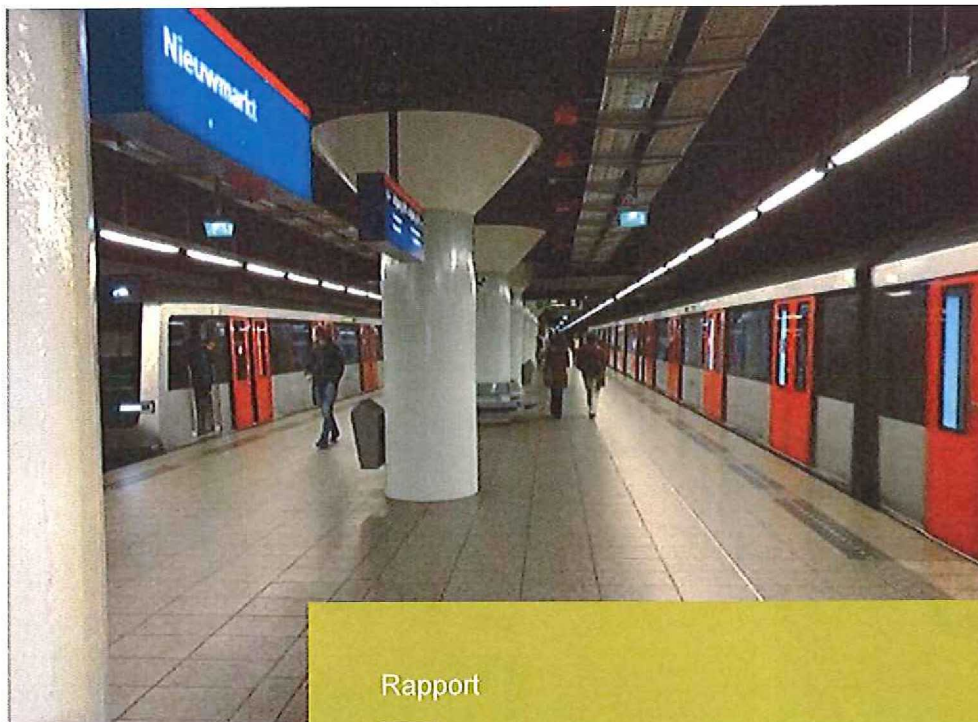


**M+P** | Onderdeel van  
Müller-BBM groep  
*Mensen met oplossingen*



Rapport

## Resultaten voertuiggebonden metingen rond station Nieuwmarkt

## Colofon

Opdrachtnemer	M+P raadgevende ingenieurs BV
Opdrachtgever	Gemeente Amsterdam Dienst Metro Postbus 2181 1000 CD Amsterdam
Opdrachtnummer	MET39430760
Titel	Resultaten voertuiggebonden metingen rond station Nieuwmarkt
Rapportnummer	M+P.GADM.19.01.1
Revisie	0
Datum	6 september 2019
Aantal pagina's	15
Auteurs	ir. Wout Schwanen ir. Edwin Nieuwenhuizen
Contactpersoon	ir. Wout Schwanen   073-6589050   <a href="mailto:vught@mp.nl">vught@mp.nl</a>
M+P	Wolfskamerweg 47   5262 ES Vught Visserstraat 50   1431 GJ Aalsmeer  <a href="http://www.mp.nl">www.mp.nl</a>   onderdeel van de Müller-BBM groep   Lid NLI ingenieurs   ISO 9001 gecertificeerd
Copyright	© M+P raadgevende ingenieurs BV   Niets van deze rapportage mag worden gebruikt voor andere doeleinden dan is overeengekomen tussen de opdrachtgever en M+P (DNR 2011 Artikel 46).

## Inhoud

1.	Inleiding	4
1.1	Achtergrond	4
1.2	Vraagstelling	4
1.3	Onze aanpak	5
2.	Meetprotocol	6
2.1	Voertuiggebonden metingen	6
2.1.1	Instrumentatie metro	6
2.1.2	Meetritten	7
2.2	Metingen op de tunnelwand	7
3.	Resultaten	9
3.1	Metingen op de tunnelwand	9
3.2	Voertuig gebonden metingen	10
3.2.1	Resultaten metingen	10
3.2.2	Effect rij snelheid	10
3.2.3	Invloed van de rijrichting	12
4.	Conclusie en aanbevelingen	14
Bijlage		15
-	Kernpunten	
-	Advies en vervolgaanpak	

# 1. Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Sinds eind 2012 klaagt een deel van de bewoners van de Nieuwmarktbuurt in Amsterdam over toenemend laagfrequent geluid van de ondergrondse metrolijn, de Oostlijn. De klachten komen uit de omgeving van het station Nieuwmarkt. Om tot een oplossing van het probleem te komen, is vanaf 2013 door verschillende partijen onderzoek verricht. Naar aanleiding van deze onderzoeken zijn geluids- en trillings-reducerende maatregelen getroffen. Zo is aan de bronzijde getracht om de overgangen bij ES lassen te verbeteren en is het spoor geslepen. In het Pentagongebouw zijn maatregelen getroffen om de transmissie van trillingen te beperken. Hierbij zijn contactbruggen (bestrating tegen de gevel en slechte trillingsdempers) verbroken. De genoemde bron- en overdrachtsmaatregelen hebben niet geleid tot het volledig oplossen van de overlast.

