

Herontwikkeling AKZO-terrein, Arnhem

Onderzoek spoortrillingen

Status	definitief
Versie	002
Rapport	M.2020.1473.06.R001
Datum	11 februari 2022



Colofon

Opdrachtgever	KlokGroep Bouw & Ontwikkeling BV
Contactpersoon opdrachtgever	de heer T. Ahout E: t.ahout@kloggroep.nl
Project Betreft Uw kenmerk	Woningen AKZO terrein Onderzoek spoortrillingen -
Rapport Datum Versie Status	M.2020.1473.06.R001 11 februari 2022 002 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Van Pallandtstraat 9-11 6814 GM Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 rfe@dgmr.nl
Auteur	ing. J.J. (Jesse) Bijl 088 346 76 39 jby@dgmr.nl
Projectadviseur	ing. M.H.M. (Michel) van Kesteren 088 346 78 00 ks@dgmr.nl
2e lezer/secr.	RFE BDI

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Situatie	5
2.1 Kavel	5
2.2 Spoor	5
3. Toetsingskader	6
4. Metingen	7
4.1 Meetomstandigheden	7
4.2 Meetpunten	7
4.3 Meetapparatuur	7
4.4 Verwerking meetresultaten	8
5. Resultaten	9
5.1 Trillingsmetingen	9
5.2 Beschouwing	9
6. Uitgangspunten prognose	10
6.1 Vloeren	10
6.2 Gebouwcasco en fundering	10
7. Prognoseresultaten	11
7.1 Beschouwing resultaten	11
8. Conclusies en aanbevelingen	12

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties
Bijlage 2	Trillingsprognoses

1. Inleiding

In opdracht van Klokgroep heeft DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. onderzoek gedaan naar spoortrillingen voor het AKZO-terrein in Arnhem. De bouwka­vel grenst aan de spoorlijn Arnhem - Zutphen en de minimum afstand van toekomstige bebouwing tot het spoor bedraagt ongeveer 35 meter. Onderzocht is of trillingen van het spoor het wooncomfort in de woningen aantast.

Om inzicht te krijgen in de trillingsrisico's zijn trillingsmetingen verricht op de bouwka­vel. Om meer inzicht te krijgen in de karakteristieke overdrachtsverzwakking van de bodem naar een bouwwerk op deze locatie zijn ook metingen gedaan aan het nog te slopen utiliteitsgebouwtje op de hoek van de kavel. Op basis van de meetresultaten is een prognose gemaakt van de te verwachten trillingen in de nieuwbouw. Ook worden randvoorwaarden gegeven voor het ontwerp om te kunnen voldoen aan de SBR-richtlijn Trillingen, deel B.

2. Situatie

2.1 Kavel

Op de kavel wordt een gevarieerd woonprogramma gerealiseerd met appartementencomplexen van verschillende hoogtes en rijwoningen. De minimale afstand tot het spoor bedraagt 35 meter, zie figuur 1.



figuur 1: bouwplan AKZO-terrein, Arnhem

Het bouwplan is opgedeeld in twee delen: het westelijk deel bestaat uit appartementen en het oostelijk deel voornamelijk uit rijwoningen. De appartementen variëren in hoogte van vier tot achttien bouwlagen. De rijwoningen variëren van twee tot vier bouwlagen.

2.2 Spoor

Ter plaatse van de kavel bestaat de sporenbundel uit twee sporen. Deze sporen zijn in gebruik door intercity's, sprinters en goederentreinen. De treinen richting Zutphen gebruiken het zuidelijke spoor, de treinen naar Arnhem het noordelijke spoor. De rijdsnelheid van de treinen is variabel. Intercity's die niet stoppen op de stations Arnhem Presikhaaf of Velperpoort en goederentreinen die in de regel ook niet stoppen op Arnhem Centraal, rijden met aanmerkelijk hogere snelheid dan de stoptreinen (sprinters).

3. Toetsingskader

Er zijn voor dit project geen specifieke trillingseisen opgegeven. Het ministerie van I&W heeft in het jaar 2019 de “Handreiking nieuwbouw en spoortrillingen” uitgegeven, die in dit rapport wordt aangehouden. In deze handreiking wordt de SBR-B richtlijn “Trillingshinder voor personen in gebouwen” geadviseerd als toetsingskader voor trillingen. In deze richtlijn zijn de in tabel 1 weergegeven streefwaarden opgenomen.

tabel 1: SBR-B - Streefwaarden continue en herhaald voorkomende trillingen, nieuwe situaties

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Onderwijs/kantoor/bijeenkomst	0,1	0,6	0,07	0,1	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 $A1 < V_{\max} < A2$

Nieuwe woonbebouwing, nabij weg of spoorlijn, voldoet aan de SBR-B als de maximale effectieve trillingssterkte $V_{\max}$ kleiner is dan 0,2 (nacht) en de gemiddelde trillingssterkte V_{per} niet hoger dan 0,05. Als $V_{\max}$ kleiner is dan 0,1, komt de toetsing van de V_{per} te vervallen. Voor de toetsing mogen meet- en prognosewaarden worden afgerond op het aantal decimalen van de streefwaarde.

