NOTITIE

Onderwerp	ON - OB05 - Trillingen en trillingsbeperkende maatregelen
Project	Onderdoorgangen Spoorzone Zwolle
Opdrachtgever	Gemeente Zwolle
Projectcode	136889
Status	Definitief
Datum	5 december 2023
Referentie	136889/23-019.475
Auteur(s)	Ir. C. Kortendijk
Gecontroleerd door	J.A. de Bruijn MSc, A Vellekoop Msc,
Goedgekeurd door	Ing. W.P. de Vries
Paraaf	
Bijlage(n)	-

Aan	Gemeente Zwolle	H. Kollenstaart, M. Sluiter
	ProRail	G. Koppes

1 INLEIDING

Deze notitie is een resultaatsproduct uit het project spooronderdoorgangen spoorzone Zwolle voor de gemeente Zwolle. Dit is een deelresultaat uit het werkpakket ON - OB- Trillingen en trillingsbeperkende maatregelen.

1.1 Doelstelling

Voor de ontwikkelingen in de Spoorzone wordt een bestemmingsplan door de gemeente Zwolle opgesteld. Hiervoor is reeds een trillingsonderzoek door Peutz uitgevoerd (rapport O 16621-4-RA, datum 10 oktober 2022). Hierin wordt geconcludeerd dat ter plaatse van de Koggetunnel trillingen zijn gemeten die zonder reducerende maatregelen over de grenswaarden van de richtlijn SBR gaan. Aanvullend wordt benoemd dat de mogelijke verklaring voor de verhoogde trillingen de ter plaatse liggende fietstunnel (Koggetunnel) is.

Deze notitie geeft inzicht in de mate waarin de onderdoorgang Koggetunnel bijdraagt aan mogelijke trillingshinder in het plangebied.

1.2 Scope

Deze notitie bepaalt alleen de mate waarin de Koggetunnel bijdraagt aan mogelijke trillingshinder in het plangebied. Een beschouwing van de te verwachten mogelijke hinder in het plangebied is reeds uitgevoerd in [ref 1.].

Om te bepalen in welke mate de Koggetunnel bijdraagt aan mogelijke trillingshinder in het plangebied worden diverse metingen uitgevoerd.

1.3 Project

De komende jaren werkt de gemeente Zwolle samen met omwonenden, ondernemers, ontwikkelaars en overige betrokkenen aan de Spoorzone. De Spoorzone wordt een prominente plek om te wonen, werken, leren, studeren en ondernemen. Het ligt centraal tussen de historische binnenstad en de natuurlijke omgeving van de IJssel, met station Zwolle als verbinder. Het openbaar vervoer maakt het gebied gemakkelijk bereikbaar en verbindt de randstad met het noorden en oosten van het land.

De komende jaren wordt het gebied met circa 3.500 nieuwe woningen, lokale maakindustrie, kantoren en voorzieningen uitgebreid. De huidige fietsinfrastructuur moet daarom worden aangepast. Door het onderzoeken en ontwerpen van een aanpassing aan de bestaande onderdoorgang (Koggetunnel) en de realisatie van een extra onderdoorgang (Onderdoorgang Veerallee) dragen we bij aan het verbeteren van actieve mobiliteit en het verkleinen van de barrière die het spoor voor fietsers vormt.

1.4 Referenties

[Ref 1.] Peutz rapport O 16621-4-RA, datum 10 oktober 2022;
[Ref 2.] 136889 - Plan van Aanpak Trillingsmeting Zwolle, Witteveen+Bos, 23 augustus 2023;
[Ref 3.] Handreiking nieuwbouw en spoortrillingen - Witteveen+Bos, mei 2019;
[Ref 4.] SBR Trillingsrichtlijn B - Hinder voor personen in gebouwen. 2e versie 2002;
[Ref 5.] CUR166 Damwandconstructies, CUR bouw en infra, 6e druk 2012;
[Ref 6.] CUR2175 Omgevingsbeïnvloeding inbrengen en trekken van damwanden, december 2017.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de gebruikte meetopstelling en dataverwerking. Hoofdstuk 3 toont de verwerkte resultaten. De conclusie is opgenomen in hoofdstuk 4.