Vanaf eind 2017 heeft de ombudsman onderzoek gedaan naar de overlast die wordt ondervonden. Het onderzoek heeft betrekking op alle adressen die boven of in de directe nabijheid van de tunnel zijn gesitueerd. Aan de bewoners van deze adressen is gevraagd om de overlast nauwkeurig te registreren.

Uit het onderzoek is gebleken dat de hinder zich concentreert rond de locatie Pentagon. Hier wordt op acht adressen zeer regelmatig overlast ervaren. Deze hotspot bevindt zich nabij de zuidelijke toegang van station Nieuwmarkt. Een tweede gebied waar geregeld hinder wordt ondervonden is de Rechtboomsloot, gelegen nabij de noordelijke toegang van station Nieuwmarkt. Hier geven bewoners van vier adressen aan regelmatig overlast te ervaren. Op andere locaties boven de tunnel zijn geen klachten geregistreerd.

Naar aanleiding van de bevindingen van de Ombudsman heeft de Directie Metro & Tram in afstemming met de Ombudsman opdracht gegeven tot het doen van metingen in de metrotunnel. Dit heeft geleid tot het rapport: Trillingsproblematiek Oostlijn in Amsterdam (10 maart 2019). Een belangrijke constatering toen was dat het trillingsniveau in de tunnelwand ter plaatse van de toegang bij station Nieuwmarkt Zuid meer dan 10 dB hoger is dan eerder gemeten in 1980. Het trillingsniveau aldaar is ook duidelijk hoger dan op andere locaties, bijvoorbeeld bij Nieuwmarkt Noord.

Lokaal is dus sprake van toegenomen excitatie van spoortrillingen. Het gaat vooral om een piek bij 80 Hz die optreedt bij passages van M2/3 en M5 materieel. Sinds 2015 is geprobeerd om dit probleem te verhelpen. Na inspectie door o.a. GVB is een ES las aangewezen als meest waarschijnlijke oorzaak van het toegenomen trillingsniveau. GVB heeft de ES lassen tot tweemaal toe aangepast. Deze aanpassingen hebben niet geleid tot het gewenste resultaat.

## 1.2 Vraagstelling

M+P heeft in een vorige studie in januari 2019 onderzoek gedaan naar de mogelijke oorzaken van de toegenomen trillingsniveaus. M+P heeft hierbij gebruik gemaakt van meetresultaten uit 1980, 2014 en 2017. Het resultaat van deze studie is de hypothese

dat een impact in verticale richting zorgt voor de verhoogde trillingsniveaus. Door deze impact wordt op spoor 1 bij het metromaterieel mogelijk de P2 resonantie, bij een frequentie van circa 80 Hz, opgewekt.

U heeft M+P gevraagd deze hypothese te toetsen.

### **1.3 Onze aanpak**

We gebruiken trillingsmetingen op een rijdende metro om deze hypothese te toetsen. Hierbij worden op twee draaistellen aan beide zijden van het voertuig de trillingen in verticale richting gemeten. Resultaat van deze metingen is het trillingsniveau als functie van de positie op de baan. Op deze manier kunnen we dus exact vaststellen waar en wanneer de trilling bij 80 Hz wordt opgewekt.

Door te variëren in het rijgedrag en rijrichting kunnen we vaststellen welke factoren verder nog van invloed kunnen zijn.

Naast deze metingen worden ook de trillingen gemeten op de tunnelwand. Het doel van deze metingen is om vast te stellen of de meetritten representatief. Dit betekent dat het trillingsniveau vergelijkbaar is met de waarden die bij eerdere metingen op dezelfde positie zijn vastgesteld.

## 2. Meetprotocol

### 2.1 Voertuiggebonden metingen

#### 2.1.1 Instrumentatie metro

De metingen zijn uitgevoerd op een metrotrein van het type M5. De metingen zijn uitgevoerd in de rijtuigen met nummers 135A en 135B.

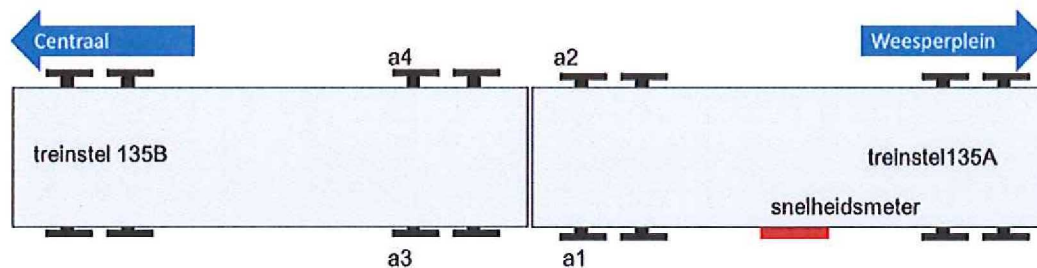
Het meetvoertuig dat gebruikt is tijdens de metingen is als volgt uitgerust:

- Twee versnellingsopnemers op een niet-aangedreven draaistel: één per zijde van de trein, kanaal a1 en a2;
- Twee versnellingsopnemers op een aangedreven draaistel, één aan elke zijde van de trein, a3 en a4;
- Een optische snelheidsmeter om de voertuigsnelheid en voertuigpositie te meten.

