

Haalbaarheidsonderzoek aspect
trillingen nieuw te realiseren school

Status	definitief
Versie	001
Rapport	M.2017.1097.00.R002
Datum	4 december 2017

Colofon

Opdrachtgever	Gemeente Arnhem Postbus 9200 6800 HA ARNHEM
Contactpersoon	de heer U. Buitenhuis 026 377 57 17 urban.buitenhuis@arnhem.nl
Project Betreft Uw kenmerk	GemArnhem/School Metamorfosenallee Haalbaarheidsonderzoek trillingen -
Rapport Datum Versie Status	M.2017.1097.00.R002 4 december 2017 001 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Van Pallandtstraat 9-11 6814 GM Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Informatie	ing. D.H. (Daan) Perfors 088 346 76 35 dpe@dgmr.nl
Auteur	ing. D.H. (Daan) Perfors 088 346 76 35 dpe@dgmr.nl
Verantwoordelijk	ing. M.H.M. (Michel) van Kesteren 088 346 78 00 ks@dgmr.nl
Verwerkt door	JBV RFE PZW

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Toetsingskader	5
3. Uitgangspunten	6
3.1 Spoor	6
3.2 Bouwplan	6
4. Trillingsmeting	7
4.1 Meetposities en -apparatuur	7
4.2 Meetresultaten	8
5. Prognose	10
5.1 Uitgangspunten	10
5.2 Resultaten en toetsing	10
6. Conclusie	11

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties bemande meting
Bijlage 2	Trillingsregistraties 24 uur (onbemand)

1. Inleiding

In opdracht van de gemeente Arnhem heeft DGMR een haalbaarheidsonderzoek op het aspect trillingen uitgevoerd op de kavel ten noordoosten van station Arnhem-Zuid, tussen de wijken Schuytgraaf en Elderveld. Op deze kavel wordt een school gerealiseerd. Het bouwplan hiervoor moet nog nader uitgewerkt worden.

Bij nieuwbouw in de spoorzone vormen trillingen door railverkeer een nader te beschouwen aspect. Afhankelijk van de gebruiksfunctie, de afstand tot het spoor, de rijksnelheden en vervoersintensiteit kunnen trillingen mogelijk tot hinder leiden. Op station Arnhem-Zuid passeren, stoppen en vertrekken zowel stoptreinen als intercity's. Daarnaast is sprake van passerende intercity's, treinen van Arriva en goederentreinen.

Het doel van het onderzoek is de haalbaarheid op het aspect trillingen door railverkeer in de nieuw te bouwen school beoordelen en de consequenties voor het project in beeld brengen. Aan de basis van de prognose staan trillingsmetingen die zijn verricht in de bodem van de kavel. De geprognoseerde trillingssterkten worden getoetst aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn Trillingen deel B 'Hinder voor personen in gebouwen'.

Dit rapport doet verslag van het hierboven omschreven onderzoek.

2. Toetsingskader

Voor dit project zijn geen nadere trillingseisen geformuleerd. Voor de beoordeling van trillingen op het aspect trillingshinder wordt de SBR-richtlijn deel B aangehouden. Deze richtlijn heeft geen wettelijke status, maar heeft mede door jurisprudentie een ruim draagvlak opgebouwd en wordt geïnterpreteerd als de meest recente stand der inzichten.

In de SBR-richtlijn trillingen deel B (SBR-B) worden voor herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd (weg- en railverkeer) streefwaarden gesteld ten aanzien van de optredende maximale trillingssterkte $V_{\max}$ en de langtijdgemiddelde effectieve waarde V_{per} in de vloer. De streefwaarden zijn afhankelijk van de gebruiksfunctie van het gebouw en van de periode van de dag (dag, avond en nacht). Welke van beide parameters bij de toetsing maatgevend is, hangt af van de sterkte van de trillingsbron en de 'duur' of herhalingsfrequentie waarmee de trillingsbron actief is. Voor de gebouwfunctie 'onderwijs en kantoor' zijn de streefwaarden (voor nieuwe situaties) weergegeven in tabel 1.

tabel 1: SBR streefwaarden voor trillingen ter voorkoming van hinder, nieuwe situaties

	Dag en avond			Nacht		
Gebouwfunctie	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Onderwijs en kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07

A1 = onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$; A2 = bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$

A3 = streefwaarde voor de gemiddeld effectieve waarde over de beoordelingsperiode V_{per} , indien $A1 < V_{\max} < A2$