2 MEETOPSTELLING EN DATAVERWERKING

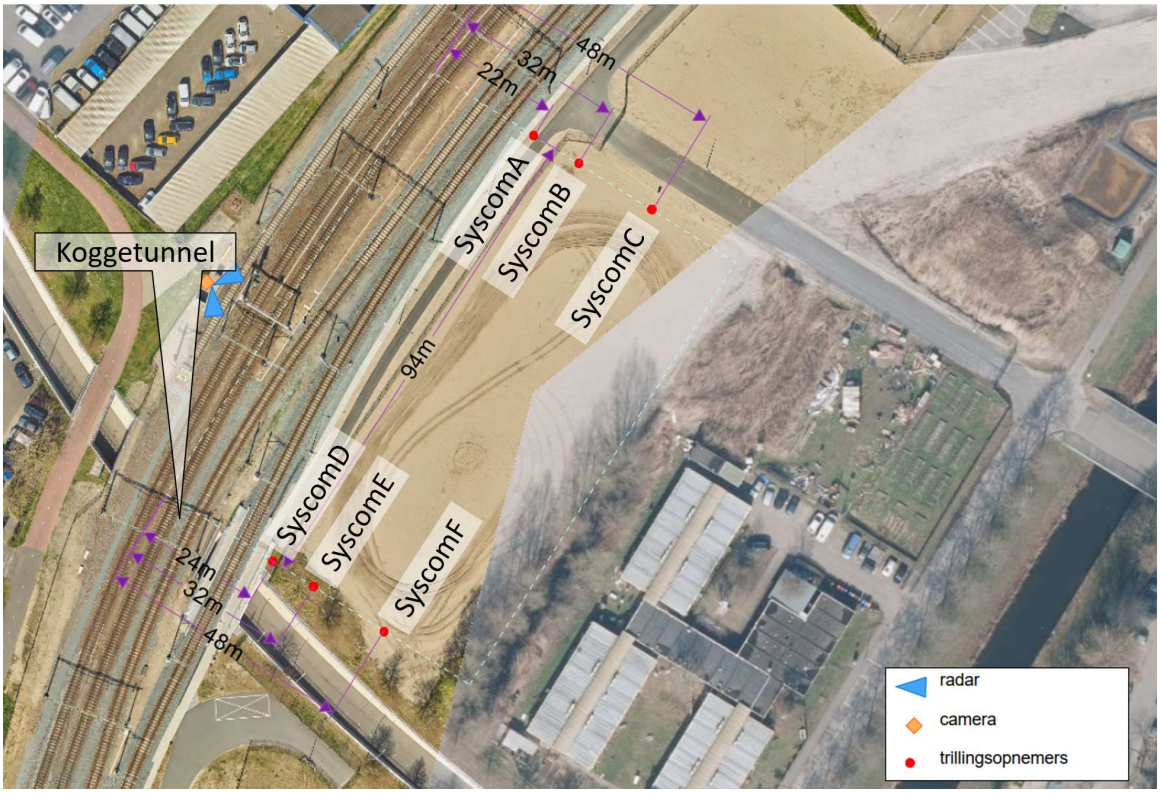
2.1 Meetopstelling

Tijdens eerder onderzoek is er een verhoogd trillingsniveau gemeten ([ref 1.] aan de Westzijde van het plangebied. Eén van de conclusies staat hieronder beschreven.

(H3) Op basis van de resultaten kan worden geconstateerd dat met name aan de westzijde (west 1 en 2) in de bodem bij de meetposities sprake is van voelbare trillingen. Met name in horizontale richting loodrecht op het spoor. Mogelijk heeft dit te maken met de aldaar liggende bocht. In de verhoogde trillingsniveaus in West 1 zou eventueel een aldaar liggende onderdoorgang (fietstunnel) een rol kunnen spelen.

Om de invloed van deze onderdoorgang te kwantificeren is een nieuwe trillingsmeting uitgevoerd, met als focus het in trillingsniveau in relatie tot de afstand tot de onderdoorgang [ref 2.]. Hiervoor zijn sensoren geplaatst conform afbeelding 2.1.

Afbeelding 2.1 Meetopstelling



2.1.1 Trillingsmeters

De metingen zijn uitgevoerd met behulp van trillingsmeters van fabrikant SYSCOM, type MR3000TR/MR3003TR/MR3003C.

Er zijn 6 trillingsmeters geplaatst, verdeeld over 2 raaien van elk 3 stuks, zie hiervoor ook afbeelding 2.1:
- de raai met sensoren SyscomA tot en met C is op circa 100 meter van de onderdoorgang geplaatst, en geldt als de referentieraai. Aanname is dat door de onderdoorgang veroorzaakte trillingen op deze afstand niet meer dominant zijn in de trillingshinder;
- de raai met sensoren SyscomD tot en met F is vlak langs de onderdoorgang geplaatst.

De sensoren zijn ter plaatse ingemeten met behulp van GPS, voor de exacte as-built locaties zie tabel 2.1. Bij alle sensoren is de X-as evenwijdig aan het spoor, de Y-as haaks op het spoor, en de Z-as verticaal.

Tabel 2.1 Positie sensoren in RD-stelsel

Sensor	Raai	Afstand tot spoor in meter	RD X-coördinaat	RD Y-coördinaat
SyscomA	referentie	24	202034.601	502216.063
SyscomB	referentie	32	202043.084	502210.69
SyscomC	referentie	48	202056.641	502202.142
SyscomD	onderdoorgang	24	201985.755	502135.762
SyscomE	onderdoorgang	32	201992.574	502131.528
SyscomF	onderdoorgang	48	202006.041	502122.876

2.1.2 Ondersteunende sensoren

Naast de trillingsmeters zijn er additionele sensoren geplaatst welke helpen bij de dataverwerking en validatie:
- er zijn 2 radars geplaatst, welke de snelheid van de treinen meten ter plaatse van de meetraaien;
- er is een camera geplaatst waarmee eventuele treinpassages geclassificeerd kunnen worden.

