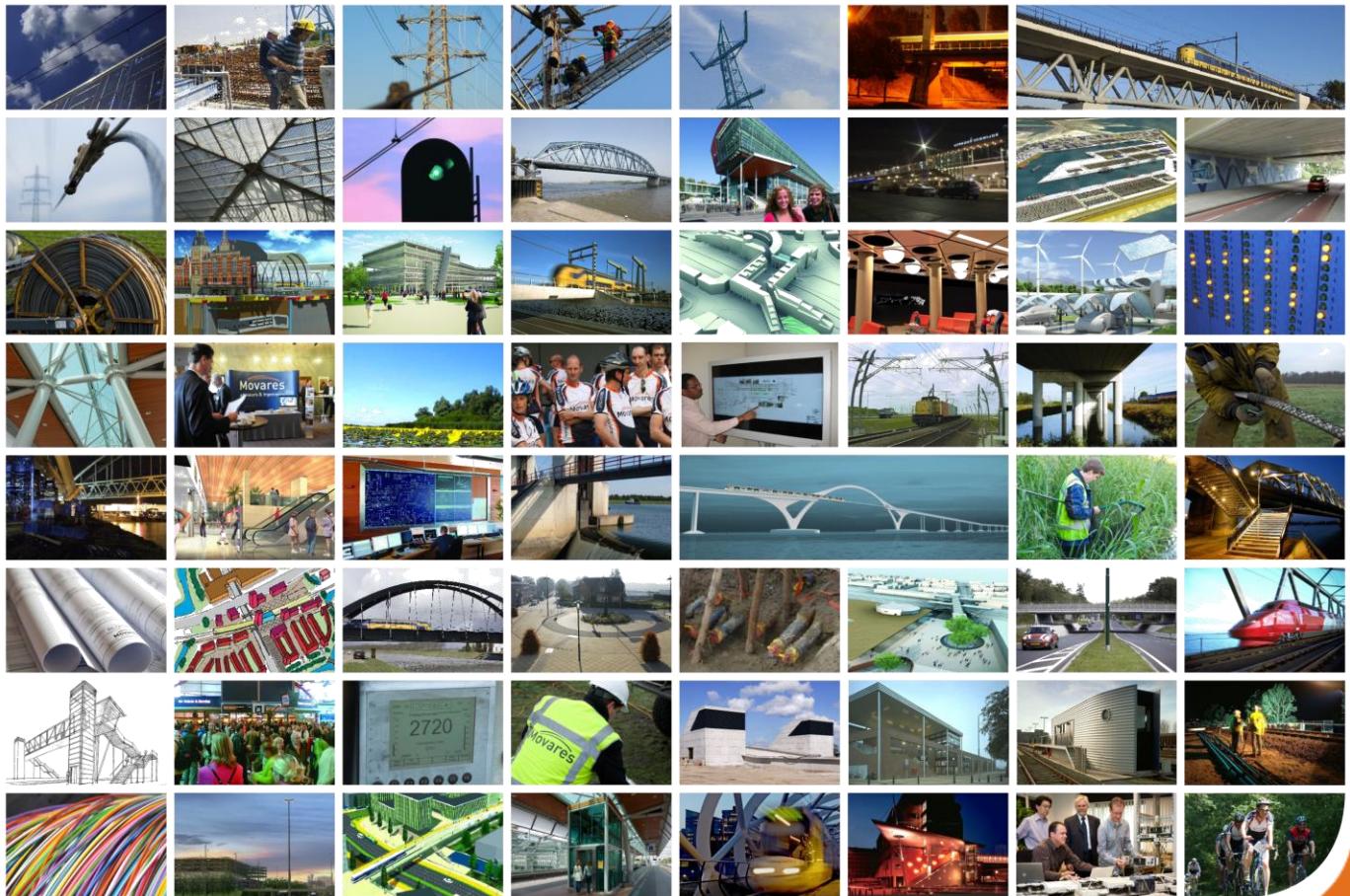


## Trillingsonderzoek Ede Valleilijn



D79-GBA-KA-1800014

26 april 2018 - Versie 1.0

## Autorisatieblad

### Trillingsonderzoek Ede Valleilijn

	<b>Naam</b>	<b>Akkoord</b>	<b>Datum</b>
Opgesteld door	Bastiaens, G	✓	26-04-2018
Gecontroleerd door	Boon, PM	✓	26-04-2018
Vrijgegeven door	Boon, PM	✓	26-04-2018

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

#### Versie historie

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

## Samenvatting

De gemeente Ede is bezig met het opstellen van bestemmingsplannen voor de omgeving langs de Valleilijn die dwars door Ede loopt. Er is gevraagd een onderzoek te doen naar trillingshinder in de nabijheid van het spoor voor woningen op een staalfundering.

Doeel van het onderzoek is om de kans op trillingshinder in de geplande woningen in Ede langs de Valleilijn te bepalen en, indien nodig, een advies te geven over de maatregelen waarmee trillingshinder voorkomen kan worden.

Uit het onderzoek naar trillingshinder volgt dat er vanaf 10 meter uit het spoor geen overschrijding van het beoordelingskader voor trillingshinder (de SBR B-richtlijn) wordt verwacht. Er is in het onderzoek rekening gehouden met verschillende eigenfrequenties van de vloer. Uit de resultaten blijkt dat hogere eigenfrequenties zorgen voor hogere trillingssterktes, maar dat voor de gebruikelijke types vloeren bij nieuwbouwwoningen geen overschrijdingen worden verwacht. Gangbare vloertypes zijn betonnen breedplaat- en kanaalplaatvloeren met overspanningen tussen de 5 en 10 meter zoals gebruikt in moderne woningbouw. Wel wordt geadviseerd rekening te houden met de eigenfrequenties van de vloeren, en deze niet boven de 16 Hz uit te laten komen in de nabijheid van het spoor. Eigenfrequenties boven de 16 Hz kunnen voorkomen bij direct op het zand gestorte vloeren. Bij nieuwbouw is het echter niet gebruikelijk om dit type vloeren toe te passen.

In het geval van nieuwbouw op afstanden korter dan 10 meter uit het spoor adviseren wij om nader onderzoek te doen, ook omdat dan bijvoorbeeld hinder als gevolg van laagfrequent geluid (afgestraald geluid door trillende wanden en vloeren) kan optreden. Bovendien neemt in dat geval de onzekerheid van de berekende trillingen sterk toe. Het aantal verdiepingen van de nieuwbouw heeft geen significante invloed op de trillingen. De hoogte van gebouwen is met name relevant bij (de laagfrequente) trillingen van goederentreinen, maar deze maken geen structureel gebruik van de Valleilijn.

Bij een afstand vanaf 10 meter uit het spoor zijn geen aanvullende maatregelen nodig.

## Begrippenlijst

SBR-richtlijn

Door de Stichting BouwResearch opgestelde richtlijn om trillingen te beoordelen. De richtlijn bestaat uit 3 delen:

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

VibraDyna

Een door Movares ontwikkeld trillingsmodel dat de trillingen van weg- en railverkeer berekent. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van versie 1.5. Dit model is in het verleden al uitvoerig geverifieerd, zie ook Bijlage I.

$V_{\max}$

Maximaal optredende trillingssterkte gedurende de meetperiode. De trillingssterkte neemt niet toe bij een groter aantal treinen.

$V_{\text{per}}$

Trillingsintensiteit gedurende de dagperiode (7:00 tot 19:00), avondperiode (19:00 tot 23:00) of nachtperiode (23:00 tot 7:00). De trillingsintensiteit is te vergelijken met het tijdsgemiddelde van de trillingen, waarbij hoge trillingssterktes zwaarder meetellen dan lagere trillingssterktes. De trillingsintensiteit neemt toe bij een groter aantal treinen.

## Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>Begrippenlijst</b>	<b>2</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1 Aanleiding	4
1.2 Doel van het onderzoek	4
1.3 Toegepaste kaders en uitgangspunten	4
1.4 Leeswijzer	4
<b>2 Situatiebeschrijving</b>	<b>5</b>
2.1 Studiegebied	5
2.2 Uitgangspunten	5
2.2.1. <i>Uitgangspunten t.b.v. gebruik Valleilijn</i>	6
2.2.2. <i>Uitgangspunten t.b.v. bebouwing</i>	6
2.2.3. <i>Uitgangspunten t.b.v. bodemopbouw</i>	8
<b>3 Beoordelingskader en onderzoeksopzet</b>	<b>9</b>
3.1 Beoordeling trillingshinder	9
3.1.1. <i>Nieuwe of bestaande situatie</i>	9
3.1.2. <i>Periode gedurende de dag</i>	9
3.1.3. <i>Gebouwfunctie</i>	10
3.1.4. <i>Beoordeling in huidige onderzoek</i>	10
3.2 Onderzoek naar trillingshinder	10
<b>4 Resultaten</b>	<b>12</b>
4.1 Inleiding	12
4.2 Trillingssterkte $V_{max}$	12
4.3 Trillingsintensiteit $V_{per}$	13
4.4 Conclusies	14
<b>5 Conclusie en aanbevelingen</b>	<b>16</b>
<b>Colofon</b>	<b>17</b>

**Geen inhoudsopgavegegevens gevonden.**

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De gemeente Ede is bezig met het opstellen van bestemmingsplannen voor de omgeving langs de Valleilijn die dwars door Ede loopt. Er is gevraagd een onderzoek te doen naar trillingshinder in de nabijheid van het spoor voor woningen op staalfundering.

## 1.2 Doel van het onderzoek

Doel van het huidige onderzoek is om de kans op trillingshinder in de geplande woningen in Ede op bepaalde afstand van de Valleilijn te bepalen en, indien nodig, een advies te geven over de maatregelen waarmee trillingshinder voorkomen kan worden.

## 1.3 Toegepaste kaders en uitgangspunten

De SBR-B richtlijn vormt samen met de Bts het beoordelingskader in dit onderzoek. De gemeente Ede heeft zelf geen aanvullende kaders voor trillingen.