De SBR-richtlijn Trillingen deel B is gebaseerd op de Duitse DIN4150 Teil 2 en hanteert dezelfde laagfrequente weegcurve als deze DIN. Hierdoor zijn de in de DIN gedefinieerde KB-klassen vergelijkbaar met de in de SBR-B gehanteerde $V_{\max}$. De DIN4150 hanteert de volgende kwalificatie qua voelbaarheid voor de mens:

- $KB \geq 0.1$: juist voelbaar
- $KB \geq 0.4$: goed voelbaar
- $KB \geq 1.6$: sterk voelbaar

3. Uitgangspunten

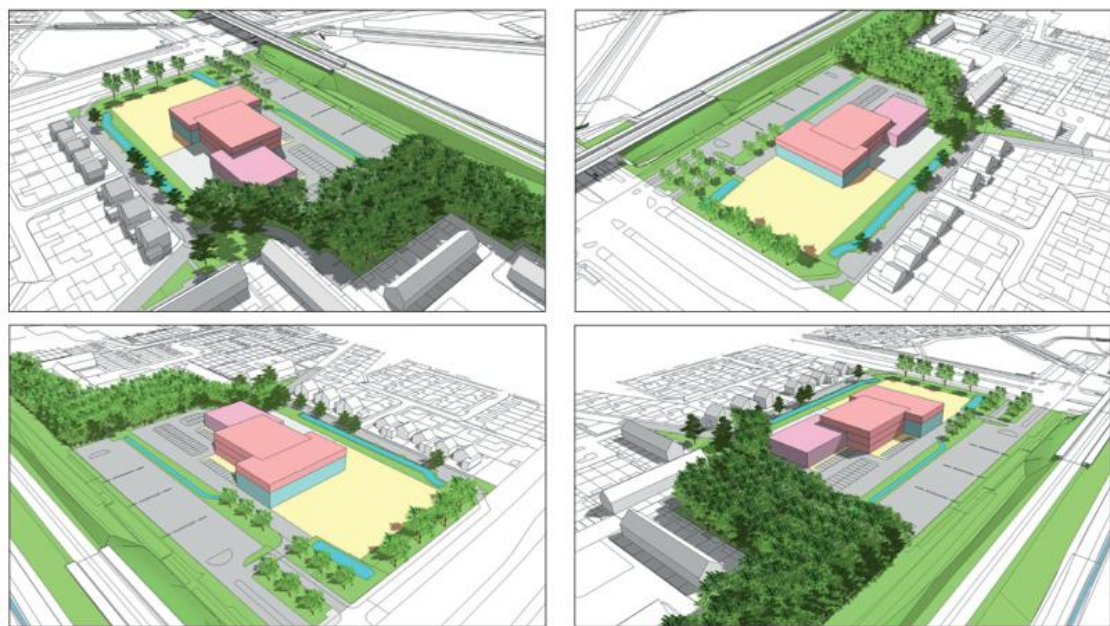
3.1 Spoor

De spoorlijn, bestaande uit twee sporen, verbindt Arnhem met Nijmegen en wordt gebruikt door (personen)vervoersbedrijf NS en Arriva. Naast personenvervoer wordt dit spoor ook gebruikt voor goederenvervoer. Tijdens de metingen zijn diverse treintypen waargenomen, grofweg op te delen in stoptreinen en intercity's.

Uit de dienstregeling blijkt dat er ten minste 8 treinen per uur station Arnhem-Zuid aandoen. Tijdens de meting is gebleken dat er ook diverse doorgaande treinen de bouwkael passeren. De rijsnelheid van de treinen die station Arnhem-Zuid aandoen ter hoogte van de bouwkael, is relatief laag. De rijsnelheid van passerende treinen ligt beduidend hoger.

3.2 Bouwplan

De nieuw te realiseren school staat geprojecteerd op de kavel ten noordoosten van station Arnhem-Zuid, tussen het spoor en de Oestgeeststraat. De afstand tussen het spoor en de school bedraagt circa 60 m. Het bouwplan betreft een school met drie bouwlagen (laagbouw), zie figuur 1. De bouwwijze is nog niet nader ingevuld.



figuur 1: impressie invulling school

4. Trillingsmeting

4.1 Meetposities en -apparatuur

Om een betrouwbare prognose te kunnen maken van trillingen door treinpassages in de nog te bouwen school, zijn trillingsmetingen verricht in de bodem op de bouwkegel. De metingen zijn verricht op 31 oktober 2017. Voor de meting zijn drie meetpunten ingericht, waarbij de sensoren 30-40 cm onder maaiveld zijn ingegraven. Hierdoor ontstaat een optimale koppeling met de bodem.