2.2 Duur van de meting

Het rapport van Peutz [ref 1.] geeft aan dat de hoogste trillingsniveaus aan de Westzijde voornamelijk door reizigerstreinen worden veroorzaakt. Aangezien de reizigerstreinen vaak rijden en steeds een gelijkwaardige belading hebben kan met een korte meting (1 dag) worden volstaan. Er is gestreefd naar meting van ten minste 40 passages.

2.3 Dataverwerking

Doordat de klokken van de trillingsmeters via een 4G-verbinding gesynchroniseerd zijn, is het mogelijk om per treinpassage de trillingsniveaus onderling te vergelijken. Op basis van de meetresultaten zijn er 103 treinpassages gekoppeld, welke ieder door alle 6 sensoren geregistreerd zijn. Door enkel die passages te gebruiken die door alle 6 sensoren geregistreerd zijn, is het niet nodig gebleken handmatig uitschieters te verwijderen. Ook de signalen met relatief hoge amplitude zijn na handmatige controle toe te schrijven aan passerende treinen.

Van elke passage zijn zowel $V_{eff,max}$ conform SBR-B [ref 4.] bepaald, als het octaafbandspectrum. De signalen zijn hierbij gefilterd met een bandpass filter tussen 1 en 315 Hz (DIN 45669-1).

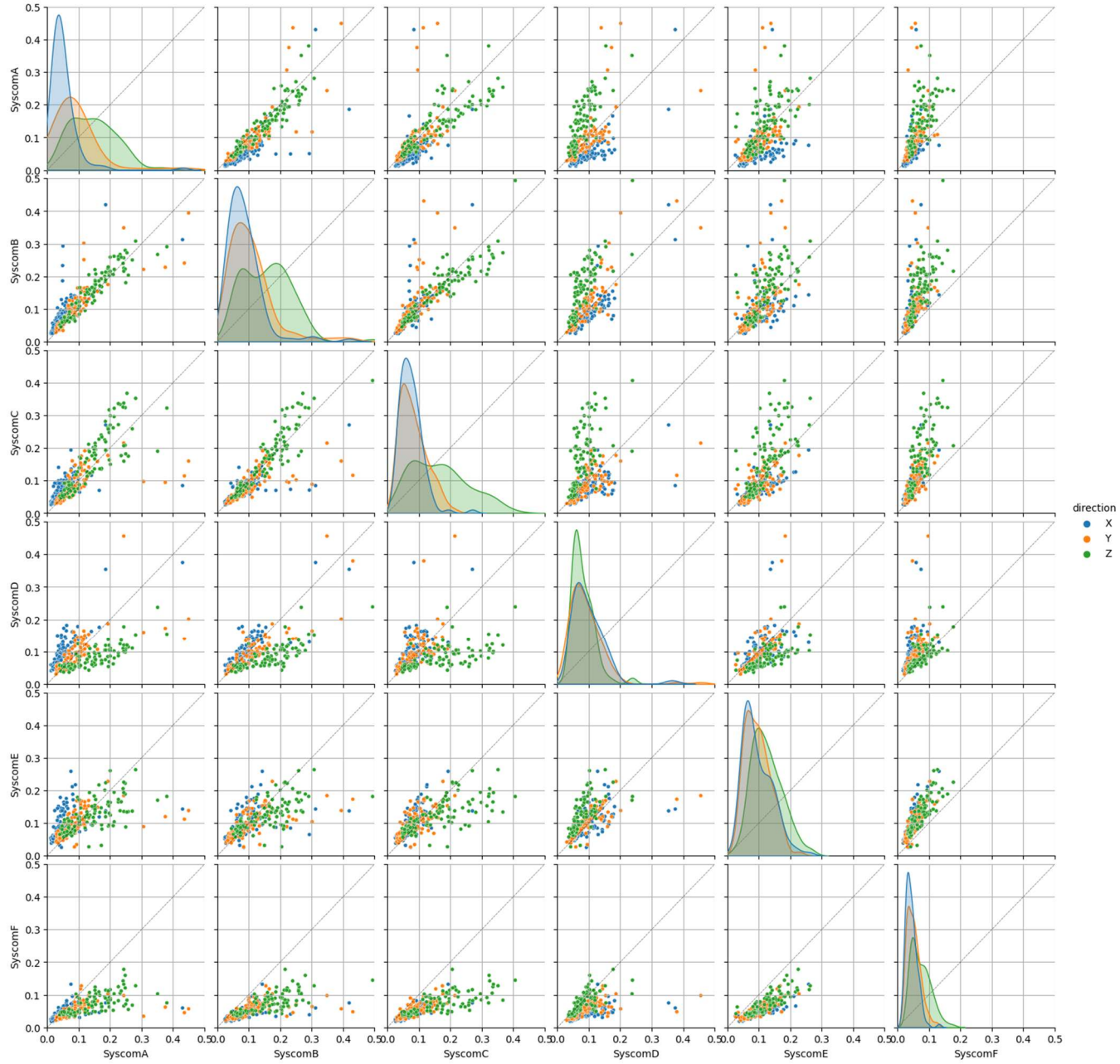
De analyses zijn uitgevoerd met behulp van Python.