De meetposities zijn weergegeven in onderstaand figuur.

Positie a1 en a2 bevinden zich op het niet-aangedreven draaistel, positie a3 en a4 op het aangedreven draaistel.

Afbeeldingen van de apparatuur op de trein zijn te vinden in figuur 2.



figuur 1 Meetposities op de tram



Figuur 2 Links: Trillingsopnemer op draaistel. Rechts: Snelheidsmeter

## 2.1.2 Meetritten

De metingen zijn uitgevoerd in de nacht van 7 op 8 augustus. Tijdens deze nacht zijn er 16 meetritten uitgevoerd volgens onderstaand schema.

Er is hierbij telkens door één metrotroestel op en neer gereden tussen station Amsterdam Centraal en station Weesperplein. Er zijn in dit onderzoek dus geen metingen gedaan waarbij sprake is van twee elkaar passerende metro's.

Schema meetritten:

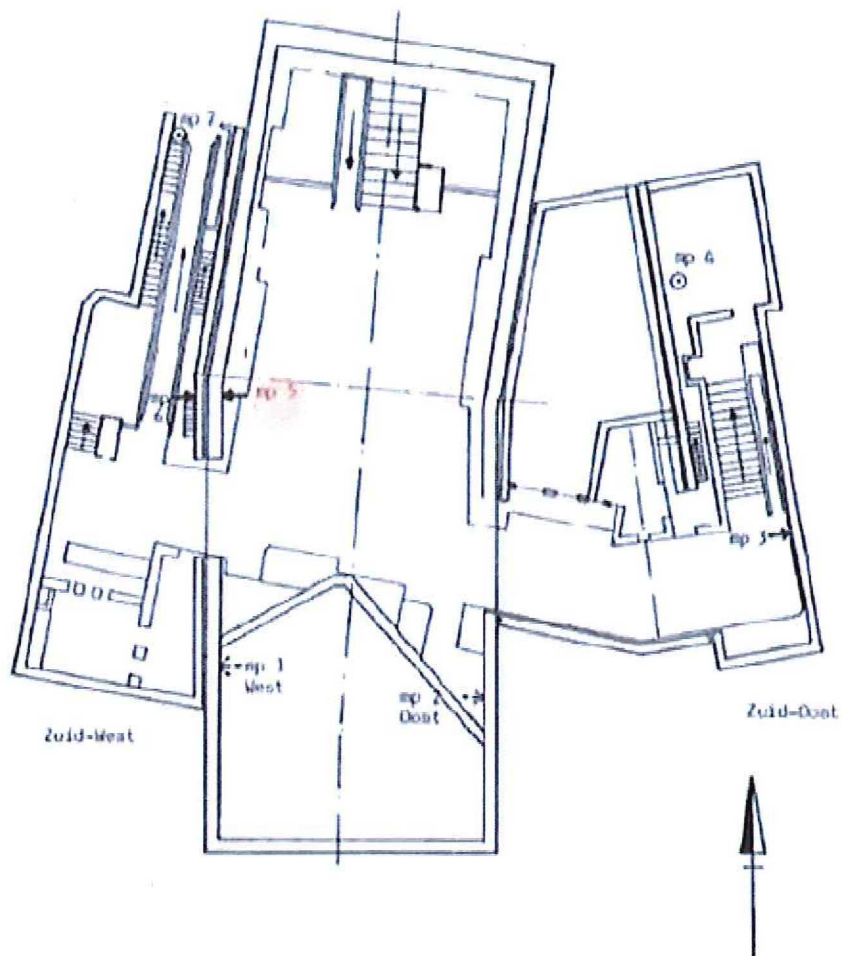
rit	spoor	richting	situatie *
1	2	Amsterdam Centraal	dienstregeling
2	2	Weesperplein	dienstregeling
3	1	Amsterdam Centraal	dienstregeling
4	1	Weesperplein	dienstregeling
5	1	Amsterdam Centraal	constante snelheid 30 km/h
6	1	Weesperplein	constante snelheid 30 km/h
7	1	Amsterdam Centraal	constante snelheid 30 km/h
8	2	Weesperplein	constante snelheid 30 km/h
9	2	Amsterdam Centraal	constante snelheid 30 km/h
10	2	Weesperplein	dienstregeling
11	2	Amsterdam Centraal	dienstregeling
12	1	Weesperplein	constante snelheid 30 km/h
13	1	Amsterdam Centraal	dienstregeling
14	2	Weesperplein	constante snelheid 30 km/h
15	2	Amsterdam Centraal	constante snelheid 30 km/h
16	1	Weesperplein	dienstregeling

\* met dienstregeling wordt bedoeld dat het voertuig tijdens de testrit op het station stopt en vervolgens optrekt tot een snelheid van maximaal 70 km/h

## 2.2 Metingen op de tunnelwand

De metingen zijn uitgevoerd op meetpunt 5 bij de zuidelijke toegang van het stationsgebouw Nieuwmarkt ter hoogte van km 1.035. Het meetpunt ligt in het begin van de boog in het spoor en is aangegeven in figuur 3.