Figuur 2 toont een overzicht van de meetposities en de afstanden tot het spoor. Tabel 2 geeft een overzicht van de gebruikte meetapparatuur.



figuur 2: situatie inclusief meetpunten (bron: Google Maps)

tabel 2: overzicht meetposities en meetrichtingen

Locatie	Syste(e)m(en)	Meetrichting
MP 1 (@ 65m)	AH0088 Vibra+ (serienummer VIB01045) AH0082 Syscom MR2002CE (serienummer 10.220.848)	X: horizontaal $\perp$ spoor Y: horizontaal // spoor Z: verticaal
MP 2 (@ 75m)	AH0102 Vibra+ (serienummer VIB01188) AH0051 Syscom MR2002CE (serienummer 1.005.310)	X: horizontaal // spoor Y: horizontaal $\perp$ spoor Z: verticaal
MP 3 (@ 105m)	AH0087 Vibra+ (serienummer VIB01044) AH0054 Syscom MR2002CE (serienummer 4.436.096)	X: horizontaal $\perp$ spoor Y: horizontaal // spoor Z: verticaal X: horizontaal // spoor Y: horizontaal $\perp$ spoor Z: verticaal

4.2 Meetresultaten

Er is vier uur bemand gemeten waarbij treinpassages in een journaal zijn bijgehouden. In deze periode zijn 44 doorgaande treinen en 21 stoptreinen geregistreerd. Bijlage 1 toont de gemeten trillingssterkten V_{top} in de tijd voor de drie bodemmeetpunten. De treinpassages zijn hierin duidelijk herkenbaar. De maximale trillingssterkte V_{top} per type trein is samengevat in tabel 3. Er is hier gekozen voor de maximale trillingssterkte V_{top} omdat de voor hinder maatgevende $V_{eff,max}$ dermate laag is dat hierop een onderling vergelijking op de verschillende meetafstanden niet mogelijk is. De $V_{eff,max}$ is voor alle reizigerstreinen lager dan 0,1 en dus onder de apparaatgebonden ondergrens voor vastlegging van de trillingssterkte.

De goederentrein genoemd in tabel 3 is niet voorgekomen tijdens de bemande meting, maar is uit de 24-uurs meting gehaald.

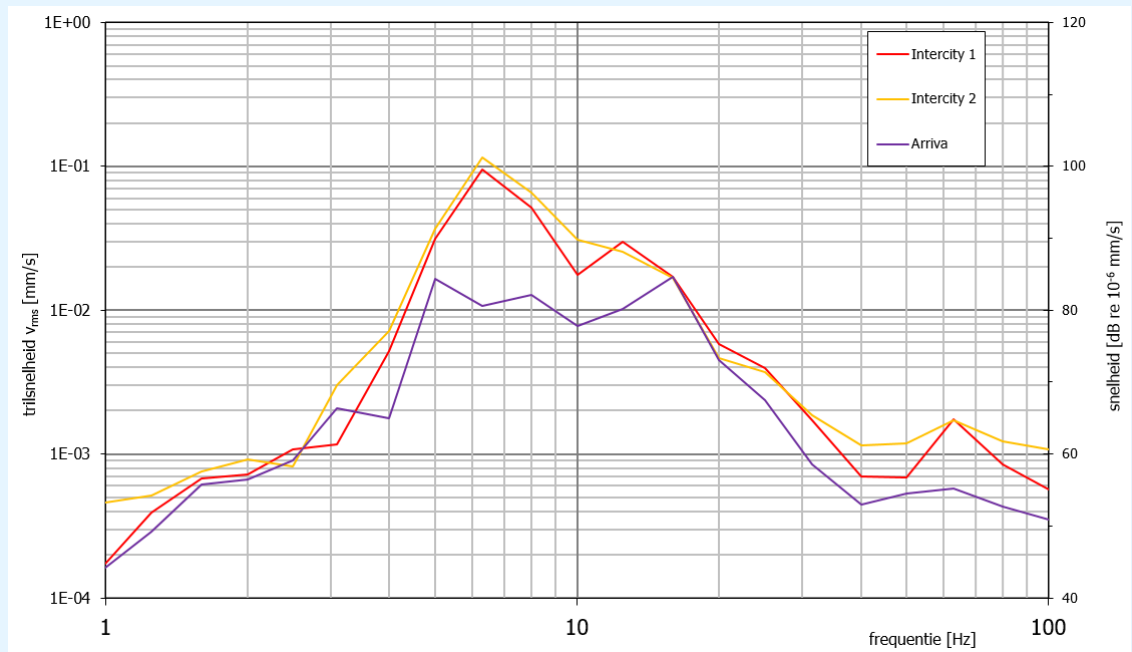
tabel 3: trillingssterkten v_{top} zwaarste passages in verticale en horizontale richting in [mm/s]