3 MEETRESULTATEN

3.1 Resultaten $V_{eff,max}$

Voor de bepaling van trillingshinder conform SBR-B is $V_{eff,max}$ de maatgevende parameter. Een overzicht wordt gegeven in afbeelding 3.1. In deze afbeelding worden de niveaus per passage steeds uitzet per 2 sensoren. Op de hoofddiagonaal staat een histogram van de trillingsniveaus per sensor. De verschillende kleuren geven de richtingen X, Y en Z weer. Voor de exacte locatie van de sensoren zie afbeelding 2.1 en tabel 2.1. In verband met de leesbaarheid zijn de assen van afbeelding 3.1 begrensd op $V_{eff,max}$ = 0.5. Er zijn een aantal waarden gemeten welke hoger zijn.

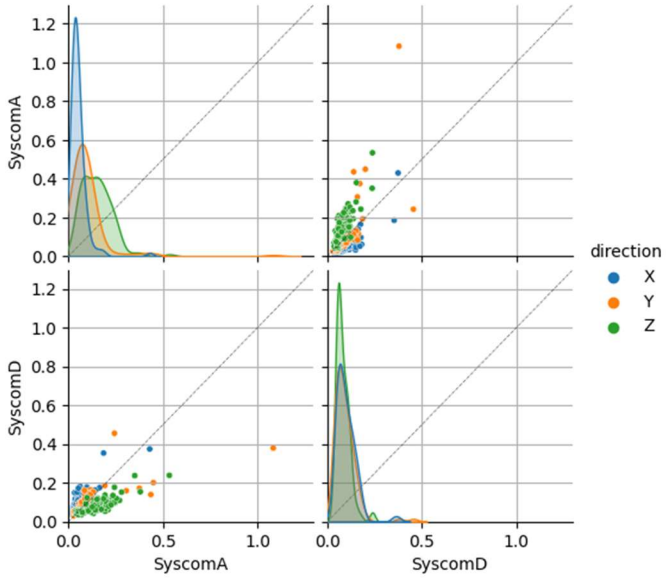
Afbeelding 3.1 Pairplot $V_{eff,max}$[-]



Van afbeelding 3.1 zijn een aantal deelplots gemaakt welke hieronder besproken worden.

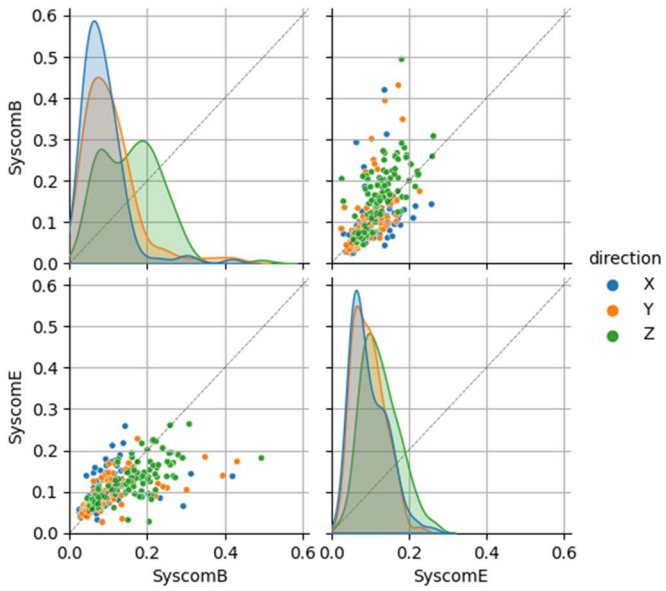
Op 24 meter uit het spoor zijn in de referentieraai (SyscomA) de trillingen over het algemeen hoger dan in de raai van de onderdoorgang (SyscomD). Zie afbeelding 3.2. In de Z-richting (verticaal) geldt dit voor bijna alle passages, maar ook in de X- en Y-richting zijn er in de referentieraai meer uitschieters dan bij de onderdoorgang.