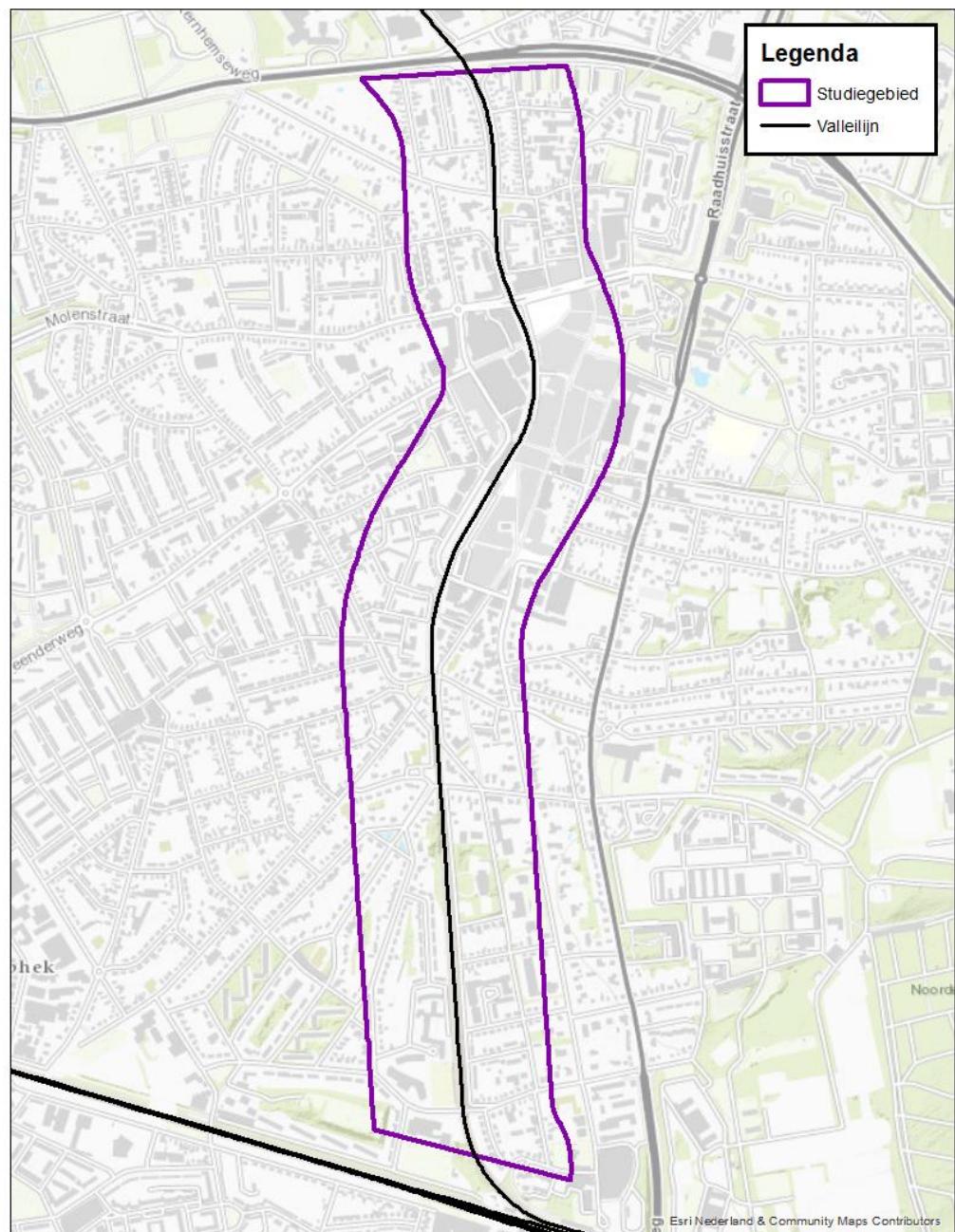
## 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een situatiebeschrijving opgenomen. Hoofdstuk 3 geeft informatie over de opzet van het onderzoek en de gehanteerde beoordelingskaders. Vervolgens worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd in hoofdstuk 4. Als laatste worden conclusies getrokken en aanbevelingen gegeven.

## 2 Situatiebeschrijving

### 2.1 Studiegebied

In dit onderzoek is onderzoek naar trillingshinder langs de Valleilijn in Ede vanaf de Prins Bernhardlaan in het zuiden tot aan de N224 in het noorden. Het voor dit onderzoek gehanteerde studiegebied is weergegeven in Figuur 2-1.



**Figuur 2-1** Het studiegebied beschouwt in dit onderzoek

### 2.2 Uitgangspunten

In het onderzoek zijn een aantal aannames gedaan. Dit zijn aannames omtrent het gebruik van de Valleilijn voor treinverkeer, de opbouw van de bodem en eigenschappen van de toekomstige bebouwing. De gehanteerde aannames worden

hieronder toegelicht.

#### 2.2.1. *Uitgangspunten t.b.v. gebruik Valleilijn*

In dit onderzoek wordt aangenomen dat de Valleilijn alleen gebruikt wordt voor reizigersvervoer. De treindienst op dit traject wordt momenteel uitgevoerd met Protos (zie Figuur 2-2) en Flirt3-materieel dat met een maximale snelheid van 40 km/uur in het onderzoeksgebied rijdt.



**Figuur 2-2 Protos-materieel op Valleilijn**

Bron: wikipedia

Gegevens over de rijsnelheid zijn afkomstig uit het geluidsregister spoor<sup>1</sup>, peiljaar 2018. Voor de treinintensiteiten zijn de waarden gehanteerd zoals weergegeven in Tabel 2-1, op basis van de dienstregeling 2018. Goederentreinen maken geen structureel gebruik van de Valleilijn (alleen in bijsturingssituaties) en zijn daarom in het onderzoek buiten beschouwing gelaten<sup>2</sup>.

**Tabel 2-1 Treinaantallen per uur per richting**

Treintype	Dag (7:00 – 19:00)	Avond (19:00 – 23:00)	Nacht (23:00 – 7:00)
Protos/Flirt3	2.00	2.00	0.75

#### 2.2.2. *Uitgangspunten t.b.v. bebouwing*

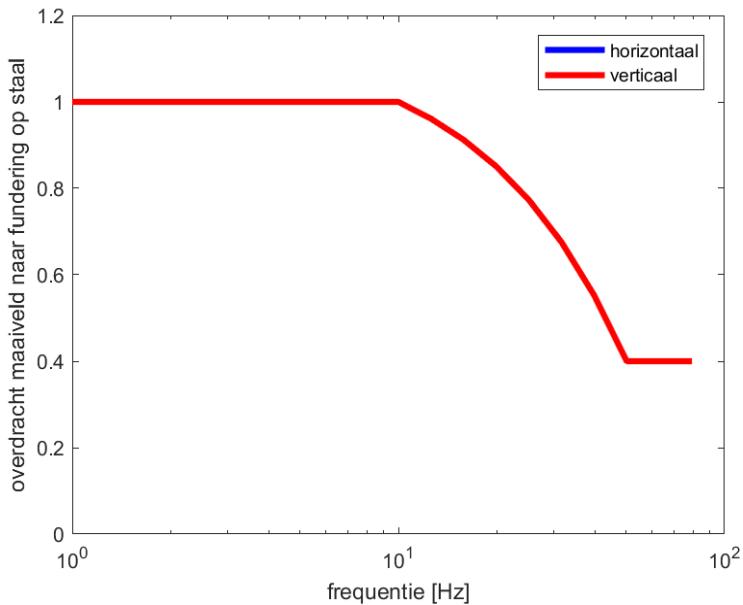
Er worden een aantal aannames gedaan omtrent de toekomstige bebouwing in het studiegebied. Verschillende combinaties van eigenschappen van de bebouwing zullen worden doorgerekend in het rekenmodel VibraDyna.

Een document van VROM geeft indicatieve richtlijnen voor het bepalen van de overdracht van trillingen van maaiveld naar fundering en van fundering naar midden

<sup>1</sup> Het geluidsregister spoor biedt de wettelijke informatie over geluid vanwege spoorverkeer en de bij de bijbehorende berekening gebruikte brongegevens.

<sup>2</sup> Het is gebruikelijk in onderzoeken naar trillingshinder om geen rekening te houden met uitzonderingen op de standaard dienstregeling, tenzij deze uitzonderingen relatief vaak voorkomen (meer dan 12 keer per jaar). Daar is bij de Valleilijn geen sprake van.

vloerveld<sup>3</sup>. Voor een fundering op staal is dezelfde overdracht van maaiveld naar fundering weergeven in Figuur 2-3. Deze theoretische waarden komen goed overeen met praktijkwaarden uit metingen en zijn daarom in dit onderzoek aangehouden.



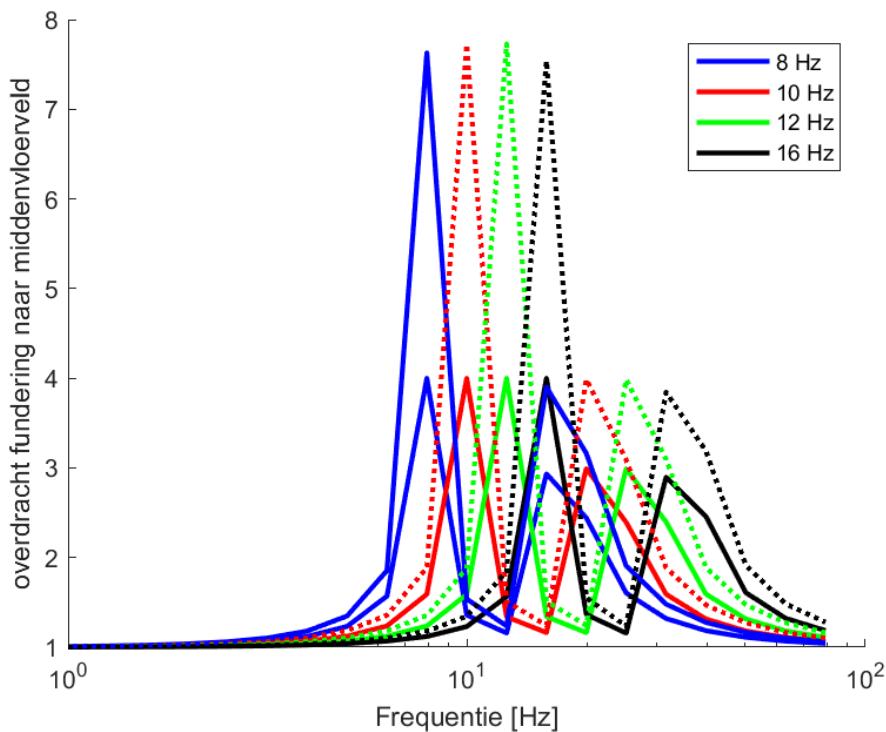
**Figuur 2-3** De gebruikte overdracht van maaiveld naar fundering voor een fundering op staal

De overdracht van fundering naar midden vloerveld is afhankelijk van het type vloer en de eigenfrequentie van de vloer. Het document van VROM geeft voor deze overdrachten een beeld dat niet geheel met praktijkmetingen overeenkomt. De gebruikte overdrachten van fundering naar midden vloerveld in dit onderzoek zijn daarom gebaseerd op een combinatie van de theoretische curves van VROM en daadwerkelijk gemeten overdrachten in gebouwen met vergelijkbare eigenschappen (bouwjaar, bouwhoogte, fundatietype) als de geplande bebouwing.

De gebruikte gemiddelde overdracht (50%-waarde) en bovengrens (95%-waarde) van de overdracht van fundering naar midden vloerveld in verticale richting voor vloeren met een eigenfrequentie van 8 Hz, 10 Hz, 12 Hz en 16 Hz is weergegeven in Figuur 2-4. Dit is de gebruikelijke spreiding voor de eigenfrequentie van vloeren in nieuwbouwwoningen. De piek van de overdracht van fundering naar midden vloerveld ligt op de eigenfrequentie van de vloer. De trillingen in verticale richting nemen over het algemeen niet significant toe met grotere bouwhoogten.

Voor reizigerstreinen zijn verticale trillingen dominant, daarom wordt alleen gekeken naar de trillingen in verticale richting.

<sup>3</sup> Rekenmodel voor de bepaling van trillingssterkte, Ministerie VROM, mei 1995, distributienummer 12462/164.



**Figuur 2-4** Met een doorgetrokken lijn de mediaan en met een gestippelde lijn de 95% waarde voor de overdracht van fundering naar midden vloerveld voor verschillende dominante frequenties van de vloer.

#### 2.2.3. *Uitgangspunten t.b.v. bodemopbouw*

Voor de eigenschappen van de bodem zijn resultaten gebruikt van een meting die is uitgevoerd in Ede voor het project Ede OV-knoop. De meting is uitgevoerd aan de Willem Lodewijklaan. De resultaten van deze meting zijn te vinden in Bijlage II. Uit het bodemonderzoek blijkt dat de bodem in het onderzoeksgebied weinig varieert en het meest overeenkomt met de bodem ter plaatse van de Willem Lodewijklaan. Deze locatie bevindt zich iets ten zuidwesten van het onderzoeksgebied.