	Treinbeweging	Type trein	MP1 - 65m			MP2 - 75m			MP3 - 105m		
			X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Bemande meting	Doorgaande treinen	Intercity's	0.18	0.13	0.29	0.17	0.21	0.12	0.12	0.1	0.2
		Arriva	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.12	<0.10	<0.10	<0.10
	Stoptreinen	Intercity's	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Onbemande meting	Stop- en doorgaande trein	Alle	0.31	0.35	0.25	0.21	0.32	0.43	0.21	0.25	0.28
	Doorgaande trein*	Goederentrein*	0.5	0.58	0.71	0.45	0.53	0.58	0.29	0.57	0.66

* vermoedelijk een doorgaande goederentrein

Tabel 3 wijst uit dat de afname van de trillingssterkte in de bodem, van 65 m naar 105 m afstand in verticale richting, ongeveer een factor 1,5 bedraagt. De hoogste trillingssterkten werden veroorzaakt door de goederentrein en de zwaardere doorgaande personentreinen.

Per treintype zijn het gemiddelde en maximum (RMS) trillingspectrum op 65 m afstand van het spoor bepaald. Hiervoor zijn de passages van de intercity's en het Arriva materieel gebruikt. De maximale spectra zijn weergegeven in figuur 3. Hierin is te zien dat de maximale amplitudes optreden in de tertsbanden van 5 tot 16 Hz, waarbij de 6.3 Hz tertsband dominant is. Dit is ook op de andere meetpunten het geval.



figuur 3: trillingsspectra (Vrms) maatgevende treinpassages op 65 m afstand tot het spoor (meetpunt 1)

5. Prognose

5.1 Uitgangspunten

Op basis van de meetpunten op de bouwkegel (65 m en 105 m afstand) is een trillingsprognose gemaakt voor het eerste en verste gebouwstramien aan spoorzijde. Voor de overdrachtsverzwakking van bodem naar gebouw wordt op basis van de gebouwkenmerken (laagbouw) circa 2 dB aangehouden (gebaseerd op TNO-data en door DGMR opgebouwde kennis en ervaring). Dit hangt verder af van de gebouwmassa en specifieke resonanties van het gebouw op de fundatie.

Van belang voor het trillingsmilieu in het gebouw zijn ook de keuze van de draagconstructie en de vloerconstructie. Hierover zijn nog geen gegevens bekend. Algemeen bezit een stalen draagconstructie minder damping dan een betonconstructie. Voor het vloersysteem geldt dat vloeren met een grote overspanning trillingsgevoeliger zijn dan vloeren met kleine overspanning en dat voorgespannen prefab betonelementen minder damping bezitten dan in situ gestort beton.

In de trillingsprognose gaan wij uit van de twee volgende concepten:

- 1 Stalen draagconstructie en prefab (kanaalplaat)vloeren met overspanning 8 - 12 m.
- 2 Betonnen draagconstructie en massieve betonvloeren met overspanning < 8 m.

5.2 Resultaten en toetsing

In tabel 4 staan de verwachte trillingssterkten $V_{eff,max}$ weergegeven. Op basis van het daadwerkelijk ontwerp en uitgangspunten kan een nadere prognose gemaakt worden.

tabel 4: prognose trillingssterkte $V_{eff,max}$

Gebouwconcept	Vloer	Prognose 65 m		Prognose 105 m	
		Intercity	Goederentrein*	Intercity	Goederentrein*
1) Staalconstructie	Begane grond	0.29	1.02	0.22	0.75
	Tweede verdieping	0.45	1.41	0.34	1.04
2) Betonconstructie	Begane grond	0.17	0.45	0.10	0.33
	Tweede verdieping	0.25	0.62	0.14	0.46

* prognose is gebaseerd op de maximale trillingssterkte en de daarbij behorende dominante frequentie

Uit tabel 4 is op te maken dat de geprognosticeerde trillingssterkten voor personentreinen hoger zijn dan de onderste streefwaarde (A1), maar lager dan de bovenste streefwaarde (A2) geldend voor onderwijsfuncties. De gemiddelde effectieve waarde (V_{per}) bedraagt maximaal 0.04 en voldoet daarmee aan de A3-streefwaarde. Personentreinen voldoen daarmee geheel aan de SBR-B.

