemeente Ede
Friso Klaassen

Uitgave Movares Nederland B.V.

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

Utrecht

Telefoon 0614328458

Ondertekenaar CR Lommers
Adviseur A

Projectnummer MN001090

Kenmerk D79-CLO-KA-2000005 Trillingsonderzoek plangebied WFC Ede

Bijlage I – Gegevens metingen

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

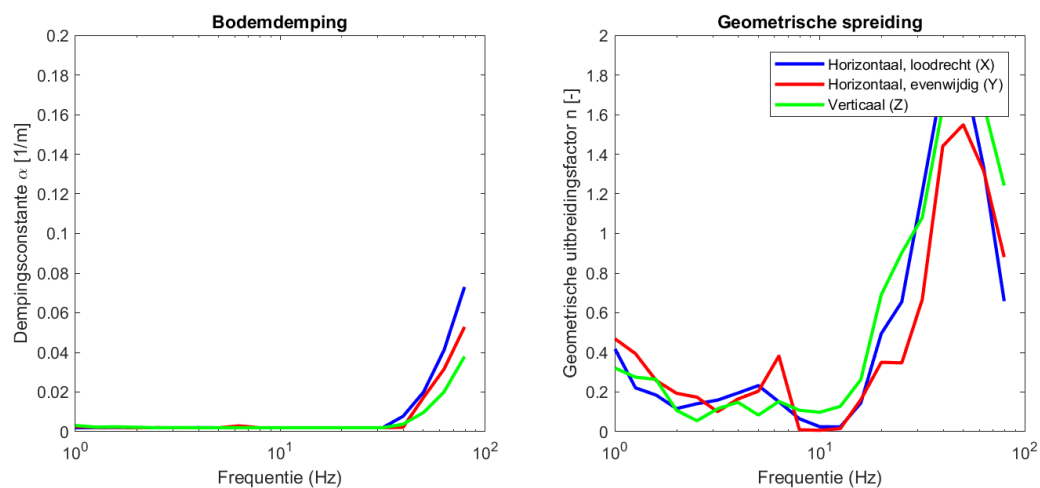
1	Uitvoerende organisatie	Movares Nederland B.V. Daalseplein 101 3511 SX Utrecht
	Verantwoordelijke persoon	Ir. P.M. Boon e-mail: pieter.boon@movares.nl tel.: 06-10039454
2	Meting uitgevoerd door	Mohamed Kabbouch
3	Tijdperiode meting	19-09-2018 13:50 tot 19-09-2018 17:30 (korteduurmeting) 11-09-2016 12:10 tot 19-11-2018 18:00 (langeduurmeting)
4	Type trillingsbron	Treinen.
5	Gebouwomschrijving	Woningen en kantoren met maximale bouwhoogte van 30m
6	Locatie metingen	Zie plattegrond in hoofdstuk 2
7	Geotechnische gegevens	
8	Meetposities	Zie plattegrond in hoofdstuk 2
9	Gebruikte meetopnemers	Tien 3D-geofoons
	Gebruikte registratieapparatuur	Webcam gekoppeld aan meetcomputer
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	Raspberry Pi met USB-DUX. Meetcomputers leggen zowel de trillingssterkte per 30 seconden als het tijdssignaal vast.
10	Overzicht meetwaarden	Zie figuren in hoofdstuk 4
11	Motivatatie classificatie gebouw	Zie hoofdstuk 2
12	Overige relevante omstandigheden	Zie hoofdstuk 2

© 2020, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervaelvoudigd, 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 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 uitdempem met de afstand. Dit komt door de stijve zandbodem.



Figuur II - 1 Bodemdemping en geometrische spreiding bij het ENKA-terrein, ook representatief voor het WFC-terrein.