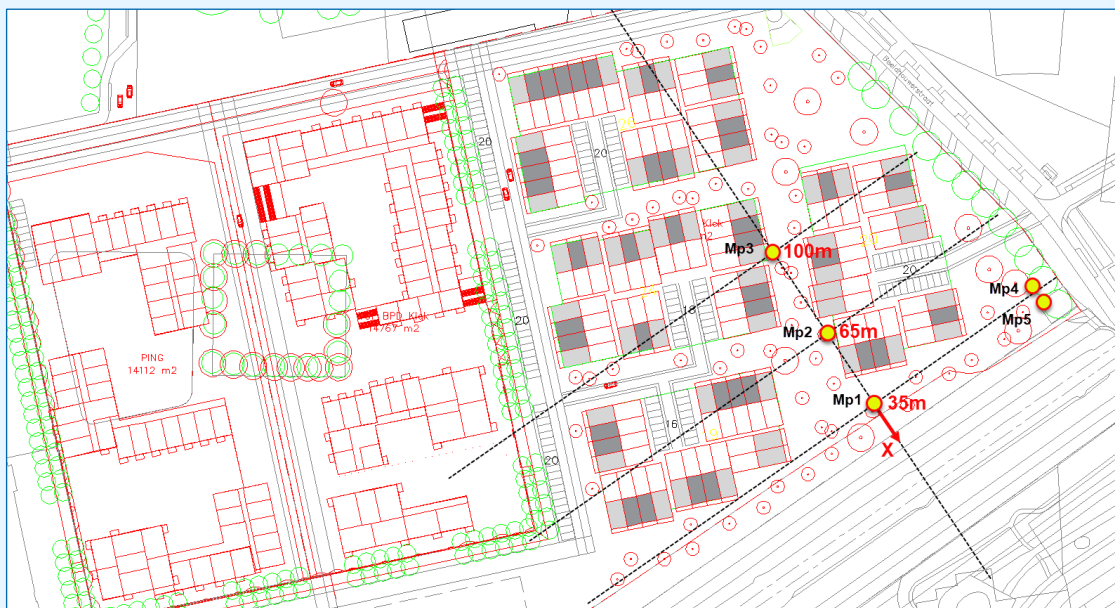
4. Metingen

4.1 Meetomstandigheden

In overeenstemming met de aanbevelingen in de SBR-B is een meetperiode van een week aangehouden, om variaties in spoorgebruik en materieel mee te nemen in de metingen. De metingen zijn uitgevoerd tussen 15 en 22 december 2021. In deze meetperiode zijn er geen afwijkingen waargenomen in de dienstregeling.

4.2 Meetpunten

Om informatie te verkrijgen over de trillingsbelasting op de kavel zijn drie meetsystemen in een lijn haaks op het spoor geplaatst, zie figuur 2. Mp1 is op een afstand van ongeveer 35 meter tot het meest nabije spoor geplaatst, de afstand waarop de dichtst bij het spoor gelegen bebouwing wordt gerealiseerd. De meetpunten Mp2 en Mp3 zijn verdeeld over een afstand tot maximaal 100 meter van het spoor, in de veronderstelling dat op grotere afstanden nauwelijks nog een trillingsbijdrage van treinen kan worden gemeten. Om ook inzicht te krijgen in de overdracht van de bodem naar een op staal gefundeerd bouwwerk is er ook een meetsysteem bevestigd aan de gevel van het utiliteitsgebouwtje, net boven maaiveld (Mp5). Dit meetpunt is te beschouwen als fundatiemeetpunt.



figuur 2: meetposities

4.3 Meetapparatuur

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de gebruikte meetsystemen.

tabel 2: meetlocaties en systemen

Meetpunt	Locatie	Meetsysteem	Serienummer
Mp1	Bodem 35 meter afstand	Profound Vibra SBR	VIB 00488
Mp2	Bodem 65 meter afstand	Profound Vibra SBR	VIB 00588
Mp3	Bodem 100 meter afstand	Profound Vibra SBR	VIB 01188
Mp4	Bodem 40 meter afstand	Profound Vibra SBR	VIB e0426
Mp5	Fundatie 35 meter afstand	Profound Vibra SBR	VIB e0427

4.4 Verwerking meetresultaten

Om alleen niet verstoorde treinpassages mee te nemen in de analyse, zijn treinpassages en mogelijke verstoringen geïdentificeerd op basis van onderling vergelijk van de meetsystemen en waar nodig en mogelijk geverifieerd op basis van camerabeelden. Verstoorde treinpassages zijn vervolgens buiten beschouwing gelaten.