Afbeelding 3.2 Pairplot 24 meter uit spoor



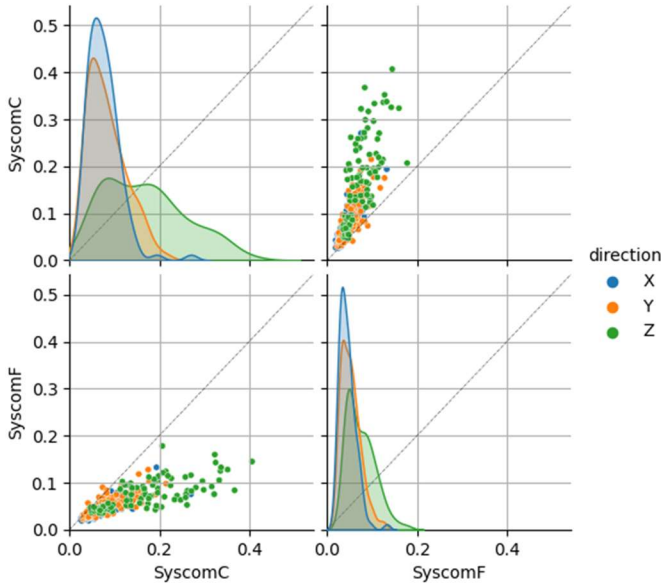
Op 32 meter uit het spoor zijn in de referentieraai (SyscomB) de trillingen over het algemeen hoger dan in de raai van de onderdoorgang (SyscomE). Zie afbeelding 3.3. In de verticale Z-richting geldt dit voor het merendeel van de passages. In de horizontale richtingen X (evenwijdig aan het spoor) en Y (haaks op het spoor) zijn er in de referentieraai uitschieters, die bij de onderdoorgang minder zichtbaar zijn.

Afbeelding 3.3 Pairplot 32 meter uit spoor



Op 48 meter uit het spoor zijn in de referentieraai (SyscomC) de trillingen over het algemeen hoger dan in de raai van de onderdoorgang (SyscomF). Zie afbeelding 3.4. Dit geldt voor alle richtingen, maar in absolute zin worden de hoogste niveaus in de Z-richting gemeten.

Afbeelding 3.4 Pairplot 48m uit spoor



In de sensoren op 24 en 32 meter uit het spoor zijn er veel uitschieters in de horizontale X en Y-richtingen. Deze worden mogelijk veroorzaakt door een combinatie van de kromming in het spoor, en de snelheidsveranderingen ten behoeve van het nabijgelegen treinstation. Op een afstand van 48 meter zijn deze uitschieters minder nadrukkelijk aanwezig en is een meer constant trillingsbeeld gemeten.

3.2 Afstandsrelatie

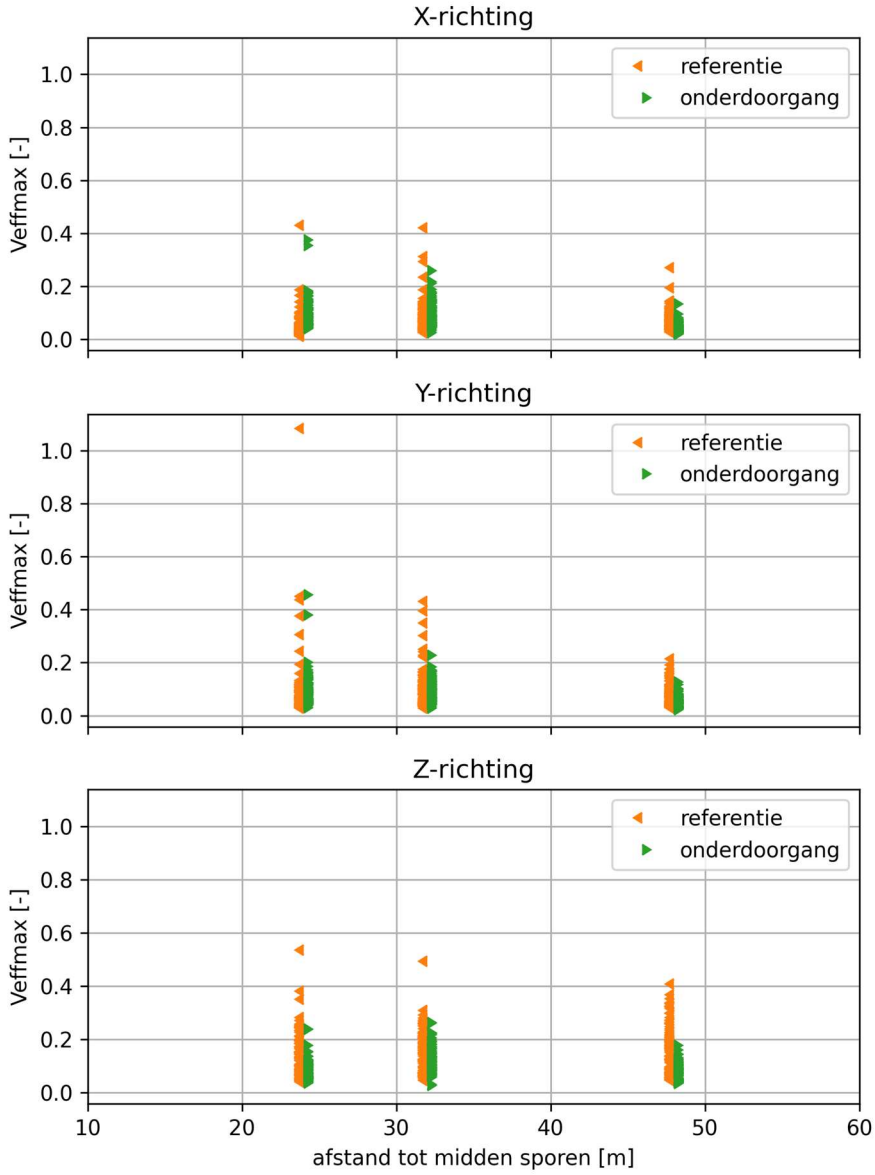
Het trillingsniveau $V_{eff,max}$ is uitgezet tegen de afstand tot het spoor. Zie hiervoor afbeelding 3.5. Indien de onderdoorgang dominant is in het trillingsniveau, dan is de verwachting dat deze zich als puntbron gedraagt, terwijl een passerende trein zicht op deze afstand als een lijnbron gedraagt. Dit zou zichtbaar moeten zijn in de afstandsrelatie: bij puntbronnen neemt de intensiteit sneller af bij toenemende afstand. Deze afstandsrelaties voor trillingen worden vaak gevangen in een curve die zowel geometrische spreiding als demping meeneemt [ref 5.], ook bekend als de Barkan-Curve.