Het doel van deze metingen is om vast te stellen of de meetritten representatief zijn. Daarom meten we op dezelfde locatie op de tunnelwand waar eerder in 2017 metingen hebben plaats gehad. Eventuele verschillen ten opzichte van die eerdere metingen kunnen we op deze wijze vaststellen.



*Figuur 3: Meetpunt 5, de zuidelijke toegang van station Nieuwmarkt*

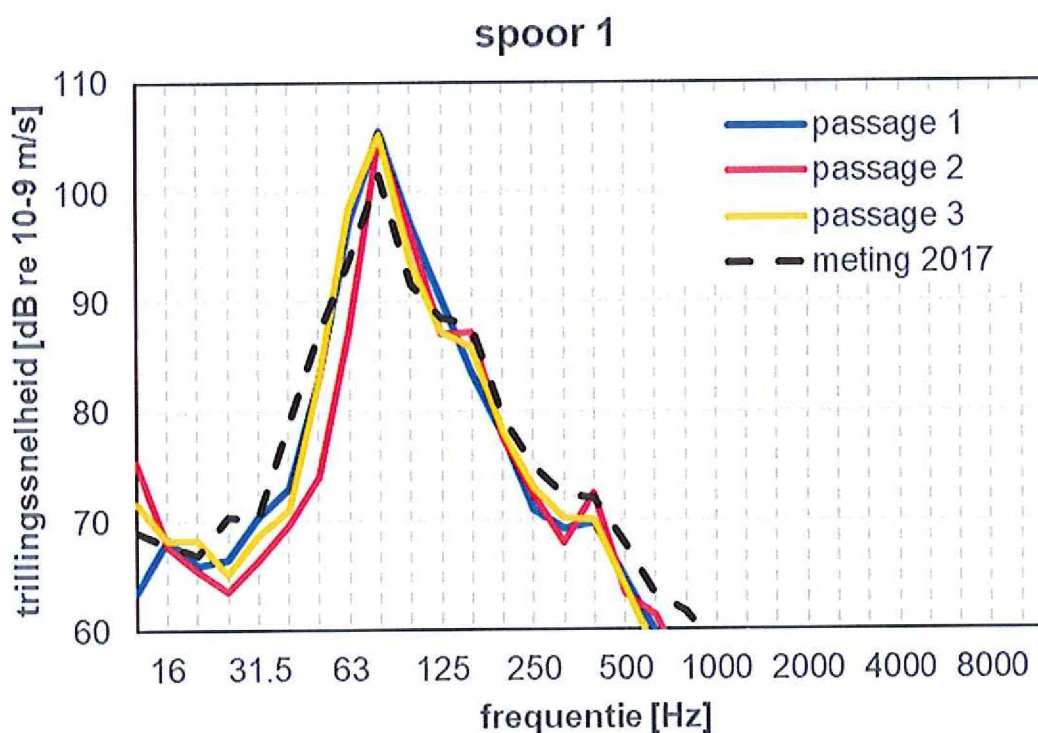


### 3 Resultaten

Dit hoofdstuk toont de resultaten van de metingen. Als eerste worden de resultaten van de metingen op de tunnelwand getoond. Vervolgens worden in paragraaf 3.2 de resultaten van de metingen op de metrotrein behandeld.

#### 3.1 Metingen op de tunnelwand

Figuur 4 toont het trillingsniveau op de tunnelwand zoals gemeten tijdens een drietal passages op spoor 1. Bij de drie getoonde passages werd gereden volgens de normale dienstregeling. Ter vergelijking is tevens het gemiddelde trillingsniveau van het M5 materiaal zoals gemeten in 2017 weergegeven.



Figuur 4: Resultaten metingen op de tunnelwand op spoor 1 tijdens de meetritten. Ter vergelijking is tevens het resultaat voor de M5-metingen zoals gemeten in 2017 weergegeven

Op basis van de resultaten in figuur 4 komen we tot de volgende bevindingen:

- Tijdens de passages wordt er een duidelijke piek gemeten bij 80 Hz;
- De resultaten van de metingen komen goed overeen met de resultaten van het M5-materieel gemeten in 2017.

We concluderen dan ook dat de trillingsniveaus gemeten tijdens de meetritten representatief zijn voor de trillingsniveaus zoals we die eerder gemeten hebben.