### 3 Beoordelingskader en onderzoeksopzet

#### 3.1 Beoordeling trillingshinder

Treinverkeer kan aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot hinder voor omwonenden of schade aan gebouwen. 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, is recentelijk vernieuwd (eind 2017)
- Deel B: hinder voor personen in gebouwen
- Deel C: verstoring van apparatuur

Schade aan gebouwen en verstoring van apparatuur is niet aan de orde in het onderzoeksgebied, gezien het type bebouwing, de afstand tot het spoor en het spoorgebruik. In dit onderzoek is daarom alleen gekeken naar hinder aan personen in gebouwen (SBR B-richtlijn).

Binnen de SBR B-richtlijn voor trillingshinder worden twee grootheden voor toetsing bepaald:

1. De trillingssterkte  $V_{max}$ . Dit is een dimensiooze indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen.
2. De trillingsintensiteit  $V_{per}$ , een dimensiooze indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen.

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.

##### 3.1.1. 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.

##### 3.1.2. 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.

### 3.1.3. 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. Het onderzoek spits zich vooral toe op woningbouw rond het spoor, zie de omkaderde waarden in Tabel 3-1.

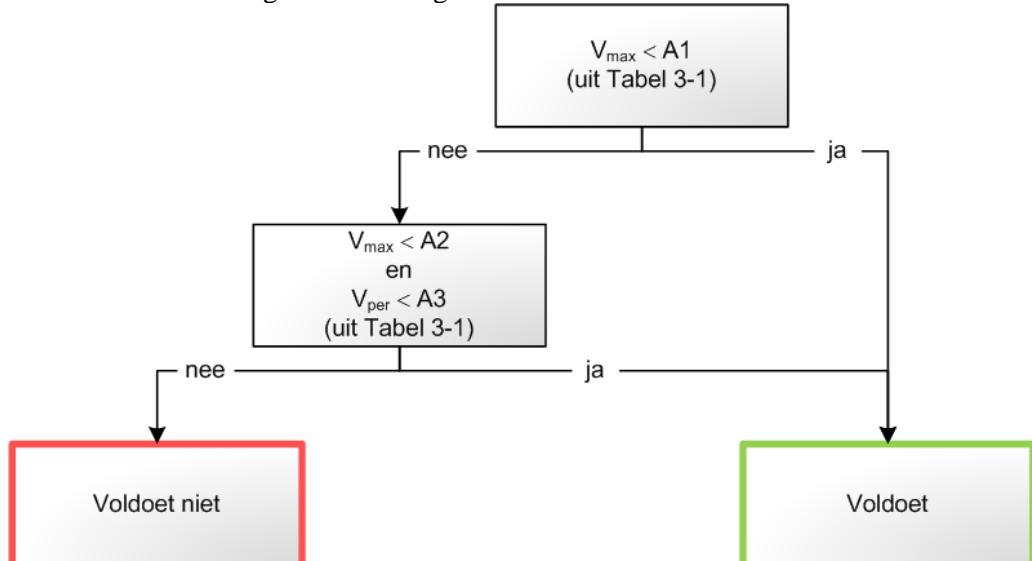
**Tabel 3-1 Streefwaarden nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn**

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

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

### 3.1.4. 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**

### 3.2 Onderzoek naar trillingshinder

Ten behoeve van het onderzoek naar trillingshinder is een onderzoek uitgevoerd met behulp van het rekenmodel VibraDyna<sup>4</sup> op basis van metingen uitgevoerd in het verleden in de nabijheid van het studiegebied. Met dit model kan voor iedere locatie een uitspraak worden gedaan over de kans op het wel of niet overschrijden van de

<sup>4</sup> VibraDyna is een door Movares ontwikkeld rekenmodel, gebaseerd op empirische formules, modelberekeningen en een groot aantal metingen, dat de trillingen van weg- en railverkeer berekent. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van versie 1.5.

streefwaarden uit het beoordelingskader, de SBR B-richtlijn. Een beschrijving van het rekenmodel *VibraDyna* is opgenomen in Bijlage I, de gebruikte meetdata waarmee bijvoorbeeld de uitdemping van de trillingen met de afstand zijn bepaald, zijn opgenomen in Bijlage II.

Om een goede predictie te maken van de trillingssituatie, heeft Movares het rekenmodel *VibraDyna* ontwikkeld op basis van een groot aantal metingen die in geheel Nederland zijn uitgevoerd, aangevuld met gegevens uit modelberekeningen. Met dit model wordt voor het gehele studiegebied de trillingssituatie in beeld gebracht op basis van locatiespecifieke metingen in het onderzoeksgebied. Het model wordt toegepast op een zone van 200 meter aan weerszijden van de sporen. Op grotere afstand tot het spoor is geen significante toename in trillingshinder te verwachten en zijn de trillingssterktes lager dan de streefwaarden. Trillingen zijn op dergelijke grote afstanden doorgaans niet voelbaar.

Met het model worden voor iedere locatie in het studiegebied de trillingssterkte  $V_{max}$  en de trillingsintensiteit  $V_{per}$  bepaald. Door de rekenresultaten te beoordelen op de streefwaarden wordt zichtbaar voor welke locaties er een kans is op overschrijden van het beoordelingskader.

Voor locaties die op basis van de rekenresultaten niet voldoet aan de streefwaarden wordt aangegeven welke maatregelen in de woningen kunnen worden getroffen om alsnog te voldoen aan het beoordelingskader.

## 4 Resultaten

### 4.1 Inleiding

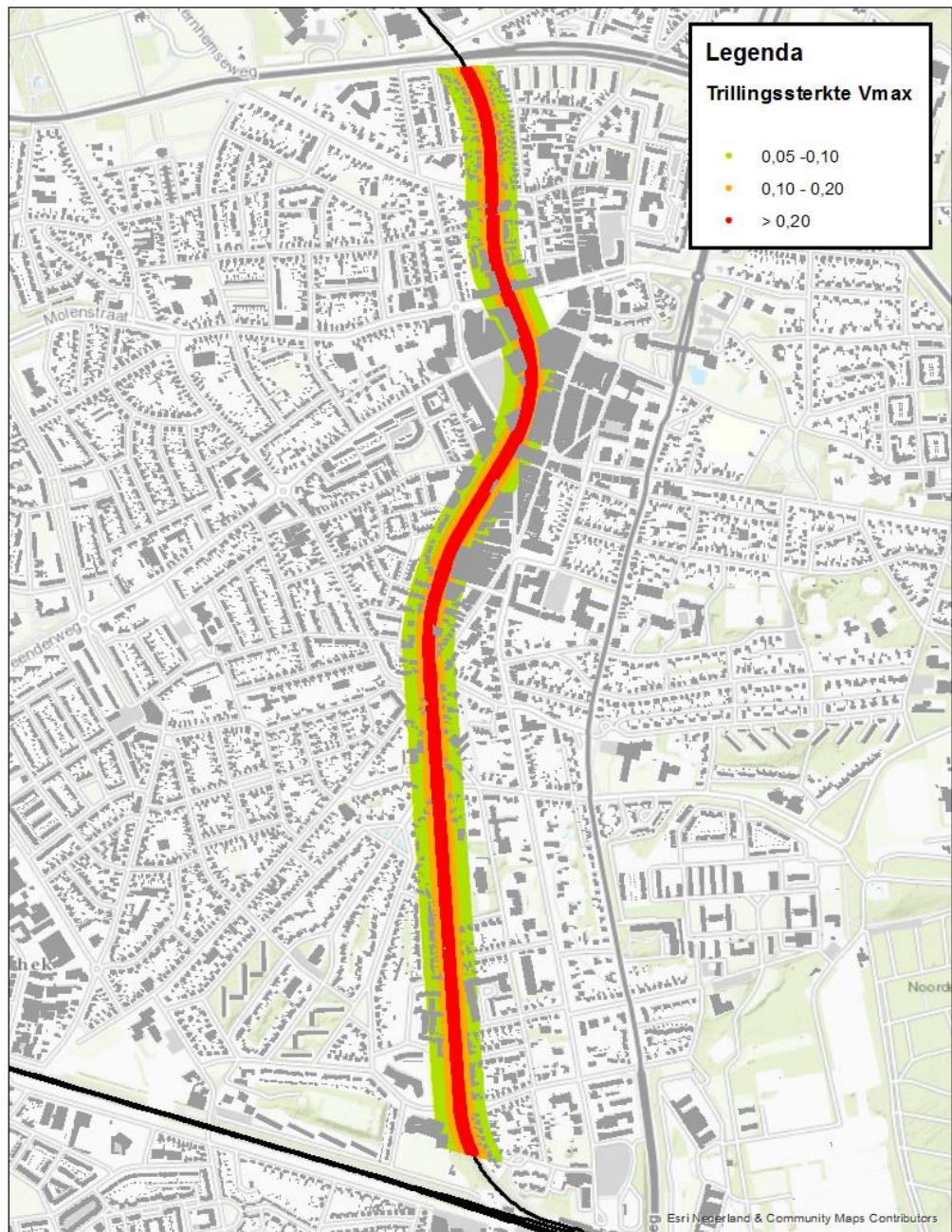
In het onderzoek naar trillingshinder is de trillingssituatie in gebouwen bepaald met een modelberekening in *VibraDyna*. Er is een aantal factoren dat de trillingssterkte in een gebouw beïnvloedt. In het onderzoek worden de volgende gegevens meegenomen:

1. Treinverkeer: spoorligging, spoorgebruik, treintypes, rjsnelheden, treinaantallen, type bovenbouwconstructie en oneffenheden in het spoor (spoorwegovergangen, in het projectgebied liggen geen wissels).
2. Bodem: eigenschappen van de bodem, zoals de terreingeometrie en de bodemdemping, bepaald op basis van maaiveldmetingen bij een vergelijkbare bodem.
3. Gebouwen: eigenschappen van de bebouwing, zoals funderingstype en vloeroverdracht.

De berekening is frequentieafhankelijk uitgevoerd, hiermee wordt een zo nauwkeurig mogelijke predictie verkregen. Uit eerdere onderzoeken blijkt dat het model *VibraDyna* een betrouwbaarheid van 95 procent heeft, wat gebruikelijk is bij trillingsonderzoeken, zie Bijlage I. Dit betekent dat maximaal 5 procent van de gebouwen een hogere trillingssterkte of trillingsintensiteit kent dan het model aangeeft.