De meetsystemen meten de maximale trillingssterkte V_{top} en de voor trillingshinder maatgevende effectieve trillingssterkte V_{eff} . De V_{eff} wordt gemeten in 30 seconden intervallen, overeenkomstig de SBR-B. Dit is voor identificatie van treinpassages en verstoringen te grof. Dit is daarom gedaan aan de hand van het trillingssignaal V_{top} dat per 3 seconden is vastgelegd en dus een 10x hogere resolutie heeft. Van geïdentificeerde treinpassages, die vrij zijn van verstoring, is vervolgens de bijbehorende effectieve trillingssterkte $V_{eff,max}$ geselecteerd voor verdere analyse en prognose. De hoogste $V_{eff,max}$ is de maatgevende V_{max} volgens de SBR-B richtlijn.

5. Resultaten

5.1 Trillingsmetingen

Bijlage 1 toont de trillingsregistraties over een week meten. Afgebeeld is de trillingssterkte V_{top} die, zoals in paragraaf 4.4 aangegeven, wordt gebruikt voor identificatie van treinpassages. In tabel 3 zijn de passages met de hoogste trillingsopwekking verzameld. Weergegeven zijn de trillingssterkten $V_{eff,max}$ per passage. Deze zijn aflopend gerangschikt op de Z-richting van Mp1.

tabel 3: trillingssterkten $V_{eff,max}$ - maatgevende treinpassages

Treinen			Mp1 (35 m)			Mp2 (65 m)			Mp3 (100 m)			Mp5 (fundatie)		
			X*	Y*	Z*	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	19/12 10:39	Goederentrein	0,09	0,10	0,20	0,08	0,06	0,10	0,06	0,05	0,08	0,10	0,07	0,10
2	21/12 11:17	Goederentrein	0,11	0,10	0,17	0,10	0,10	0,10	0,07	0,07	0,08	0,10	0,07	0,10
3	18/12 13:35	Goederentrein	0,09	0,10	0,17	0,07	0,07	0,09	0,05	0,05	0,07	0,09	0,07	0,10
4	18/12 01:18	Goederentrein	0,10	0,07	0,17	0,07	0,05	0,08	0,04	0,04	0,06	0,08	0,06	0,10
5	16/12 14:16	Goederentrein	0,10	0,11	0,15	0,09	0,08	0,10	0,07	0,06	0,08	0,10	0,10	0,12
6	17/12 22:19	Goederentrein	0,10	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,08	0,07	0,08	0,19	0,11	0,12
7	21/12 05:46	Goederentrein	0,10	0,10	0,15	0,09	0,07	0,09	0,06	0,05	0,06	0,09	0,06	0,09
8	16/12 20:38	Goederentrein	0,09	0,09	0,15	0,07	0,05	0,09	0,04	0,04	0,06	0,09	0,06	0,08
9	18/12 09:37	Reizigerstrein	0,07	0,06	0,15	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,07	0,04	0,06
10	18/12 00:58	Goederentrein	0,10	0,10	0,14	0,09	0,07	0,10	0,07	0,07	0,09	0,10	0,09	0,10
11	16/12 22:18	Goederentrein	0,08	0,08	0,14	0,07	0,05	0,07	0,04	0,04	0,06	0,09	0,06	0,09
12	22/12 02:39	Reizigerstrein	0,06	0,06	0,14	0,05	0,04	0,06	0,03	0,04	0,05	0,07	0,06	0,09
13	16/12 08:40	Goederentrein	0,07	0,08	0,14	0,05	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04	0,08	0,06	0,08
14	18/12 14:18	Goederentrein	0,10	0,11	0,13	0,10	0,09	0,10	0,07	0,06	0,10	0,12	0,11	0,16
15	20/12 01:20	Goederentrein	0,13	0,10	0,13	0,09	0,10	0,10	0,07	0,07	0,09	**	**	**
Maximum			0,13	0,11	0,20	0,10	0,10	0,10	0,08	0,07	0,10	0,19	0,11	0,16