De prognoses van de trillingsopwekking door goederentreinen (gebaseerd op de maximale trillingssterkte en bijhorende dominante frequentie) laten zien dat een staalconstructie in combinatie met kanaalplaatvloeren met grote overspanning tot hinder conform de SBR-B leidt en hier dus niet geschikt is. Geadviseerd wordt daarom het gebouw uit te voeren met een beton draagconstructie, waarbij een maximale vloeroverspanning van 8 m toelaatbaar is.

Opgemerkt wordt dat er sprake is van een bijzondere goederentreinpassage, vanwege de hoge trilniveaus in relatie tot de gemeten relatief korte passagetijd. Uit registraties is op te maken dat het om een korte en langzaam rijdende trein gaat, dit kan duiden op een werk-/onderhoudsvoertuig.

6. Conclusie

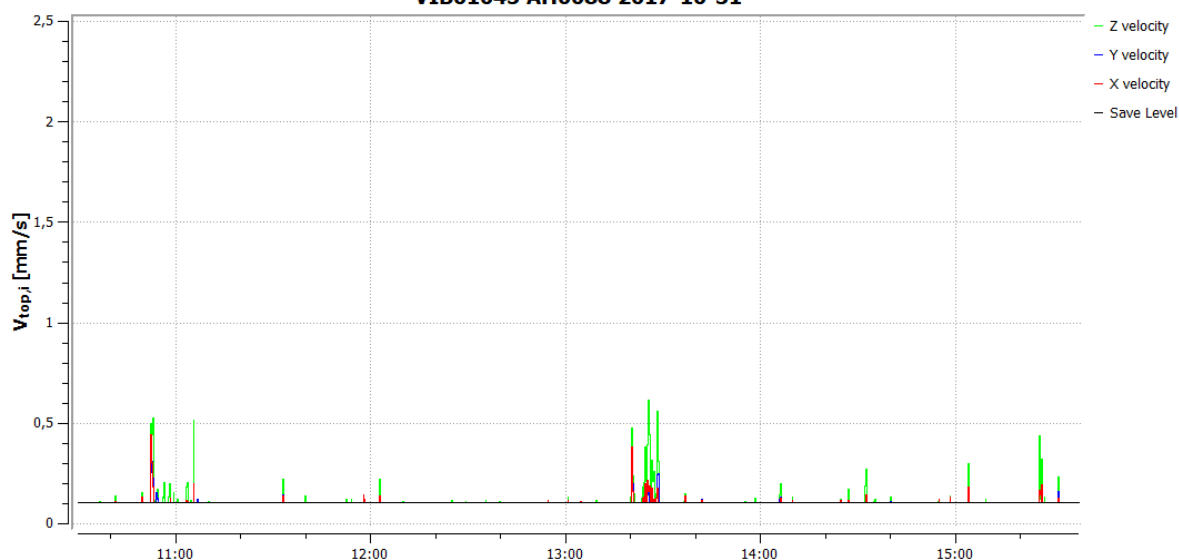
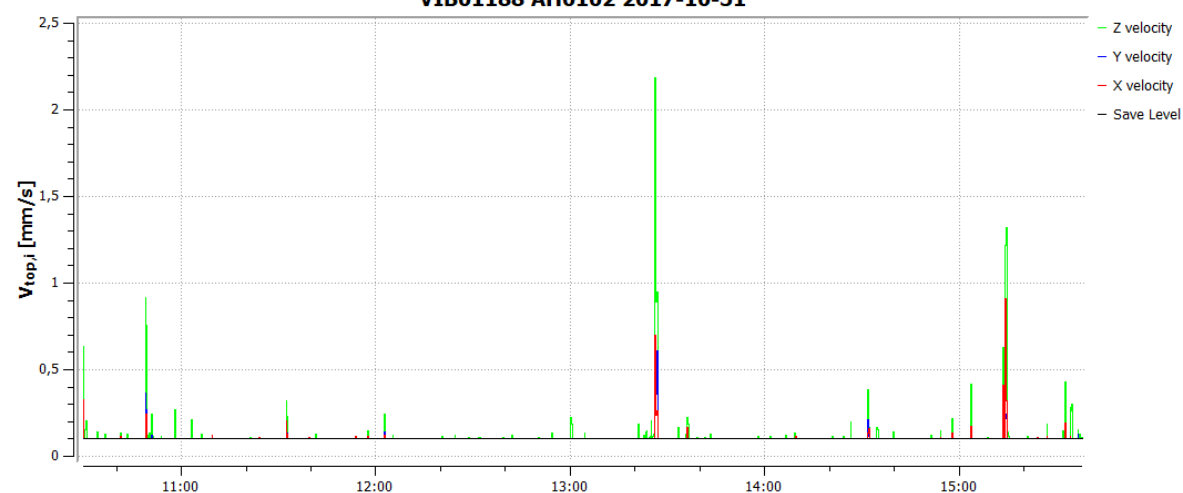
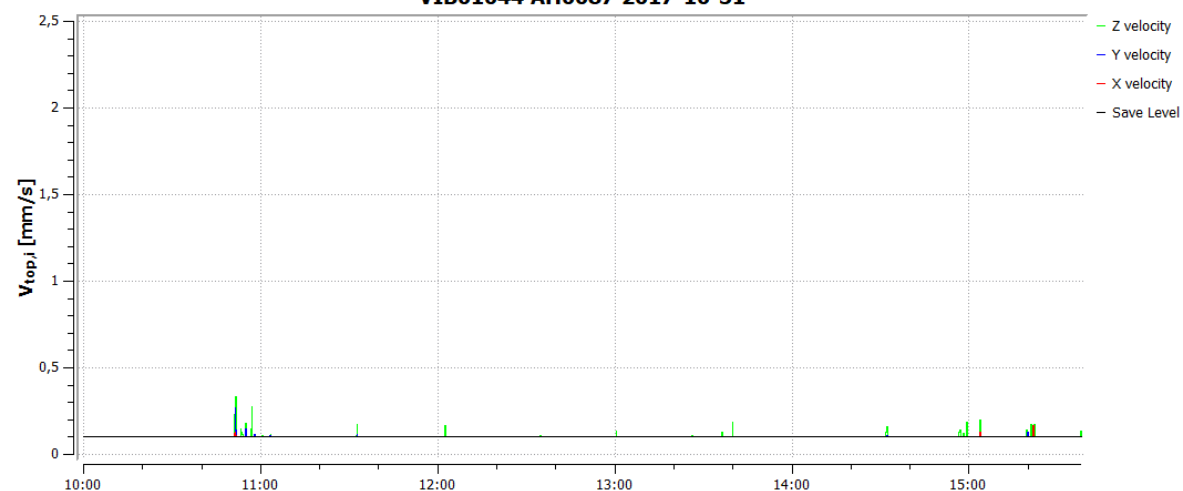
Uit de haalbaarheidsstudie, gebaseerd op trillingsmetingen in de bouwkavel en prognose van de te verwachten trillingssterkten op vloervelden, volgt dat in de nog te realiseren school met voorwaarden voldaan kan worden aan de SBR-B. Deze voorwaarden betreffen het toepassen van een paalfundering, het toepassen van een betonnen draagconstructie en verdiepingsvloeren met een beperkte vloeroverspanning van maximaal 8 m. Deze voorwaarden zijn te wijten aan de goederentreinpassages.



ing. M.H.M. (Michel) van Kesteren
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