### 4.2 Trillingssterkte $V_{max}$

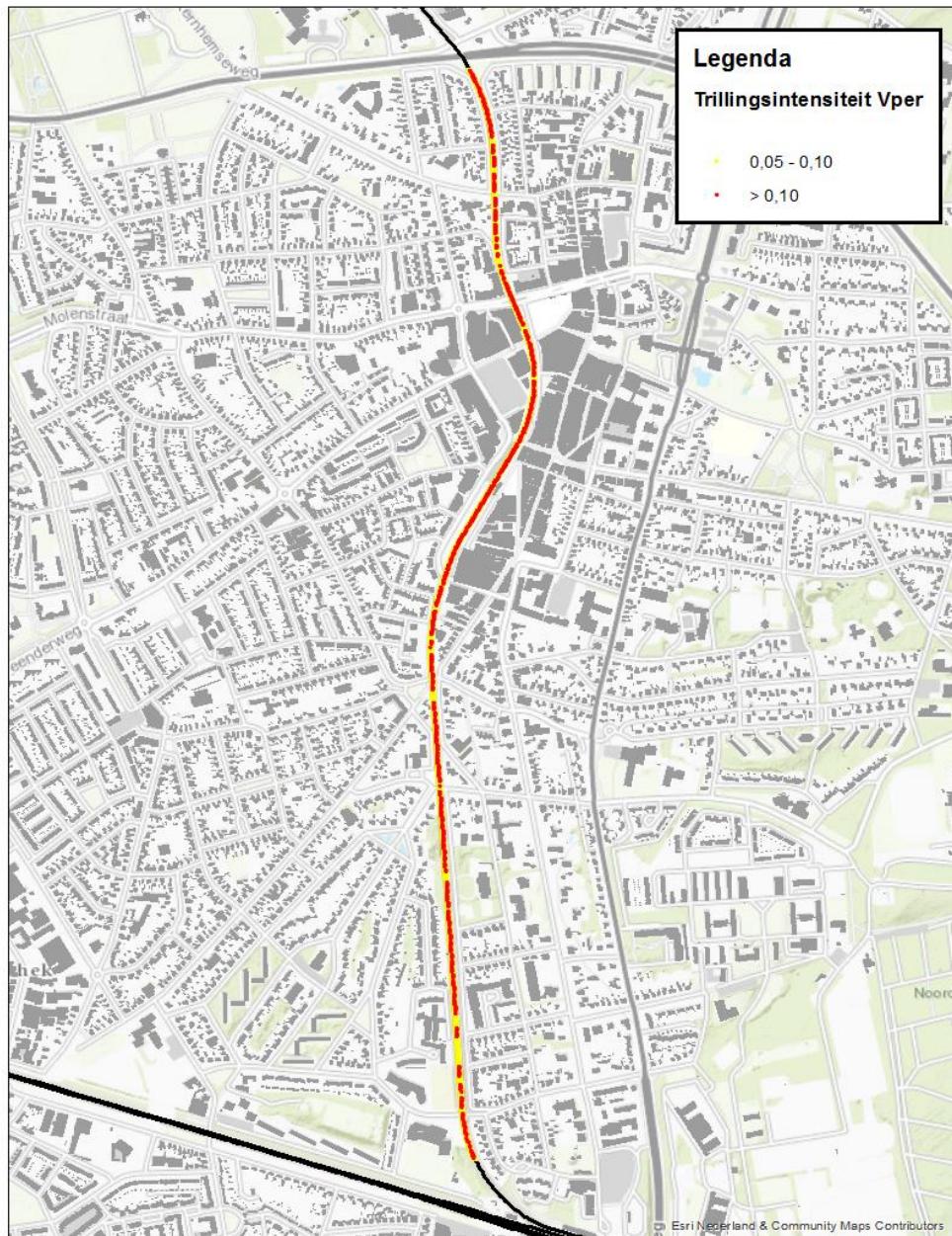
De trillingssterkte  $V_{max}$  (95 procent bovengrens) voor een vloerfrequentie van 16 Hz is weergeven in Figuur 4-1. Vloeren met een eigenfrequentie van 16 Hz zijn maatgevend. Resultaten voor andere vloerfrequenties zijn weergeven in Bijlage III. Hier zijn ook detailkaarten te vinden van de resultaten voor 16 Hz.



**Figuur 4-1** 95%-waarde voor de  $V_{max}$  voor een eigenfrequentie van de vloeren van 16 Hz.

#### 4.3 Trillingsintensiteit $V_{per}$

De resultaten voor de 95%-waarde van de berekening van de trillingsintensiteit  $V_{per}$  met een eigenfrequentie van de vloer van 16 Hz zijn te zien in Figuur 4-2. Lagere eigenfrequenties van de vloer geven lagere waarden voor de  $V_{per}$  en zijn niet weergegeven.



**Figuur 4-2** 95%-waarde voor  $V_{per}$  voor een eigenfrequentie van de vloeren van 16 Hz.

#### 4.4 Conclusies

Op basis van de resultaten kunnen een aantal conclusies getrokken worden:

- Op op een afstand van 10 meter uit het spoor vindt in het onderzoeksgebied nergens een overschrijding plaats van de streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$  (0.2 uit de SBR B-richtlijn).
- Een hogere eigenfrequentie van de vloer zorgt voor hogere trillingsterktes, maar bij de gebruikelijke types vloeren bij nieuwbouwwoningen worden geen overschrijdingen verwacht. Gangbare vloertypes zijn betonnen breedplaat- en kanaalplaatvloeren met overspanningen tussen de 5 en 10 meter zoals gebruikt in moderne woningbouw. Wel wordt geadviseerd rekening te houden met de eigenfrequenties van de vloeren, en deze niet boven de 16 Hz uit te laten komen in de nabijheid van het spoor. Eigenfrequenties boven de 16 Hz kunnen voorkomen

- bij direct op het zand gestorte vloeren. Bij nieuwbouw is het echter niet gebruikelijk om dit type vloeren toe te passen.
- De trillingsintensiteit  $V_{per}$  zorgt in geen van de onderzochte situaties voor overschrijdingen, buiten locaties in het spoor. Dit komt met name door het beperkte aantal treinen dat gebruik maakt van het spoor.
- Op basis van bovenstaande conclusies zijn er geen maatregelen nodig voor woningen met gebruikelijke gebouwenmerken binnen 10 meter van het spoor.

In het onderzoek naar trillingshinder zijn goederentreinen buiten beschouwing gelaten, omdat deze alleen incidenteel (in bijsturingssituaties) gebruik maken van de Valleilijn. Dat betekent dat goederentreinen maximaal enkele keren per jaar gebruik maken van de Valleilijn. Goederentreinen veroorzaken wel hogere trillingen dan reizigerstreinen. Met name bij vloeren met lage eigenfrequenties (houten vloeren of betonnen vloeren met grote overspanningen) kunnen deze trillingen op korte afstand van het spoor wel voelbaar zijn. Omdat het gaat om incidentele situaties, vallen deze buiten het beoordelingskader.

## 5 Conclusie en aanbevelingen

In het voorliggende rapport is een onderzoek uitgevoerd naar trillingshinder door de Valleilijn in Ede op basis van de situatie in 2018.

Uit het onderzoek naar trillingshinder volgt dat er vanaf 10 meter uit het spoor geen overschrijding van het beoordelingskader voor trillingshinder (de SBR B-richtlijn) wordt verwacht. Er is in het onderzoek rekening gehouden met verschillende eigenfrequenties van de vloer. Uit de resultaten blijkt dat hogere eigenfrequenties zorgen voor hogere trillingssterktes, maar dat voor de gebruikelijke types vloeren bij nieuwbouwwoningen geen overschrijdingen worden verwacht. Gangbare vloertypes zijn betonnen breedplaat- en kanaalplaatvloeren met overspanningen tussen de 5 en 10 meter zoals gebruikt in moderne woningbouw. Wel wordt geadviseerd rekening te houden met de eigenfrequenties van de vloeren, en deze niet boven de 16 Hz uit te laten komen in de nabijheid van het spoor. Eigenfrequenties boven de 16 Hz kunnen voorkomen bij direct op het zand gestorte vloeren. Bij nieuwbouw is het echter niet gebruikelijk om dit type vloeren toe te passen.

In het geval van nieuwbouw op afstanden korter dan 10 meter uit het spoor adviseren wij om nader onderzoek te doen, ook omdat dan bijvoorbeeld hinder als gevolg van laagfrequent geluid (afgestraald geluid door trillende wanden en vloeren) kan optreden. Bovendien neemt in dat geval de onzekerheid van de berekende trillingen sterk toe. Het aantal verdiepingen van de nieuwbouw heeft geen significante invloed op de trillingen. De hoogte van gebouwen is met name relevant bij (de laagfrequente) trillingen van goederentreinen, maar deze maken geen structureel gebruik van de Valleilijn.

Bij een afstand vanaf 10 meter uit het spoor zijn geen aanvullende maatregelen nodig.

## Colofon

Opdrachtgever **Gemeente Ede**

Uitgave **Movares Nederland B.V.**

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

**Daalse Kwint**  
**Daalseplein 100**  
**3511SX Utrecht**

**Telefoon +31651625274**

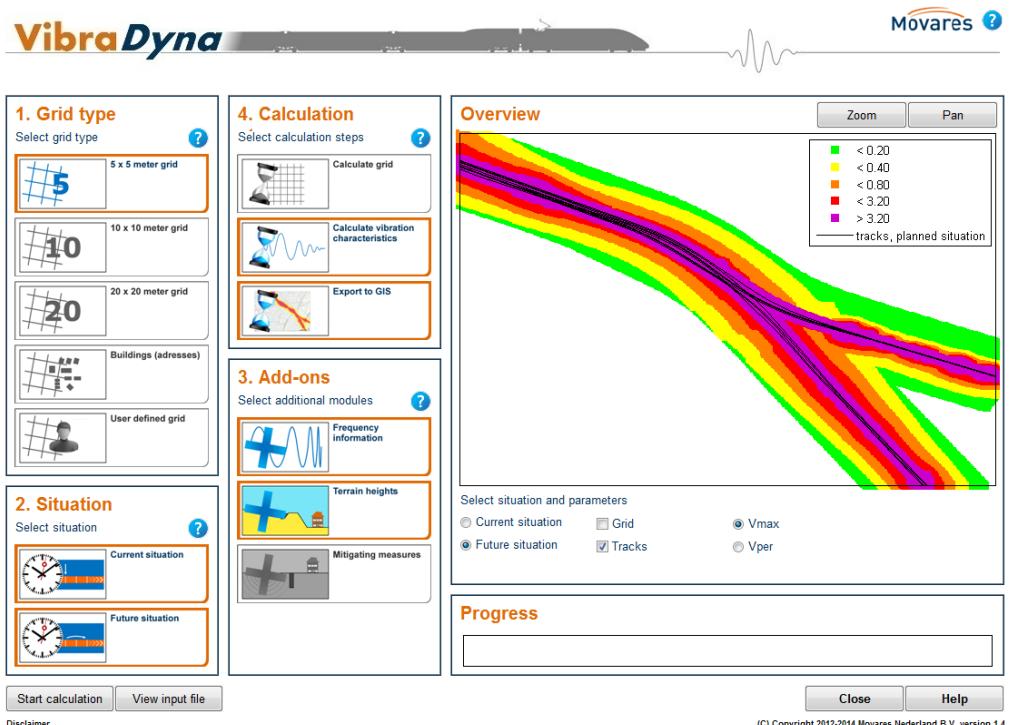
**Ondertekenaar Guido Bastiaens**  
**Adviseur Dynamica**

**Projectnummer RM005811**

**Kenmerk D79-GBA-KA-1800014**

## Bijlage I VibraDyna

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van VibraDyna, een door Movares ontwikkeld trillingsmodel dat met behulp van een database en door de gebruiker geselecteerde specifieke gegevens de trillingssituatie berekend ten gevolge van rail- of wegverkeer, zie Figuur I-1.



**Figuur I-1 VibraDyna**

In het huidige onderzoek is gebruik gemaakt van een nauwkeurige, frequentieafhankelijke berekening op basis van metingen in VibraDyna. VibraDyna kent ook de mogelijkheid om een snelle, globale berekening uit te voeren met een lagere nauwkeurigheid. Deze berekening kan dan gebruikt worden om te bepalen waar metingen ten behoeve van een nauwkeuriger model noodzakelijk zijn. Dit globale model is niet gebruikt in het voorliggende onderzoek gezien het relatief beperkte studiegebied.