* X-richting ⊥ spoor, Y-richting // spoor en Z-richting verticaal

** niet gemeten door vorst in accu's

5.2 Beschouwing

In tabel 3 is te zien dat de top-15 bestaat uit goederentreinen en twee reizigerstreinen. Vijf van deze treinen kwamen voorbij in de nachtperiode. Reizigerstreinen wekken in de bodem nabij het spoor soms nog net voelbare trillingen op, maar dat komt niet veel voor. De gemeten trillingssterkten (V_{max}) op het tweede meetpunt op 65 meter afstand lagen bij reizigerstreinen al onder de voelbaarheidsgrens (van 0,1) en waren bij goederentreinen daaraan hooguit gelijk. Om tabel 3 overzichtelijk te houden, is meetpunt Mp4 niet opgenomen, maar wel te vinden in bijlage 1.

Te zien is dat van bodem (Mp1) naar fundering (Mp5) een trillingsverzwakking van een factor 1,5 tot 2 optreedt, ondanks de geringe grootte van dit op staal gefundeerde utiliteitsgebouwtje. Bij nog zwaardere bouwwerken en bouwwerken gefundeerd op palen mag daarom minstens een factor 2 trillingsverzwakking verwacht worden.

Bij de zwaardere goederentreinen treedt tussen de meetpunten op 35 en 65 meter afstand van het spoor een afstandsverzwakking van een factor 2 op. Bij de reizigerstreinen lijkt deze verzwakking wat groter, meer richting een factor 3. Dat de trillingen zo sterk afnemen met toenemende afstand tot het spoor komt door de bodemopbouw die op deze locatie voornamelijk bestaat uit zand.

6. Uitgangspunten prognose

Voor de prognoses van de te verwachten trillingssterkten in de toekomstige bebouwing wordt gebruikgemaakt van een empirisch rekenmodel. Daarin wordt een aantal aannamen gedaan qua bouwwijzen, die hieronder worden omschreven.

6.1 Vloeren

Voor het trilgedrag van vloeren wordt gerekend met overdrachtscurven waarbij de maximale trillingsversterking optreedt rond de laagste buig-eigenfrequentie van de vloer. De vloerversterking bedraagt doorgaans een factor 1 tot 3 (tot 10 dB), afhankelijk van het vloertype en de mate waarin vloereigenfrequenties overeenkomen met dominante frequenties in het treinspectrum. In kritische situaties is het dus van belang om buig-eigenfrequenties van vloeren buiten de door treinen opgewekte frequenties te houden. Voor de goederentreinen met de hoogste trillings-opwekking (zie tabel 3) betreft dit voor deze kavel het frequentiegebied van 20 tot 40 Hz, een frequentiegebied dat veelal voor weinig problemen zorgt. Binnen de te bouwen huizen en appartementen zal dit voor weinig problemen zorgen. Er zijn een aantal treinen in de top-15 die rond 6 Hz trillingen opwekken, deze frequentie dringt makkelijker door tot in de woning. Hierdoor is het nodig om vloeren zo te dimensioneren dat de buig-eigenfrequentie hoger dan 12 Hz wordt. Bij een betonvloer met een laagste buig-eigenfrequentie vanaf 12 Hz zal de versterkingsfactor (ruim) lager zijn dan een factor 2. In de prognose wordt rekening gehouden met een vloer met een buig-eigenfrequentie van tenminste 12 Hz.

6.2 Gebouwcasco en fundering

De prognoses gaan uit van een standaard gebouw met een betonnen draagconstructie, relatief stijve vloeren (zie vorige alinea) en een paalfundering. In gebouwen gefundeerd op staal zullen de trillingssterkten naar verwachting hoger uitvallen. Ook bij zeer korte funderingspalen zullen de resultaten niet veel anders zijn dan bij een fundering op staal. In de prognoses is aangenomen dat funderingspalen langer zijn dan tien meter.

Hoger op in een gebouw kunnen trillingen in de horizontale richting soms dominant zijn. Dit treedt op als het gebouw in resonantie raakt op het funderingssysteem en een kantel- of buigbeweging ondergaat. Dit speelt zich af bij lage frequenties (≤ 10 Hz) en komt met name voor bij zware en lange goederentreinen. Bij reizigerstreinen is dit risico nauwelijks aanwezig. In de prognoses wordt horizontaal rekening gehouden met maximaal een factor 2 versterking rond de verwachte kantelfrequentie van een bouwwerk. Bij laagbouw ligt deze kantelfrequentie meestal ruim onder de 10 Hz. Bij frequenties vanaf 10 Hz wordt rekening gehouden met een geleidelijk toenemende verzwakking.