## 3.2 Voertuiggebonden metingen

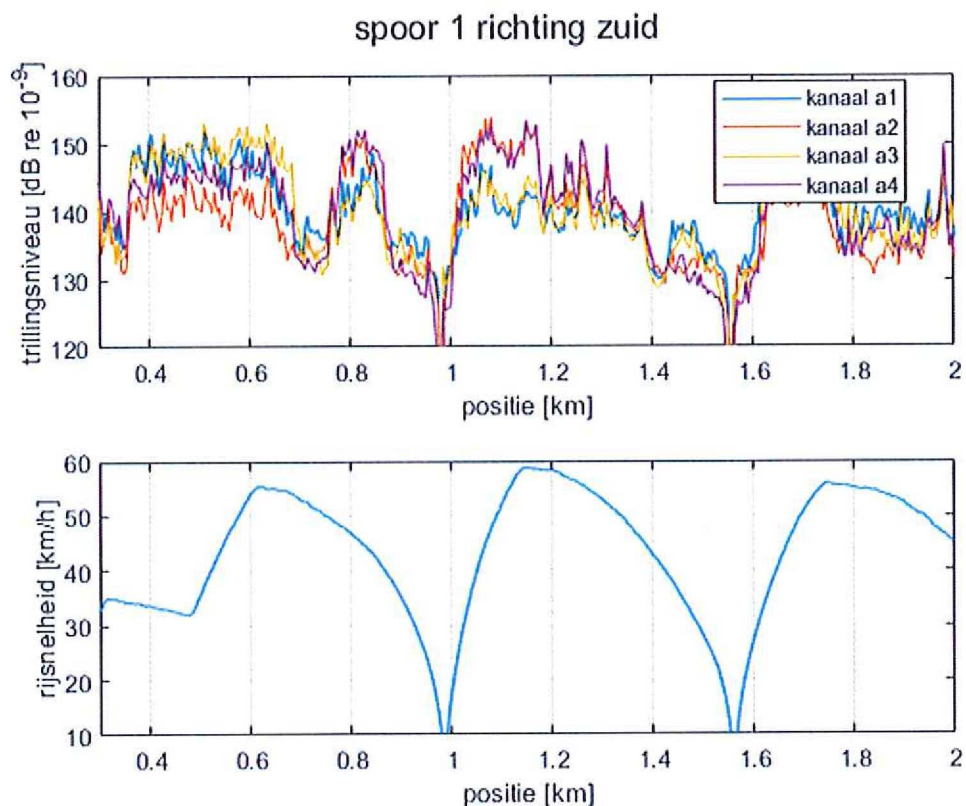
### 3.2.1 Resultaten metingen

Figuur 5 toont de resultaten van een meetrun uitgevoerd op spoor 1 in de rijrichting zuid. Tijdens de meetrun is er gereden volgens de dienstregeling. Dit verklaart de lage trillingsniveaus op de stations; de trein reed hier met lage snelheid.

Op basis van de resultaten in figuur 5 komen we tot de volgende bevindingen:

- We nemen een duidelijke variatie waar in trillingsniveaus over de baan;
- De toename van de trillingsniveaus is niet alleen te verklaren door de snelheidsvariatie. Immers, rond km 0.8 neemt het trillingsniveau toe, terwijl de snelheid daar afneemt;
- Ten zuiden van station Nieuwmarkt (km 1 tot km 1.2) zien we dat de trillingenopnemers a2 en a4 duidelijk hogere trillingsniveaus hebben dan de trillingenopnemers a1 en a3;
- Wanneer we inzoomen op het gebied tussen km 1 en km 1.2 zien we hierin een aantal duidelijke pieken in het signaal, bv rond km 1.07.

Deze locaties komen goed overeen met de locaties van de ES-lassen.