Beide types modellen worden hieronder nader toegelicht:

1. Een snelle, globale berekening op basis van expert judgment voor stap 1 van het trillingsonderzoek;
2. Een nauwkeurige berekening op basis van metingen. Dit type onderzoek is gebruikt in de tweede stap van het trillingsonderzoek.

Beide types modellen worden hieronder nader toegelicht.

© 2018, 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 fotokopiëren, opnemen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.*

## **I.1 Globale berekening op basis van expert judgment**

De berekeningen in VibraDyna kunnen aanzienlijk worden versneld en versimpeld door alleen gebruik te maken van de database van het model. Deze database bevat gegevens over de grondopbouw, trillingssterktes, invloed van wissels en kunstwerken en talloze andere aspecten, en is opgebouwd op basis van jarenlange ervaring met metingen langs spoorlijnen en wegen. Alle aannames in het model zijn worst-case (conservatief).

### *I.1.1 In- en uitvoer*

Gebruikers kunnen de volgende parameters variëren:

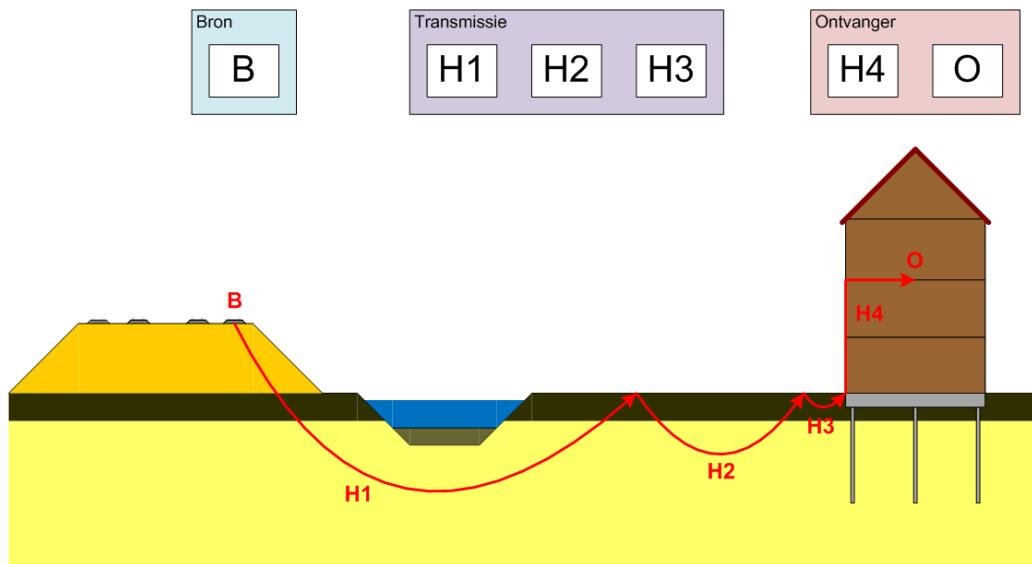
1. Afstand tussen gebouw en spoor;
2. Bodemtype (zand, veen, klei, etc.). Deze gegevens zijn op hoofdlijnen uit archieven beschikbaar;
3. Voertuigtypes;
4. Voertuigsnelheden;
5. Voertuigintensiteiten in dag-, avond- en nachtperiode;
6. Wissels en kunstwerken.

Output van het model is de trillingssterkte en trillingsintensiteit op de door de gebruiker opgegeven locatie(s). Resultaten kunnen worden gevisualiseerd in bijvoorbeeld een GIS-applicatie.

### *I.1.2 Bron, transmissie en ontvanger*

VibraDyna is gebaseerd op de Barkanvergelijking, een empirische vergelijking die de prolongatie van trillingsgolven door de bodem beschrijft. Uit onderzoek blijkt dat deze empirische relatie goed bruikbaar is om de afname van trillingen met de afstand tot een trillingsbron te beschrijven.

In de overdracht van trillingen van bron naar ontvanger wordt onderscheid gemaakt tussen de bron, de transmissie (of overdracht) en de ontvanger. Een voorbeeld van een dwarsdoorsnede van een gebied langs het spoor is weergegeven in Figuur I-2. Bron, transmissie en ontvanger zijn daarin aangegeven.



**Figuur I-2 Transmissie van trillingen**

In de globale berekening worden alle parameters niet-frequentieafhankelijk beschouwd.

#### I.1.3 Database

Er is een aantal bronparameters dat de trillingssterkte beïnvloedt, deze bronparameters kunnen worden onderscheiden in twee categorieën:

1. Treinafhankelijke parameters, zoals treinsnelheid, aslast, afvering en wielruwheid. Deze parameters worden deels ingegeven door de gebruikers, en zijn deels opgenomen in de database van VibraDyna;
2. Baanparameters, zoals oneffenheden in de baan, zetting van de baan en de aanwezigheid van wissels en kunstwerken. Deze parameters zijn opgenomen in de database van VibraDyna.

Parameters uit categorie 1 worden meegenomen door onderscheid te maken tussen verschillende treintypes en door het introduceren van een variatie op de betrouwbaarheid. Parameters uit categorie 2 worden meegenomen als afzonderlijke trillingsbronnen.

#### I.1.4 Berekening

Met behulp van de relaties tussen de treintypes en de Barkanvergelijking wordt de trillingssterkte  $V_{max}$  per treintype bepaald in de referentie- en plansituatie.

De trillingsintensiteit  $V_{per}$  wordt berekend met behulp van de maximale uurintensiteit van de verschillende treintypes. Dit resulteert in een conservatieve inschatting van  $V_{per}$ , aangezien niet alle maximale uurintensiteiten in dezelfde periode (dag, avond of nacht) optreden.

#### I.2 Nauwkeurige berekening op basis van metingen

Voor veel onderzoeken is een grotere precisie van het onderzoek gewenst dan een bepaling op basis van expert judgment, zodat posities van aandachtslocaties beter inzichtelijk kunnen worden gemaakt. In dat geval kan een nauwkeuriger berekening worden uitgevoerd met VibraDyna, waarbij gebruik wordt gemaakt van metingen.

Deze metingen worden door de gebruiker zelf uitgevoerd en als invoer in het model gestopt.

De volgende meetresultaten kunnen worden ingevoerd in het model:

- Trillingsmetingen aan voertuigpassages op maaiveld loodrecht op het spoor of de weg, om de bronsterkte van de verschillende passerende voertuigen te bepalen;
- Valproeven om de afnamecurve van de lokale bodem vast te stellen (de bodemeigenschappen).

Ten opzichte van de globale berekening wordt deze nauwkeuriger berekening frequentieafhankelijk uitgevoerd. Daarnaast wordt rekening gehouden met lokale variaties in taludgeometrie, bodem- en baanopbouw. Daardoor heeft dit type model een grotere betrouwbaarheid.

#### *1.2.1 Frequentieafhankelijkheid*

In het nauwkeurige model wordt gerekend met zogenaamde tertbandspectra van trillingssignalen van treinen. Uit een groot aantal onderzoeken blijkt dat de tertbandspectra van treinen, mits genormaliseerd voor snelheid, per treintype weinig variatie kennen. De beperkte variatie die er is wordt vooral veroorzaakt door de wielruwheid en aslast.

Ook een groot aantal andere invloeden is frequentieafhankelijk. Te denken valt aan de invloed van wissels, geometriewijzigingen, de eigenschappen van gebouwen of de demping van de bodem, bepaald uit valproefmetingen. Door deze invloeden frequentieafhankelijk in het model in te voeren, wordt de nauwkeurigheid van het trillingsmodel vergroot ten opzichte van het werken met scalaire grootheden.

*VibraDyna* bevat een database met honderden metingen. Uit deze database kiest het rekenmodel op basis van de gebouweigenschappen (bouwjaar, afmetingen, bouwstijl) bijvoorbeeld de meest passende trillingsoverdracht. Ook de verhouding tussen de gemeten trillingen van reizigerstreinen en bijvoorbeeld die van goederentreinen is afkomstig uit deze database.

#### *1.2.2 Relatie tussen tertbandspectrum en $v_{eff}$*

De trillingssterkte  $v_{eff}$  is een gewogen voortschrijdend gemiddelde, dat gecorrigeerd is voor frequenties. Deze grootheid wordt gebruikt om de trillingssterkte  $V_{max}$  te bepalen, die vervolgens getoetst wordt aan het beoordelingskader.

Er is een verhouding tussen de  $v_{rms}$ -waarde van het trillingssignaal en de trillingssterkte  $v_{eff}$ . Deze verhouding is van belang omdat het model rekent met tertbandspectra, maar toetsing plaatsvindt op basis van de trillingssterkte  $V_{max}$ , die wordt bepaald uit de gehele verzameling van gemeten  $v_{eff}$ -waarden voor alle treinen.

De  $v_{rms}$ -waarde kan worden bepaald uit het tertbandspectrum door energetisch te sommeren over de frequenties, na het toepassen van de correctie uit de SBR B-richtlijn:

$$v_{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^N F_c(f) \cdot v_i(f)^2}$$

Hierbij is  $v_i(f)$  het tertsbandspectrum en  $F_c(f)$  de correctiefactor van de SBR B-richtlijn. De waarde van  $v_{rms}$  kan niet één op één vertaald worden naar de waarde van  $v_{eff}$ . De omrekening vindt daarom plaats via een statistische verdeling die uit een groot aantal metingen is bepaald.

### 1.2.3 Berekening

De berekening in VibraDyna vindt plaats volgens een aantal stappen. Met behulp van de relaties tussen de treintypen en een frequentieafhankelijke Barkanvergelijking wordt de trillingssterkte  $V_{max}$  bepaald voor de referentie- en plansituatie.

De trillingsintensiteit  $V_{per}$  wordt op analoge wijze als in stap 1 berekend.

### 1.3 Betrouwbaarheid van VibraDyna

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van trillingsmodellen in plaats van metingen in gebouwen. Het gebruik van trillingsmodellen in plaats van het uitvoeren van metingen heeft een aantal voordelen:

- Het maakt het mogelijk om sneller een goede prognose te geven van de trillingssterkte;
- Het maakt het mogelijk om een groter aantal verschillende locaties te beschouwen. Het uitvoeren van metingen op een groot aantal locaties is zowel tijdrovend als kostbaar en kan bij het gebruik van een trillingsmodel achterwege blijven.

Nadeel van het gebruik van modellen is dat een model slechts een *benadering* van de werkelijkheid is. Zo kunnen gebouwen met een ongunstige overdrachtskarakteristiek (tussen maaiveld en de bewoonde vloeren) afwijken van de gemiddelde prognoses die het model hanteert. Om er toch voor te zorgen dat de modellen zo betrouwbaar mogelijk zijn, is de volgende aanpak gehanteerd:

1. Modelparameters zijn bepaald op basis van een groot aantal metingen in een groot aantal gebouwen door het gehele land, over langere tijd. De beoordeling van de trillingssterkte vindt plaats op basis van een bovengrens die statistisch wordt bepaald. Hierdoor is het percentage gebouwen waar in werkelijkheid een hogere trillingssterkte wordt gemeten, zeer klein. Bij het nauwkeurige model is het mogelijk om gebouweigenschappen toe te voegen, zodat de invloed van sterk afwijkende bebouwing sterk wordt gereduceerd;
2. Het model is uitvoerig geverifieerd in eerdere onderzoeken met behulp van metingen in gebouwen. Uit deze verificatiemetingen volgt dat het gebruikte model een hoge betrouwbaarheid heeft, zie onder meer de trillingsonderzoeken ten behoeve van de Tracébesluiten *Sporen in Arnhem*<sup>5</sup>, *Sporen in Utrecht*<sup>6</sup> en *Doorstroomstation Utrecht*<sup>7</sup>;
3. In de beoordeling van de modelresultaten worden drie categorieën onderscheiden:
  - a. Gebouwen die voldoen aan het beoordelingskader;
  - b. Gebouwen die wel voldoen aan het beoordelingskader, maar waarbij nog een kans op een overschrijding is;
  - c. Gebouwen die niet voldoen aan het beoordelingskader.