Bijlage III – Gebouwtypes

Nummer	Type	Afstand tot spoor	Hoogte	Beukmaat	Vloertype
1	Kantoor/appartement	50	10	6,6	Kanaalplaatvloer
2	Kantoor/appartement	50	20	6,6	Kanaalplaatvloer
3	Kantoor/appartement	50	30	6,6	Kanaalplaatvloer
4	Kantoor/appartement	50	10	5,4	Kanaalplaatvloer
5	Kantoor/appartement	50	20	5,4	Kanaalplaatvloer
6	Kantoor/appartement	50	30	5,4	Kanaalplaatvloer
7	Kantoor/appartement	50	10	8,0	Kanaalplaatvloer
8	Kantoor/appartement	50	20	8,0	Kanaalplaatvloer
9	Kantoor/appartement	50	30	8,0	Kanaalplaatvloer
10	Kantoor/appartement	70	10	6,6	Kanaalplaatvloer
11	Kantoor/appartement	70	20	6,6	Kanaalplaatvloer
12	Kantoor/appartement	70	30	6,6	Kanaalplaatvloer
13	Kantoor/appartement	70	10	5,4	Kanaalplaatvloer
14	Kantoor/appartement	70	20	5,4	Kanaalplaatvloer
15	Kantoor/appartement	70	30	5,4	Kanaalplaatvloer
16	Kantoor/appartement	70	10	8,0	Kanaalplaatvloer
17	Kantoor/appartement	70	20	8,0	Kanaalplaatvloer
18	Kantoor/appartement	70	30	8,0	Kanaalplaatvloer
19	Kantoor/appartement	90	10	6,6	Kanaalplaatvloer
20	Kantoor/appartement	90	20	6,6	Kanaalplaatvloer
21	Kantoor/appartement	90	30	6,6	Kanaalplaatvloer
22	Kantoor/appartement	90	10	5,4	Kanaalplaatvloer
23	Kantoor/appartement	90	20	5,4	Kanaalplaatvloer
24	Kantoor/appartement	90	30	5,4	Kanaalplaatvloer
25	Kantoor/appartement	90	10	8,0	Kanaalplaatvloer
26	Kantoor/appartement	90	20	8,0	Kanaalplaatvloer
27	Kantoor/appartement	90	30	8,0	Kanaalplaatvloer
28	Kantoor/appartement	110	10	6,6	Kanaalplaatvloer
29	Kantoor/appartement	110	20	6,6	Kanaalplaatvloer
30	Kantoor/appartement	110	30	6,6	Kanaalplaatvloer
31	Kantoor/appartement	110	10	5,4	Kanaalplaatvloer
32	Kantoor/appartement	110	20	5,4	Kanaalplaatvloer
33	Kantoor/appartement	110	30	5,4	Kanaalplaatvloer
34	Kantoor/appartement	110	10	8,0	Kanaalplaatvloer
35	Kantoor/appartement	110	20	8,0	Kanaalplaatvloer
36	Kantoor/appartement	110	30	8,0	Kanaalplaatvloer
37	Kantoor/appartement	50	10	6,6	Breedplaatvloer
38	Kantoor/appartement	50	20	6,6	Breedplaatvloer
39	Kantoor/appartement	50	30	6,6	Breedplaatvloer

40	Kantoor/appartement	50	10	5,4	Breedplaatvloer
41	Kantoor/appartement	50	20	5,4	Breedplaatvloer
42	Kantoor/appartement	50	30	5,4	Breedplaatvloer
43	Kantoor/appartement	50	10	8,0	Breedplaatvloer
44	Kantoor/appartement	50	20	8,0	Breedplaatvloer
45	Kantoor/appartement	50	30	8,0	Breedplaatvloer
46	Kantoor/appartement	70	10	6,6	Breedplaatvloer
47	Kantoor/appartement	70	20	6,6	Breedplaatvloer
48	Kantoor/appartement	70	30	6,6	Breedplaatvloer
49	Kantoor/appartement	70	10	5,4	Breedplaatvloer
50	Kantoor/appartement	70	20	5,4	Breedplaatvloer
51	Kantoor/appartement	70	30	5,4	Breedplaatvloer
52	Kantoor/appartement	70	10	8,0	Breedplaatvloer
53	Kantoor/appartement	70	20	8,0	Breedplaatvloer
54	Kantoor/appartement	70	30	8,0	Breedplaatvloer
55	Wonen	50	9	6,6	Kanaalplaatvloer
56	Wonen	50	9	5,4	Kanaalplaatvloer
57	Wonen	50	9	8,0	Kanaalplaatvloer
58	Wonen	70	9	6,6	Kanaalplaatvloer
59	Wonen	70	9	5,4	Kanaalplaatvloer
60	Wonen	70	9	8,0	Kanaalplaatvloer
61	Wonen	90	9	6,6	Kanaalplaatvloer
62	Wonen	90	9	5,4	Kanaalplaatvloer
63	Wonen	90	9	8,0	Kanaalplaatvloer
64	Wonen	110	9	6,6	Kanaalplaatvloer
65	Wonen	110	9	5,4	Kanaalplaatvloer
66	Wonen	110	9	8,0	Kanaalplaatvloer
67	Wonen	50	9	6,6	Breedplaatvloer
68	Wonen	50	9	5,4	Breedplaatvloer
69	Wonen	50	9	8,0	Breedplaatvloer
70	Wonen	70	9	6,6	Breedplaatvloer
71	Wonen	70	9	5,4	Breedplaatvloer
72	Wonen	70	9	8,0	Breedplaatvloer