Afbeelding 3.5 laat een afwijkend beeld zien dat eigenlijk niet direct aan een punt- of lijnbron te koppelen is:

- voor de referentieraai neemt het trillingsniveau amper af bij toenemende afstand. In de Z-richting is op 48 meter het trillingsniveau voor meerdere passages zelfs hoger dan op de afstanden 24 en 32 meter. Hier is niet direct een verklaring voor, maar mogelijk dat de bocht in het spoor hier voor interferentie zorgt;
- voor de raai bij de onderdoorgang valt op dat op 32 meter afstand de trillingsniveaus hoger zijn dan op 24 meter. Dit is niet conform de verwachting bij een puntbron. Mogelijk duidt ook dit erop dat de trillingen worden versterkt door interferentie van trillingen uit de bocht in het spoor, of dat lokale verschillen in de ondergrond hier een rol spelen.

Op basis van de afstandsrelatie kan niet geconcludeerd worden dat de onderdoorgang dominant is in de trillingsniveaus.

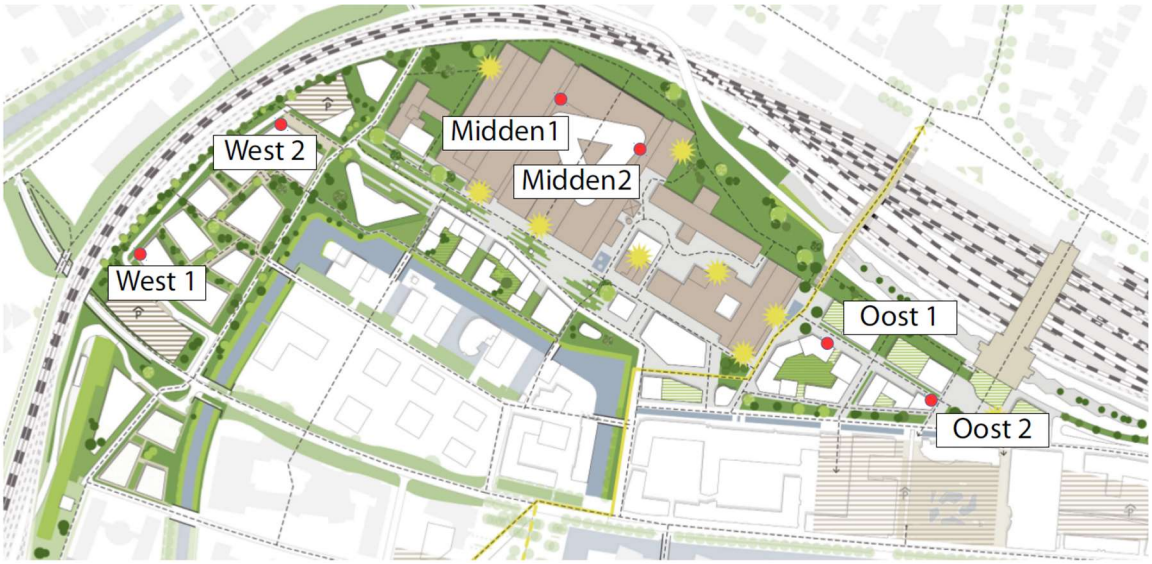
Afbeelding 3.5 Veffmax in relatie tot Afstand tot spoor