<sup>5</sup> Boon, ir. P.M., *Sporen in Arnhem, Trillingsonderzoek t.b.v. Tracébesluit*, Movares Nederland B.V., D79-PBO-KA1400006, 31 maart 2014, versie 1.0

<sup>6</sup> Boon, ir. P.M., *Sporen in Utrecht, Trillingsonderzoek t.b.v. Tracébesluit*, Movares Nederland B.V., D79-PBO-KA1400005, 31 maart 2014, versie 1.0

<sup>7</sup> Boon, ir. P.M., *Doorstroomstation Utrecht (DSSU), Trillingsonderzoek*, Movares Nederland B.V., OND-ET-CON-TR-RAP-100, 4 juni 2015, versie 3.0

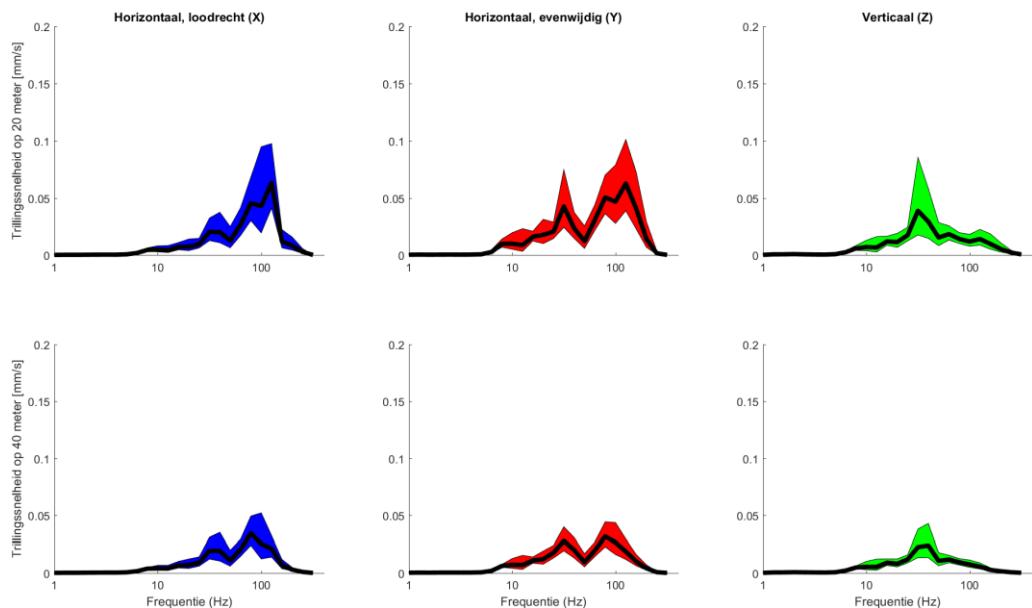
Locaties waarvan niet zeker is dat ze voldoen aan het beoordelingskader, komen voor nader onderzoek in aanmerking. Door deze conservatieve manier van beoordeling worden alle locaties (extreme uitschieters uitgezonderd) waar een mogelijke overschrijding is van het beoordelingskader, net zo lang onderzocht totdat duidelijk is dat er geen overschrijdingen zullen optreden. Wanneer in stap 3 van het onderzoek blijkt dat er desondanks overschrijdingen zijn van het beoordelingskader, dan worden in stap 4 maatregelen ontworpen om de locatie alsnog te laten voldoen aan de streefwaarden.

De maximale trillingssterkte en trillingsintensiteit wordt door VibraDyna met een betrouwbaarheid van 95 procent bepaald door het model. Dit is een gebruikelijke betrouwbaarheid bij onderzoeken naar trillingshinder.

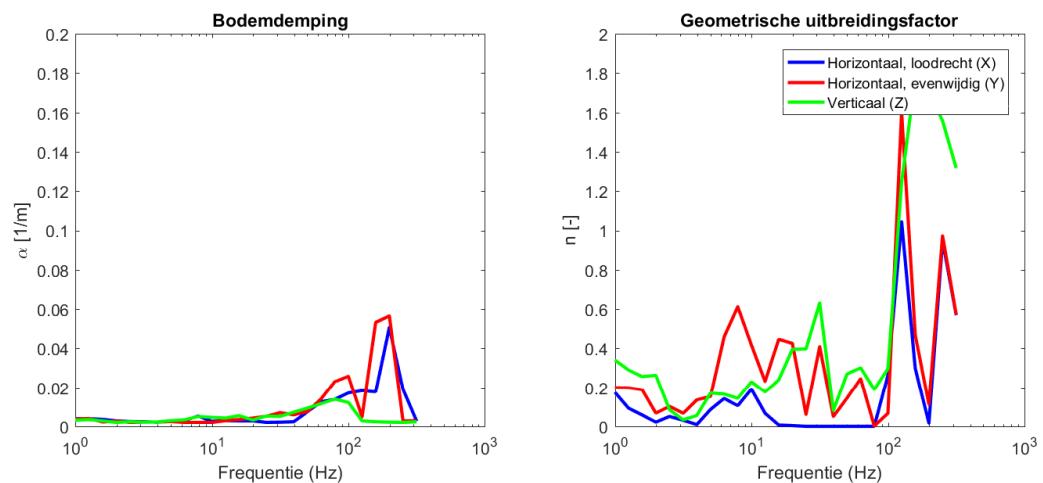
## Bijlage II Resultaten bodemonderzoek en maaiveldmetingen

### II.1 Resultaten maaiveldmeting

Voor de bodemparameters is gebruik gemaakt van de meetresultaten aan de Willem Lodewijklaan voor het project Ede OV-knoop. De gebruikte resultaten zijn te zien in Figuur II - 1 en Figuur II - 2.



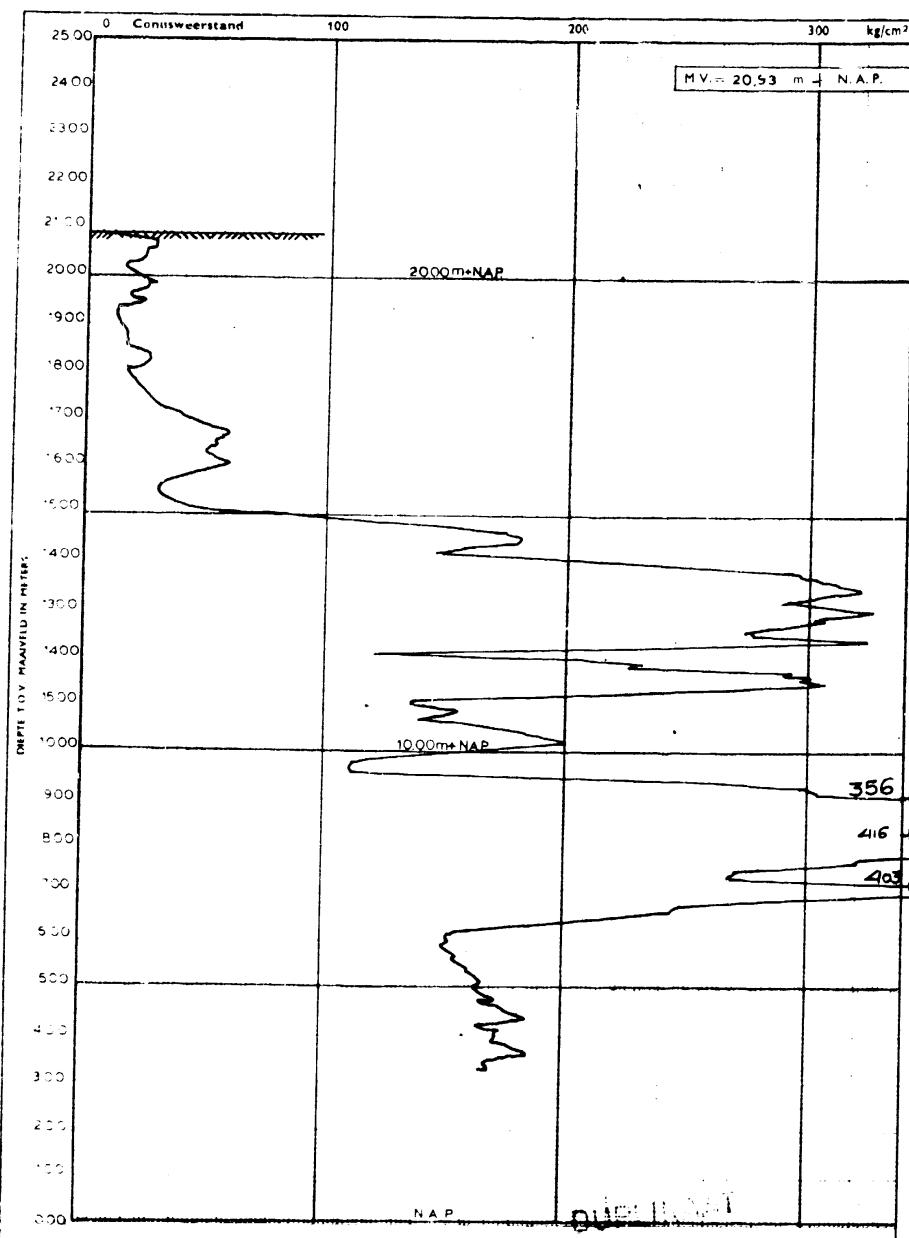
**Figuur II - 1** Trillingspectrum op 20 en 40 meter afstand voor een VIRM volgend uit de meetresultaten voor de Willem Lodewijklaan