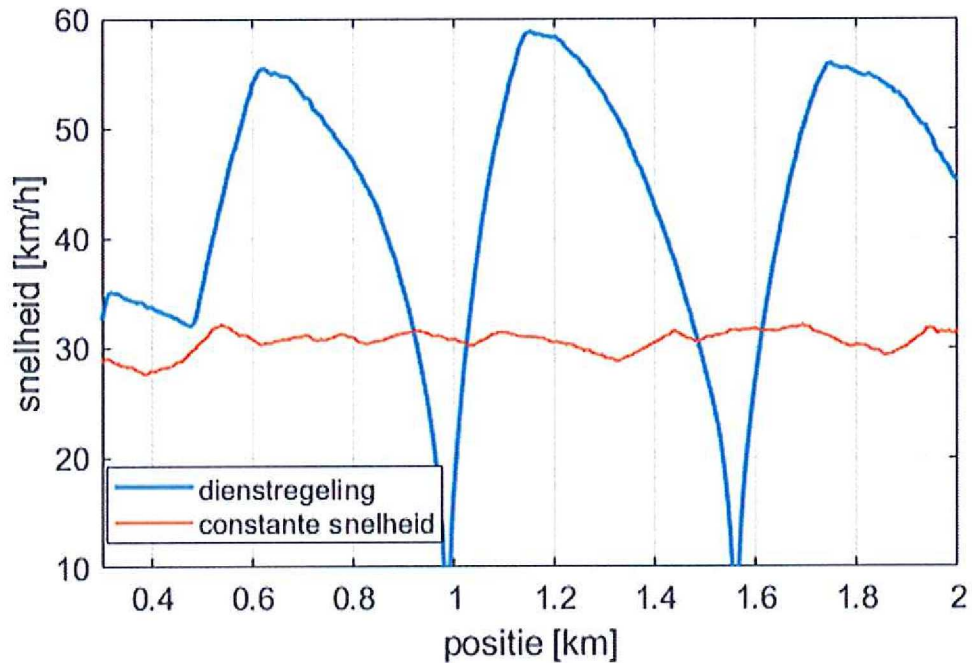


Figuur 5: Typisch resultaat van een meting: Het totale trillingsniveau per trillingsopnemer als functie van de positie langs de baan.

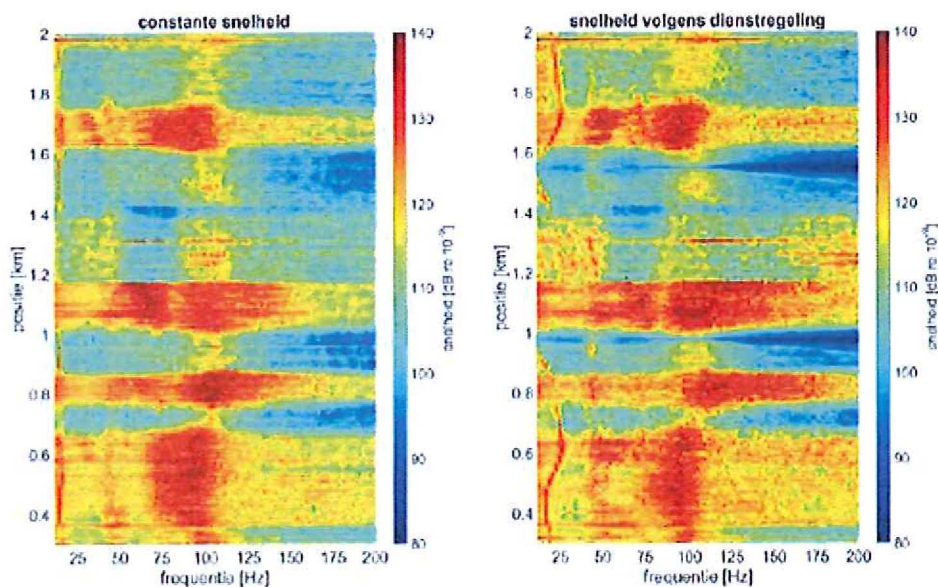
### 3.2.2 Effect rijnsnelheid

De metingen zijn met verschillende snelheidsprofielen uitgevoerd. Er is immers volgens de dienstregeling gereden maar ook met een constante snelheid om vast te stellen wat de invloed is van de rijnsnelheid op de gemeten trillingsniveaus.

De snelheidsprofielen zijn weergegeven in figuur 6.  
 In figuur 7 zijn de corresponderende trillingsniveaus gegeven.  
 Hierbij tonen we de resultaten voor één van de vier trillingenopnemers. (deze is representatief voor alle andere trillingenopnemers).



Figuur 6: Snelheidsprofielen



Figuur 7: Effect van de rijnsnelheid op de gemeten trillingsniveaus

Op delen van de baan nemen we wel een effect van de rijnsnelheid waar. Tussen km 0.4 en 0.6 treedt de piek van het trillingspectrum bij constante snelheid op bij een lagere frequentie dan bij rijden volgens de dienstregeling. In het tweede geval is de snelheid hoger.

Ditzelfde effect nemen we ook weer waar rond km 1.7.

Rond 1.07 zien we twee effecten. Enerzijds zien we een verschuiving naar een hogere frequentie, anderzijds zien we ook een piek rond 75 Hz. Dit zou erop kunnen duiden dat bij constante snelheid de golfslijtage samenvalt met de P2 resonantie. Bij een hogere snelheid, wanneer volgens de dienstregeling wordt gereden, schuift de frequentie van de golfslijtage omhoog, maar blijft de P2 resonantie rond 75 Hz.

Conclusie: bij een hogere snelheid blijft de P2 resonantie rond de 75 Hz en zien we als gevolg van golfslijtage een trilling waarvan frequentie snelheidsafhankelijk is.

### **3.2.3 Invloed van de rijrichting**

Beide sporen zijn in beide richtingen gemeten om vast te stellen of er een effect is van de rijrichting. De resulterende trillingsniveaus voor één kanaal zijn weergegeven in onderstaand figuur 8.

Het kan uiteraard zo zijn dat het impulsgeluid ten gevolge van een ES-las in de ene richting wat hoger is dan in een andere rijrichting, als de las bijvoorbeeld niet geheel recht is. Ook de snelheid in beide richtingen kan iets variëren, waardoor het trillingspectrum er iets anders uit ziet.