Bijlage 1

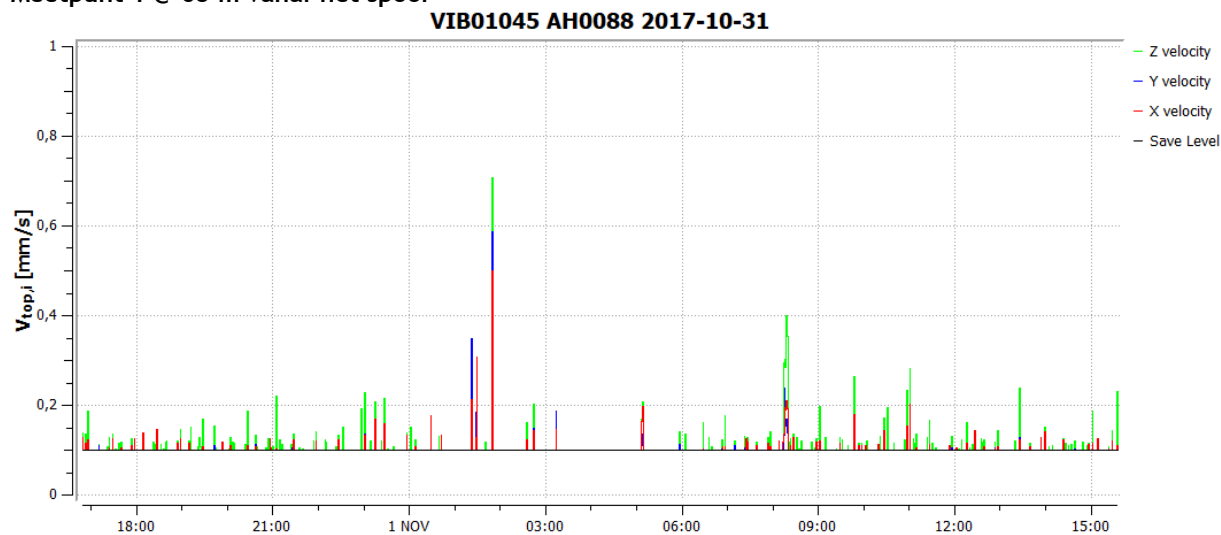
Titel	Trillingsregistraties bemande meting
Omvang	1
Bron	DGMR

Meetpunt 1 @ 65 m vanaf het spoor**VIB01045 AH0088 2017-10-31****Meetpunt 2 @ 75 m vanaf het spoor****VIB01188 AH0102 2017-10-31****Meetpunt 3 @ 105 m vanaf het spoor****VIB01044 AH0087 2017-10-31**

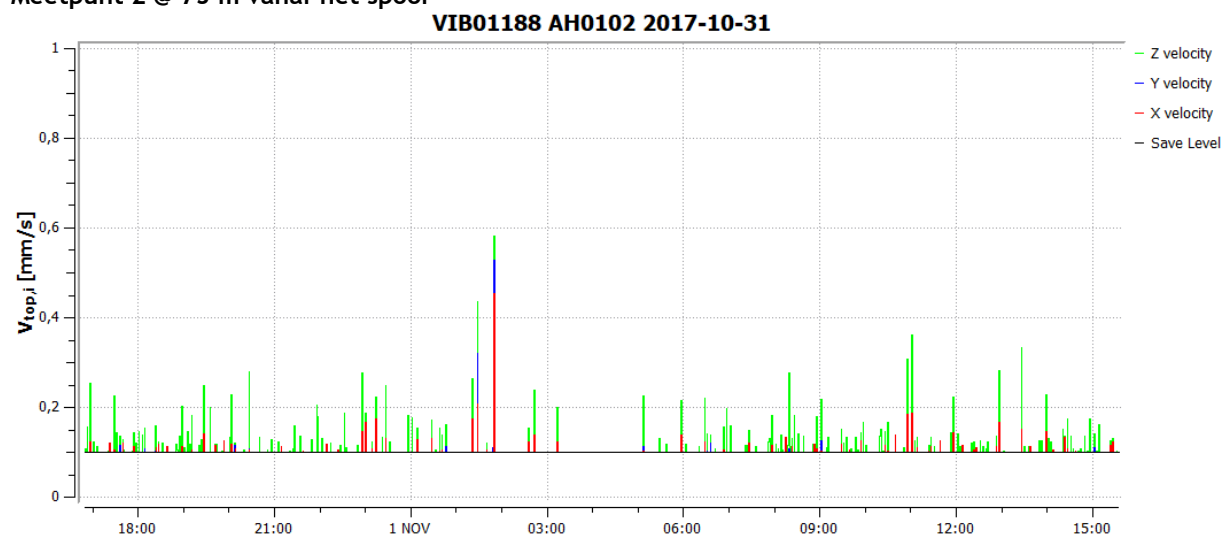
Bijlage 2

Titel	Trillingsregistraties 24 uur (onbemand)
Omvang	1
Bron	DGMR

Meetpunt 1 @ 65 m vanaf het spoor



Meetpunt 2 @ 75 m vanaf het spoor



Meetpunt 3 @ 105 m vanuit spoor