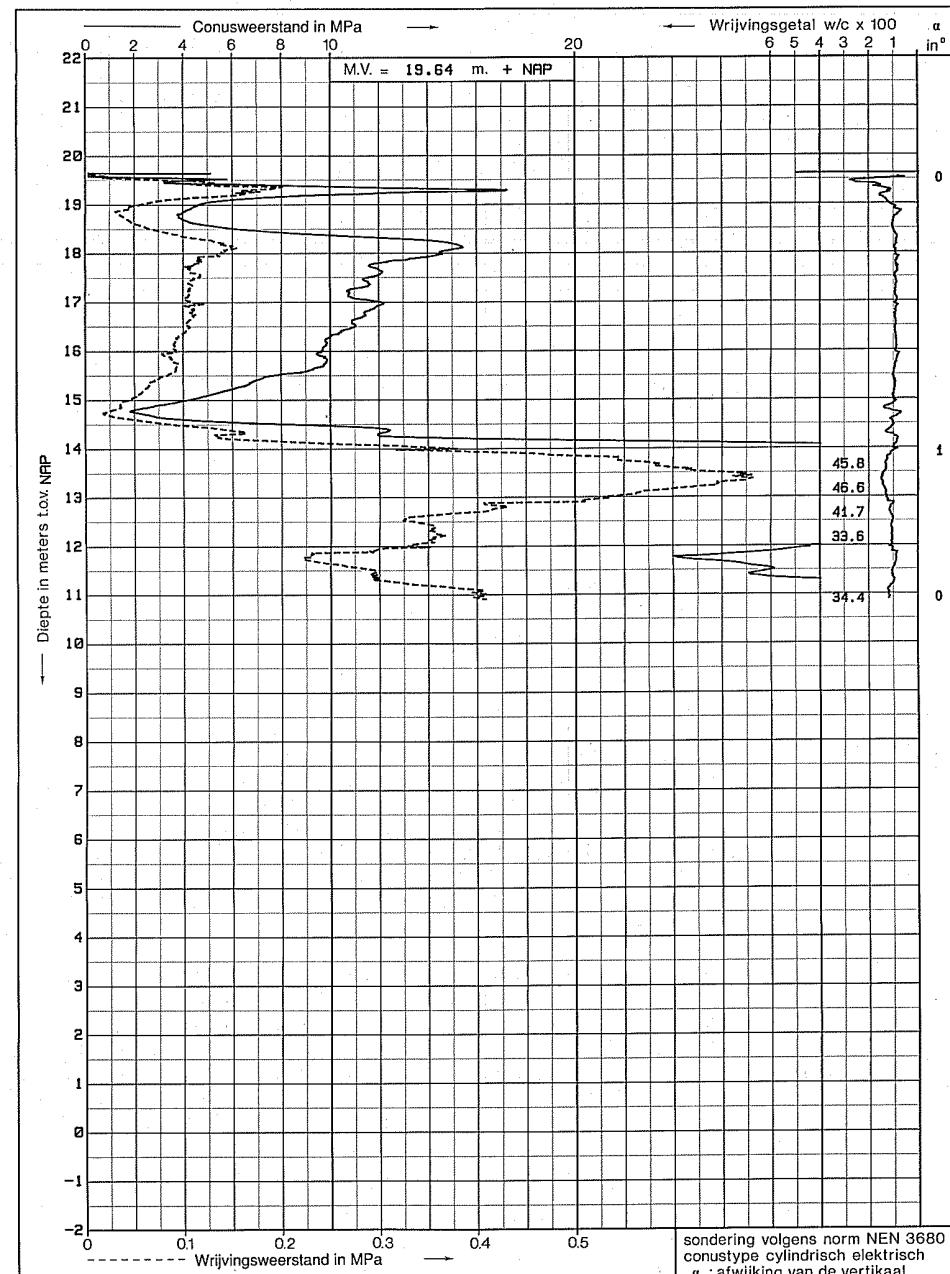
**Figuur II - 2** Bodemdemping en geometrische uitbreidingsfactor volgend uit de meetresultaten voor de Willem Lodewijklaan

## II.2 Bodemonderzoek

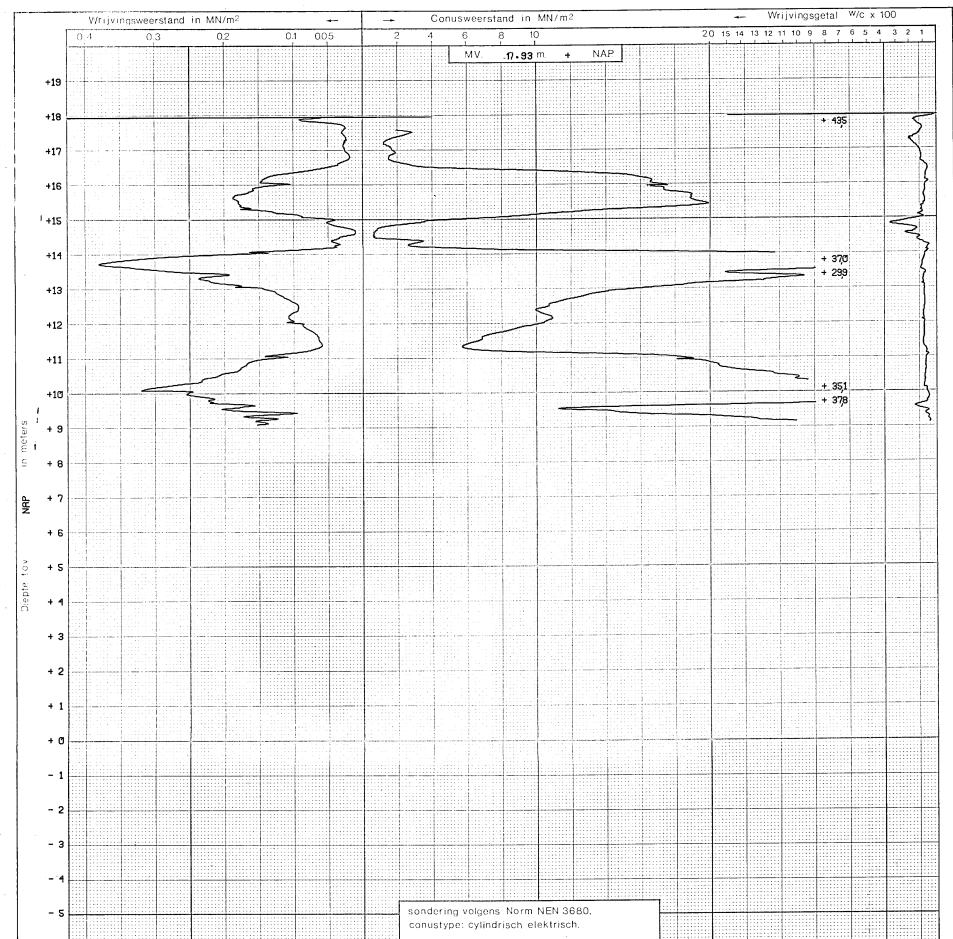
In dit onderzoek is gebruik gemaakt van sonderingen. Er is weinig variatie tussen de sonderingen, zie Figuur II - 3 tot en met Figuur II - 5.



Figuur II - 3 Gebruikte sondering ter hoogte van de Maanderweg



**Figuur II - 4** Gebruikte sondering ter hoogte van de Molenstraat



**Figuur II - 5 Gebruikte sondering ter hoogte van de Louise Henriettelaan**

## Bijlage III Resultaten berekeningen

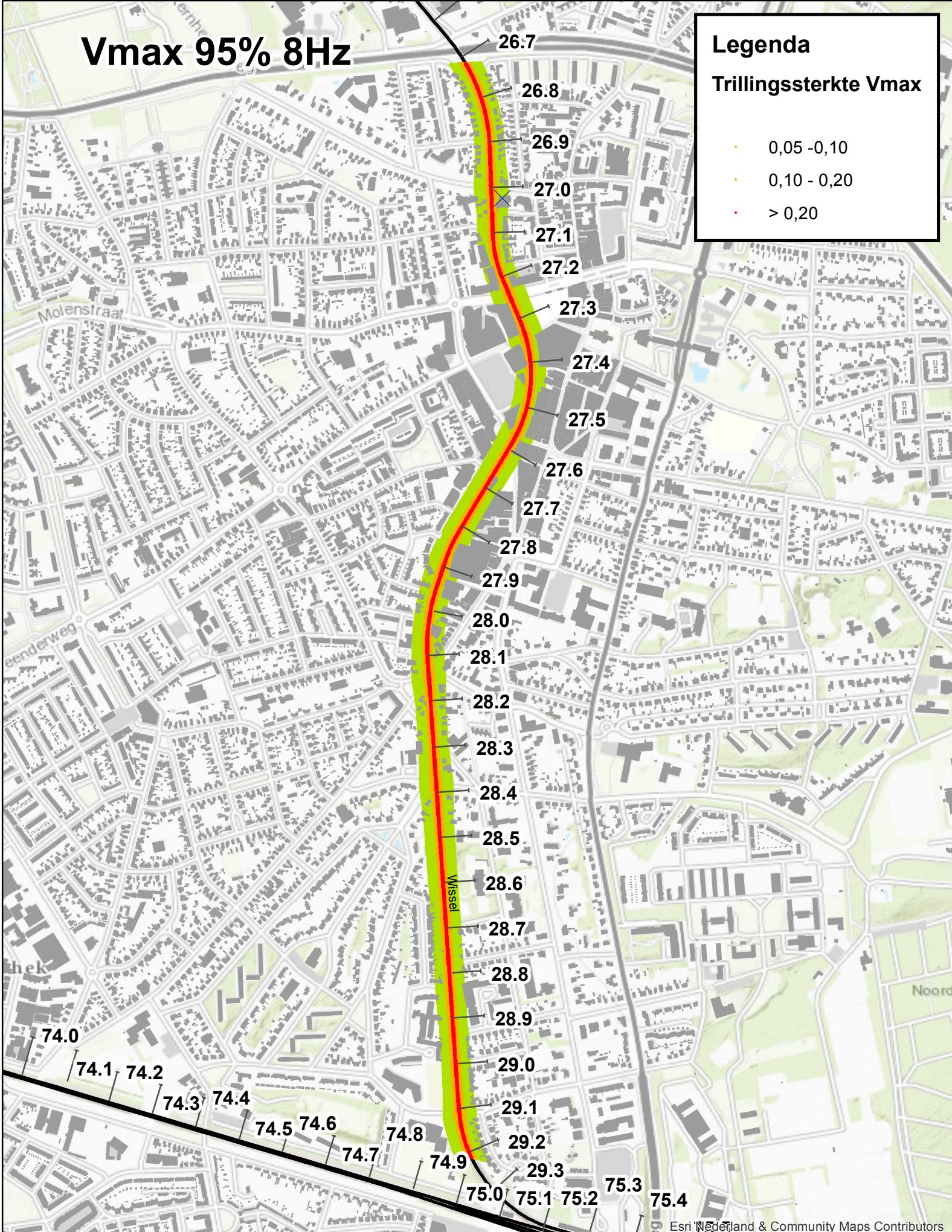
In deze bijlage worden de resultaten gegeven voor de bovengrens van de trillingssterkte  $V_{max}$  (95%-waarde) bij vloerfrequenties van 8, 10 en 12 Hz. Verder worden detailkaarten gegeven voor de resultaten van de 95%-waarde van de  $V_{max}$  berekening met een vloerfrequentie van 16 Hz aangezien deze vloerfrequentie maatgevend is.