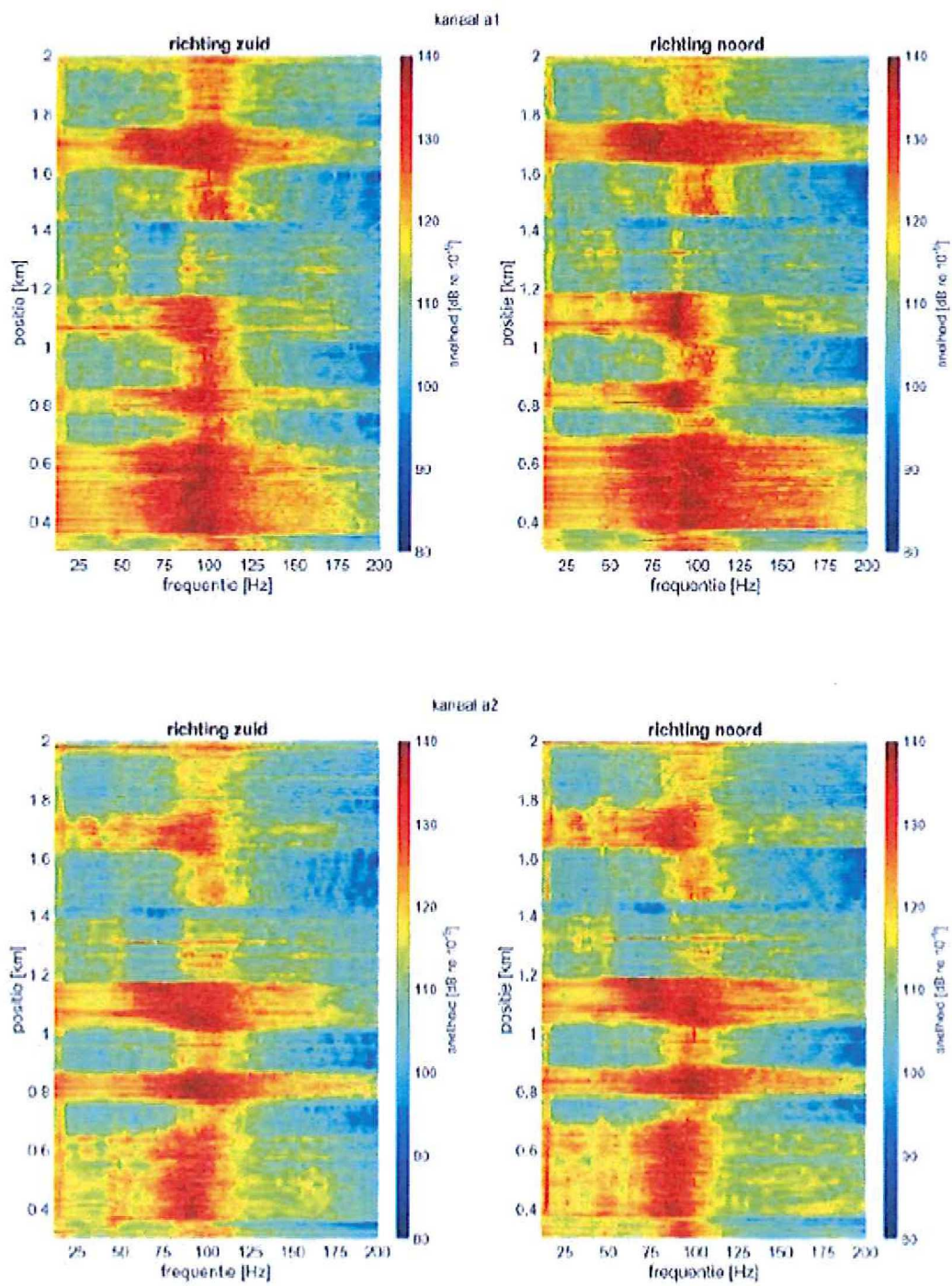
Wat opvalt is dat tussen km 1.1 en km 1.2 het trillingsniveau in zuidelijke richting hoger is in het frequentiegebied tussen de 50 en 75 Hz voor de trillingsopnemers a3 en a4, terwijl dit hoger is voor de trillingsopnemers a1 en a2 in noordelijke richting.

Hetzelfde geldt in iets wat mindere mate tussen km 0.4 en km 0.6.

Conclusie: De trillingen nabij km 1,07 treden nagenoeg in gelijke mate en patroon op.

Echter in noordelijke richting lijken de trillingsniveaus op het ene draaistel hoger, terwijl in zuidelijke richting de trillingsniveaus op het andere draaistel hoger liggen.

Dat de rijrichting niet van invloed is wordt bevestigd door de metingen aan de tunnelwand: deze laten ook geen duidelijk verschil zien in het effect van de rijrichting bij constante snelheid.



Figuur 8: Effect van de rijrichting op het gemeten trillingspectrum op spoor 1. De snelheid tijdens de metingen in beide richting is vrijwel gelijk.