3.3 Frequentiespectra

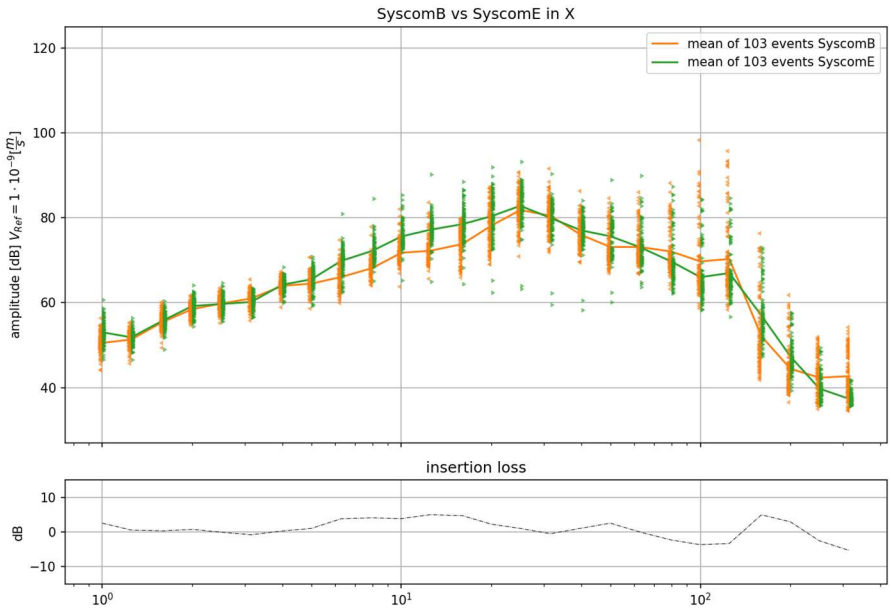
Op basis van afbeelding 3.6 lijkt de bebouwing op circa 32 meter uit het spoor te beginnen. Dit komt overeen met de sensorposities van SyscomB en SyscomE. Van deze sensoren is daarom het tertsbanden spectrum bepaald en vergeleken.

Afbeelding 3.6 Plan gebiedsindeling en locaties sensoren Peutz (bron: [ref 1.])

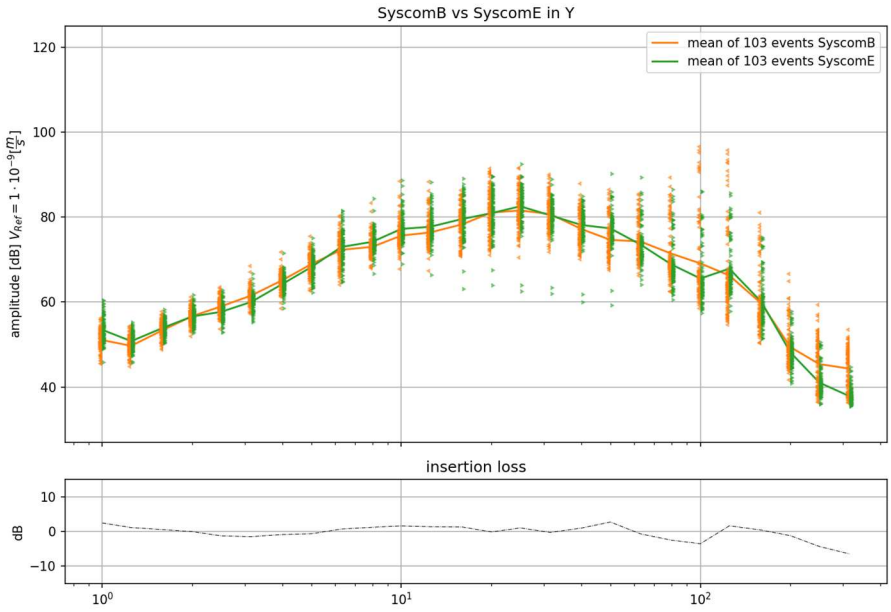


afbeelding 3.7 toont het tertsbandenspectrum van SyscomB en SyscomE in de X-richting. In de lagere frequenties (circa 4 tot en met 30 Hz) zijn de trillingsniveaus bij de onderdoorgang hoger dan in de referentieraai. Voor de Y- en Z-richting is dit verschil niet zichtbaar, zie afbeelding 3.8 en afbeelding 3.9. Voor de hogere frequenties (circa 100 tot en met 300 Hz) valt op dat de referentieraai meerdere uitschieters heeft die significant hoger zijn dan bij de onderdoorgang. Deze uitschieters zijn ook in de Y- en Z- richting zichtbaar. De trillingen bij de hogere frequenties worden mogelijk veroorzaakt door de kromming in het spoor welke sterker aanwezig is nabij de referentieraai ten opzichte van de onderdoorgang waar het spoor weer nagenoeg recht loopt.