# Vmax 95% 8Hz

## Legenda

### Trillingssterkte Vmax

- 0,05 - 0,10
- 0,10 - 0,20
- > 0,20

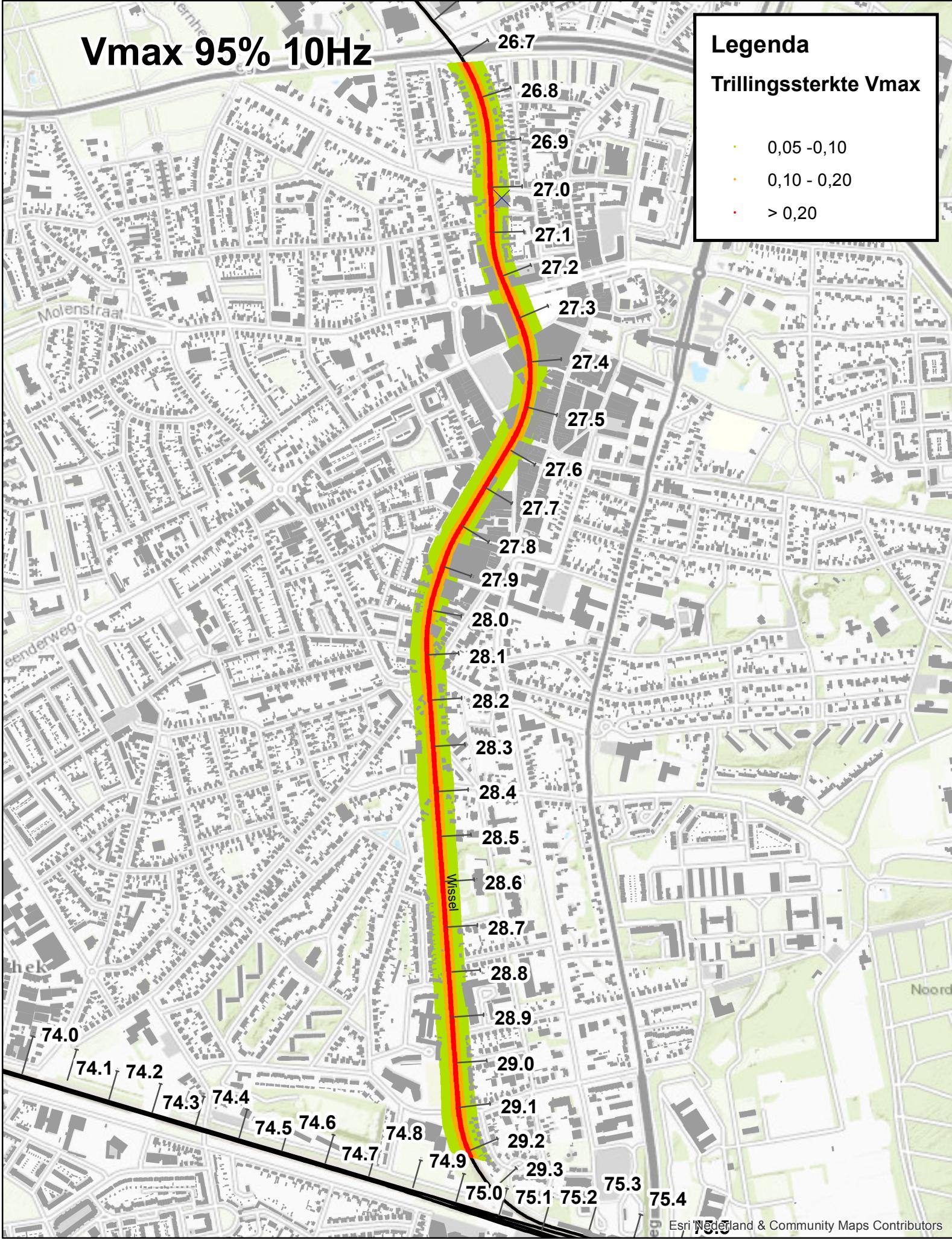


# Vmax 95% 10Hz

## Legenda

### Trillingssterkte Vmax

- 0,05 - 0,10
- 0,10 - 0,20
- > 0,20



**Vmax 95% 12,6Hz**

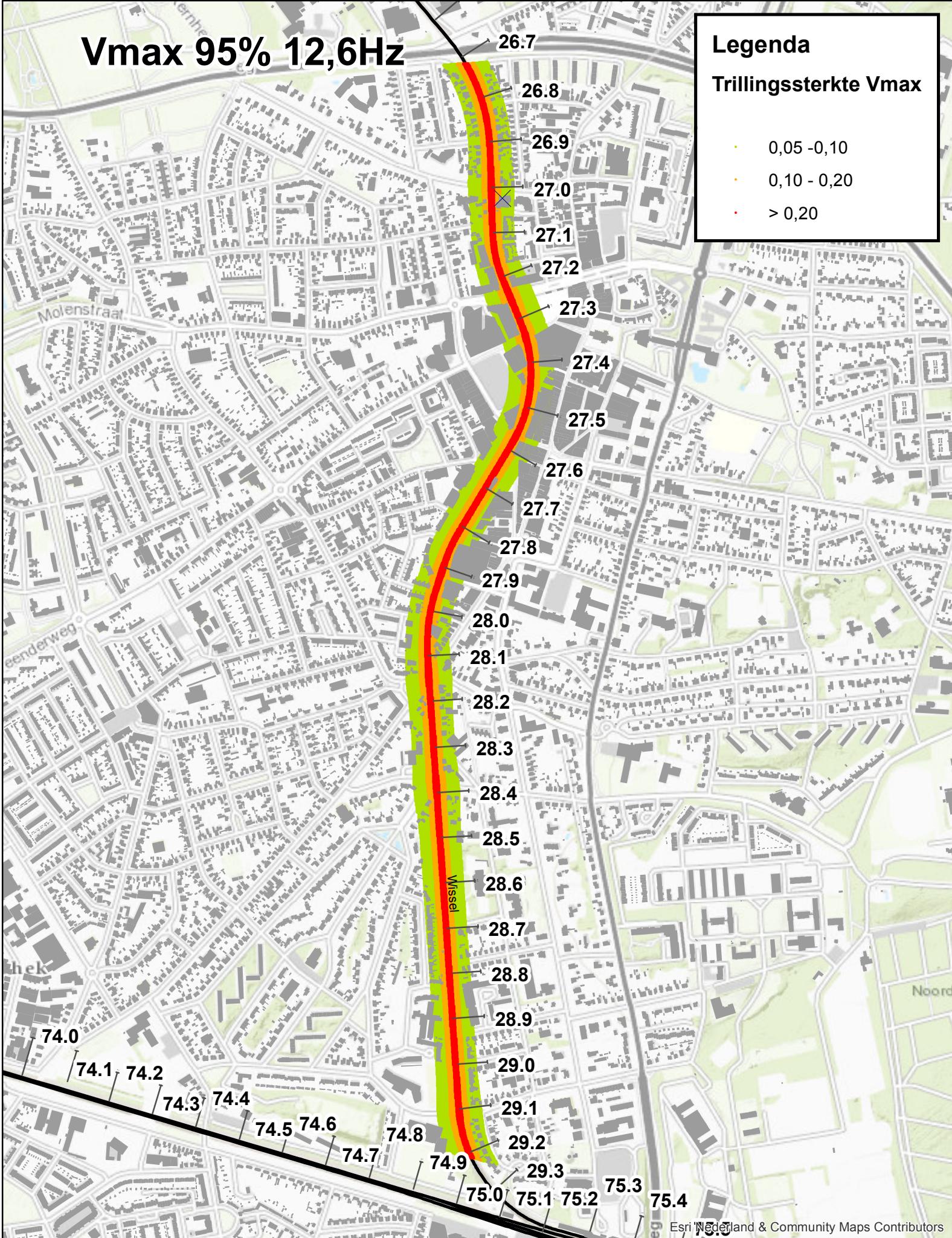
**Legenda**

**Trillingssterkte Vmax**

0,05 - 0,10

0,10 - 0,20

> 0,20

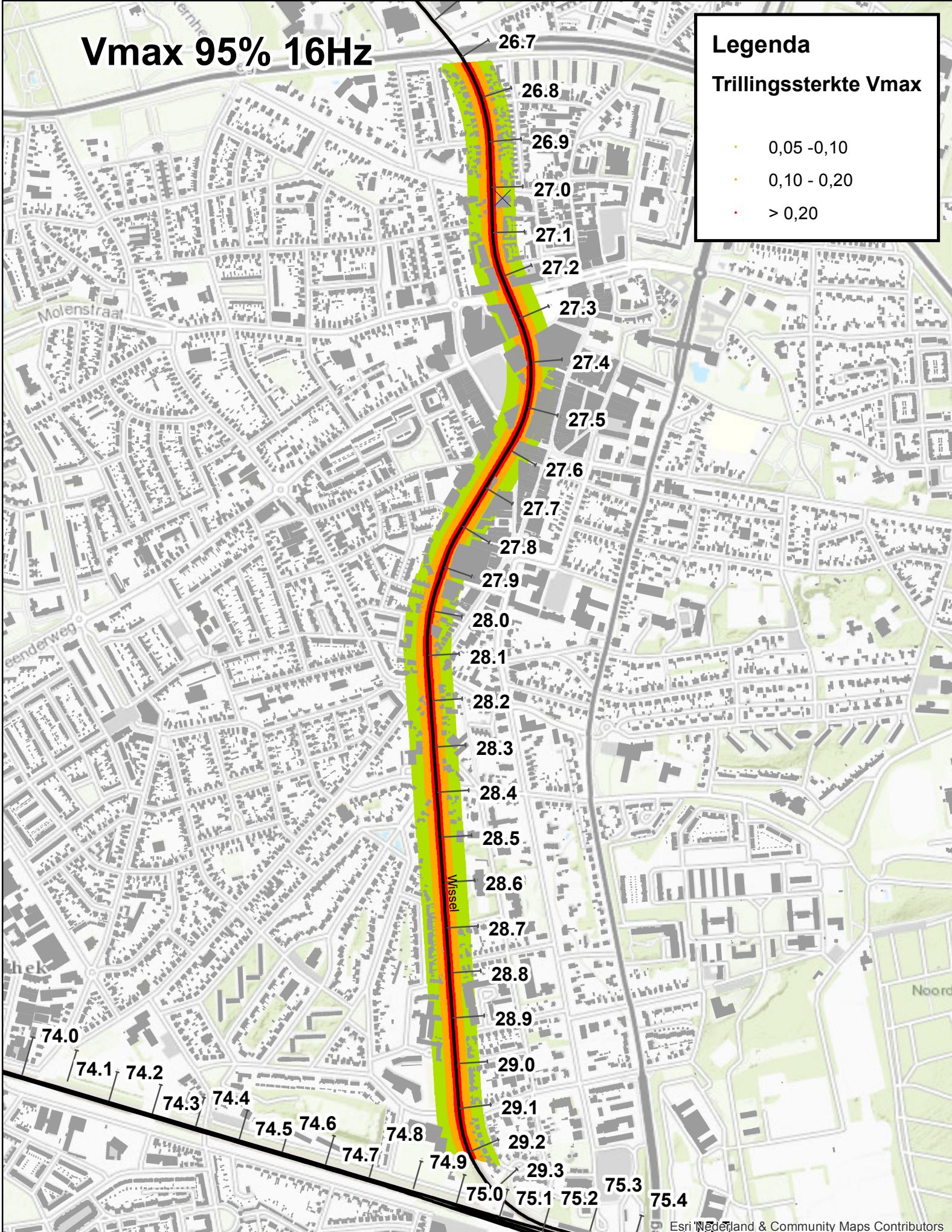


# Vmax 95% 16Hz

## Legenda

### Trillingssterkte Vmax

- 0,05 - 0,10
- 0,10 - 0,20
- > 0,20



# Noord - Vmax 95% 16Hz

## Legenda

### Trillingssterkte Vmax

- 0,05 - 0,10
- 0,10 - 0,20
- > 0,20

26.7

26.8

26.9

27.0

27.1

27.2

27.3

27.4

# Midden Noord - Vmax 95% 16Hz

## Legenda

### Trillingssterkte Vmax

- 0,05 - 0,10
- 0,10 - 0,20
- > 0,20

27.1

27.2

27.3

27.4

27.5

27.6

27.7

27.8

27.9

Wessel

# Midden - Vmax 95% 16Hz

## Legenda

### Trillingssterkte Vmax

- 0,05 - 0,10
- 0,10 - 0,20
- > 0,20

Wissel

27.7

27.8

27.9

28.0

28.1

28.2

28.3

28.4

# Midden Zuid - Vmax 95% 16Hz

## Legenda

### Trillingssterkte Vmax

- 0,05 - 0,10
- 0,10 - 0,20
- > 0,20

28.1

28.2

28.3

28.4

28.5

28.6

28.7

28.8

28.9

Wissel

# Zuid - Vmax 95% 16Hz

## Legenda

### Trillingssterkte Vmax

- 0,05 - 0,10
- 0,10 - 0,20
- > 0,20