## 4. Conclusie en aanbevelingen

Met behulp van trillingenmetingen op een M5-metrotrein hebben we vastgesteld dat de ES-lassen in het spoor 1 verantwoordelijk zijn voor het aanslaan van de P2-resonantie van het voertuig. Aanslaan van de P2-resonantie leidt tot een verhoging van het trillingsniveau rond 80 Hz.

Tegelijkertijd met de metingen op het voertuig, zijn ook metingen op de tunnelwand uitgevoerd. Deze metingen zijn op hetzelfde punt uitgevoerd als de metingen in het verleden, in 2017.

Uit deze metingen blijkt dat ook tijdens de meetritten er een duidelijke piek gemeten wordt wanneer het voertuig over spoor 1 rijdt. Dit betekent dat de uitgevoerde meetritten als representatief kunnen worden beschouwd voor verkeer tijdens de dienstregeling.

Uit de resultaten van de trillingenmetingen op het voertuig blijkt dat de ES-las rond km 1.07 inderdaad zorgt voor een impulsachtige aanstoting. Wanneer we het gemeten signaal terugluisteren horen we dit impulsgeluid ook duidelijk terug. Deze impuls leidt tot een kortstondige breedbandige toename van het trillingsniveau. De piek van deze trilling ligt rond 80 Hz en treedt op het aangedreven draaistel op bij een wat lagere frequentie dan voor het niet aangedreven draaistel. Dit komt overeen met de veronderstelling dat de P2-resonantie wordt aangeslagen.

Over langere delen van de baan nemen we echter ook een laagfrequente trilling weer. Afhankelijk van de rijsnelheid ligt deze tussen 70 en 130 Hz. Daarnaast nemen we scherpe overgangen weer in het trillingsniveau op vaste punten op het traject. Dit wijst erop dat er mogelijk nog een andere oorzaak is voor de gemeten scherpe overgangen in trillingsniveaus.

We adviseren dan ook de volgende stappen om te achterhalen wat de oorzaak hiervan kan zijn:

- Koppel het trillingsniveau aan de baaneigenschappen, zoals boogstraal en verkanting en ook aan de bovenbouwconstructie, inclusief eventueel aanwezige maatregelen in de bodem. Er is immers bekend dat ter hoogte van de schouwburg dempende maatregelen zijn toegepast.
- Inspecteer de baan op de locaties waar duidelijke overgangen zijn in de gemeten trillingsniveaus.

### Kernpunten bevindingen:

- ES-Las spoor 1 Zuidzijde dient te worden vervangen binnen BORI scope (GVB).
- De overige ES lassen worden geïnspecteerd en indien nodig onderhouden binnen BORI scope (GVB)
- Branddeur drempels worden geïnspecteerd en geborgd dat ze vrij liggen van de bovenbouw binnen BORI scope (GVB)
- Verscherpt onderhoudsregime: frequente inspectie en controle op afkeur wat leidt tot tijdig onderhoud of vervanging.
- Uitvoeren controlemeting tunnelwand om te kijken of maatregelen effectief zijn.
- Eventueel vervolmaatregelen definiëren dempend vermogen vergroten.

### Advies en vervolgaanpak:

#### 1: Aanpak m.b.t. ES Lassen:

- Vervangen ES las spoor 1 zuidzijde (Waterlooplein)
  - GVB: zo snel mogelijk binnen Dagelijks Onderhoud scope
- Inspectie en onderhoud overige ES lassen: Inspectie o.b.v. Afkeur criteria en uitvoeren onderhoud: vlak maken m.b.v. slijpen/frezen of vervanging inplannen.
  - GVB: zo snel mogelijk binnen Dagelijks Onderhoud scope
- Inspectie en onderhoud ES Lassen Nieuwmarkt:
  - verhoogd inspectieregime: elke 2 maanden ES las inspecteren op afkeurcriteria, defecten, spoorstaaf defect Squats,
  - onderhoud: aantoonbare planning en uitvoering onderhoudsactiviteiten;
  - GVB: zo snel mogelijk binnen Dagelijks Onderhoud scope
- Inspectie en onderhoud Drempels:
  - Inspectie vrijliggen Drempel: meenemen regulier onderhoud vrijmaken
  - GVB: zo snel mogelijk binnen Dagelijks Onderhoud scope
- Controlemeting:
  - Uitvoering controle meting tunnelwand op de dag: meten effectiviteit maatregelen
  - Verificatie effectiviteit en of aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn
- Bij negatieve bevinding meting en aanhoudende klachten alsnog dempend vermogen vergroten.

#### 2: Golfslijtage:

Een ernstige vorm van golfslijtage is aanwezig die niet direct verholpen kan worden.

- Maatregel: slijpen/frezen. Beoordelen en plannen binnen regulier onderhoud + analyse effectiviteit .
  - GVB: zo snel mogelijk binnen Dagelijks Onderhoud scope

#### 3: Dempend vermogen vergroten

- Bij negatieve bevindingen controle meting
    - Maatregel: Undersleeper pads incl Bevestiging
- of
- kunststof dwarsliggers toepassen.