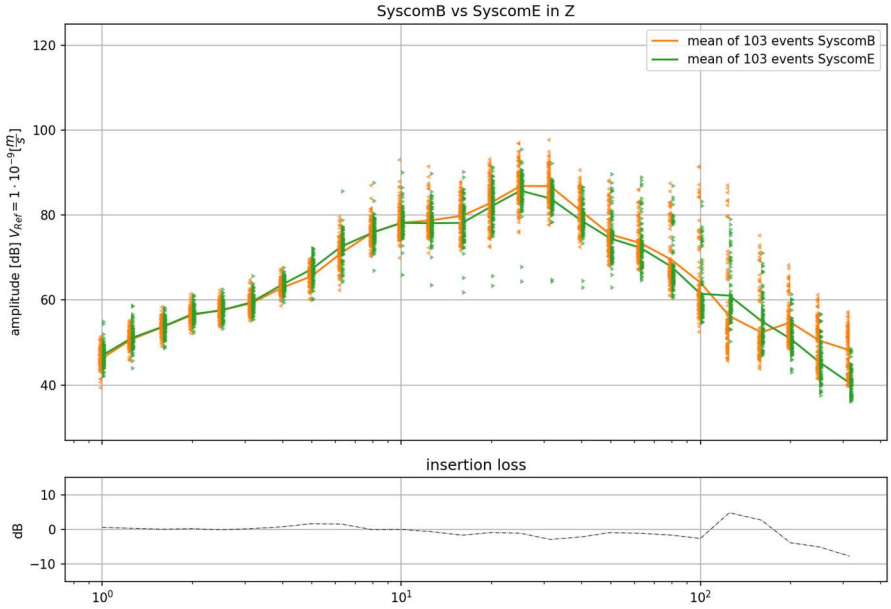
Afbeelding 3.7 Tertsbandenspectrum in X-richting



Afbeelding 3.8 Tertsbandenspectrum in Y-richting



Afbeelding 3.9 Tertsbandenspectrum in Z-richting



3.4 Snelheid

Er zijn 2 snelheidsradars geplaatst om een eventueel hoger trillingsniveau bij de onderdoorgang te verklaren dan wel te corrigeren voor de hogere snelheid op die locatie. Aangezien er uit de voorgaande paragrafen blijkt dat bij de onderdoorgang de trillingsniveaus niet significant hoger zijn dan bij de referentieraai, is er geen aanleiding om deze snelheidsdata verder te werken. Een verdere correctie voor snelheid zou mogelijk tot de optimistische conclusie leiden dat de onderdoorgang juist tot een reductie van trillingsniveaus leidt. Dit is echter niet in lijn met de handreiking spoortrillingen [Ref 3.], en daarmee ook niet in lijn met de worst case benadering.

4 CONCLUSIE

Er is een kortdurende meting uitgevoerd om de invloed van de Koggetunnel op het trillingsniveau in het plangebied te bepalen:

- de gemeten trillingsniveaus $V_{eff,max}$ conform SBR-B zijn dicht bij de Koggetunnel lager dan bij de 100 meter noordelijke gelegen referentieraai. Dit terwijl de snelheid ter plaatse van de referentieraai over het algemeen lager is dan bij de onderdoorgang vanwege het nabijgelegen station. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn:
  - de meetlocatie is gelegen in een bocht in het spoor, dit heeft mogelijk nadelig effect op de trillingsniveaus met name ter plaatse van de referentieraai waarbij de kromming het grootst is. Het verplaatsen van de trein door de bocht veroorzaakt mogelijk hogere trillingsniveaus dan op een recht stuk spoor. Daarnaast verplaatst de trein (= trillingsbron) zich in een boog rondom de meetlocatie waardoor de invloed van de trein op de trillingen over een langer traject aanwezig is. De trillingen worden hierbij mogelijk versterkt door interferentie van trillingen veroorzaakt door verschillende delen van de trein. Dit geldt dan met name voor de lange treinen;
  - lokale verschillen in de ondergrond tussen de twee meetraaien. Op locatie is vastgesteld dat ter plaatse van de referentieraai de ondergrond voornamelijk uit losgepakt zand bestaat, terwijl nabij de onderdoorgang de ondergrond duidelijk meer uit vast gepakt zand bestond en hier ook meer begroeiing aanwezig was. Over het algemeen geldt hoe stijver de grond des te hoger de demping [Ref 6.]. Vast gepakt zand is stijver dan lost gepakt zand, dus worden de trillingen nabij de onderdoorgang mogelijk meer gedempt ten opzichte van de referentieraai;
- zowel in de meetraai bij de Koggetunnel als bij de referentieraai lijken de trillingsniveaus niet of amper af te nemen bij toenemende afstand (loodrecht op het spoor). Voor diverse passages is er juist een toename met afstand te zien. Dit is afwijkend ten opzichte van de algemeen bekende afstandsrelatie, de zogenaamde Barkan-Curve. Ook deze observatie zou mogelijk verklaard kunnen worden door de hierboven genoemde argumenten (bocht in het spoor of lokale verschillen in de ondergrond).

Er kan hierdoor dus geconcludeerd worden dat de onderdoorgang geen dominant effect heeft op de trillingen in het plangebied.