7. Prognoseresultaten

In bijlage 2 zijn de prognoseberekeringen opgenomen voor een aantal mogelijke gebouwtypen op de eerste lijn gezien vanaf het spoor. Deze bebouwing staat dan op een afstand van ongeveer 35 meter van het hart van het dichtstbijzijnde spoor. De prognoses zijn opgesteld voor de maatgevende goederentrein qua trillingsopwekking. Reizigerstreinen leiden nauwelijks tot voelbare trillingen en voor zover dit het geval is, wordt voldaan aan de daarvoor geldende streefwaarde uit de SBR-B in de nachtperiode. Voor dit treintype is daarom geen prognose gemaakt.

Voor de V_{per} berekening (gemiddelde trillingssterkte) is gebruikgemaakt van de verdelingsfunctie van de V_{max} , zoals gemeten op bodemmeetpunt Mp1. Deze gemeten V_{max} -waarden zijn verschaald naar de prognosewaarden en vervolgens gesommeerd tot de gemiddelde trillingssterkte V_{per} over de beoordelingsperiode. Hierdoor zijn alle goederentreinen en reizigerstreinen meegewogen in de V_{per} -berekening.

In tabel 4 is een overzicht gegeven van de geprognosticeerde maximale trillingssterkten V_{max} , gebaseerd op de maatgevende treinpassage.

tabel 4: trillingsprognose AKZO-terrein

Gebouwtype	Richting	Trillingssterkte $V_{\max}$		
		$V_{\max}$	$V_{\max}$	$V_{\max}$
Afstand tot spoor		35 m	65 m	100 m
Laagbouw op staal 2-4 lagen	Horizontaal	0,07 - 0,20	0,04 - 0,13	0,03 - 0,09
	Verticaal	0,10 - 0,13	0,05 - 0,08	0,03 - 0,05
Laagbouw op palen 2-4 lagen	Horizontaal	0,07 - 0,20	0,04 - 0,13	0,03 - 0,09
	Verticaal	0,09 - 0,11	0,05 - 0,07	0,03 - 0,04
Appartementen 5-9 lagen	Horizontaal	0,05 - 0,14	0,03 - 0,09	0,02 - 0,07
	Verticaal	0,07 - 0,09	0,04 - 0,06	0,02 - 0,04
Hoogbouw 10+ lagen	Horizontaal	0,02 - 0,05	0,01 - 0,03	0,01 - 0,02
	Verticaal	0,05 - 0,07	0,03 - 0,04	0,02 - 0,03

7.1 Beschouwing resultaten

In tabel 4 is te zien dat de zwaarste goederentreinen tot net voelbare trillingen kunnen leiden in grondgebonden eengezinswoningen en appartementencomplexen op korte afstand van het spoor. Daarbij is voor de grondgebonden woningen ook gekeken naar de invloed van een fundering op staal danwel een fundering op palen. Vanwege de verwachte dominante frequenties van het treinspectrum is deze invloed echter zeer gering met een licht voordeel in het geval van een paalfundering (lengte ≥ 10 m).

Voor alle soorten bouw kan er in de eerste lijn vanaf het spoor (op 35 meter), worden voldaan aan streefwaarden (A2 en A3) uit de SBR-B. Op enkele treinen per week na, kan in laagbouw vanaf 50 meter afstand zelfs al worden voldaan aan streefwaarde A1. Voor de wat zwaardere appartementenbouw is dit bij alle treinen het geval. Omdat er maar zo weinig treinen tot voelbare trillingen leiden is de te verwachten gemiddelde trillingssterkte V_{per} in alle geprojecteerde bebouwing zeer laag ($<0,01$) tot zelfs nihil. De V_{per} voldoet daarmee zeer ruim aan de streefwaarde (A3) uit de richtlijn. Samenvattend kan worden gesteld dat in het hele project wordt voldaan aan de SBR-B.

8. Conclusies en aanbevelingen

Uit de gedane trillingsmetingen blijkt dat alleen de zware goederentreinen van belang zijn voor het project. Specifiek gaat het over de lange goederentreinen met tankwagens en containers. Deze goederentreinen rijden enkele malen per dag en wekken aanzienlijk meer trillingen op dan de overige goederentreinen. Reizigerstreinen zijn hier geheel niet van invloed. De wat zwaardere dubbeldekkers (VIRM) wekken in de kavel al nauwelijks voelbare trillingen op en met de gemeten overdrachtsverzwakking van bodem- naar gebouwfundatie zal dit ook niet leiden tot trillingsniveaus hoger dan streefwaarde A2 (nacht).

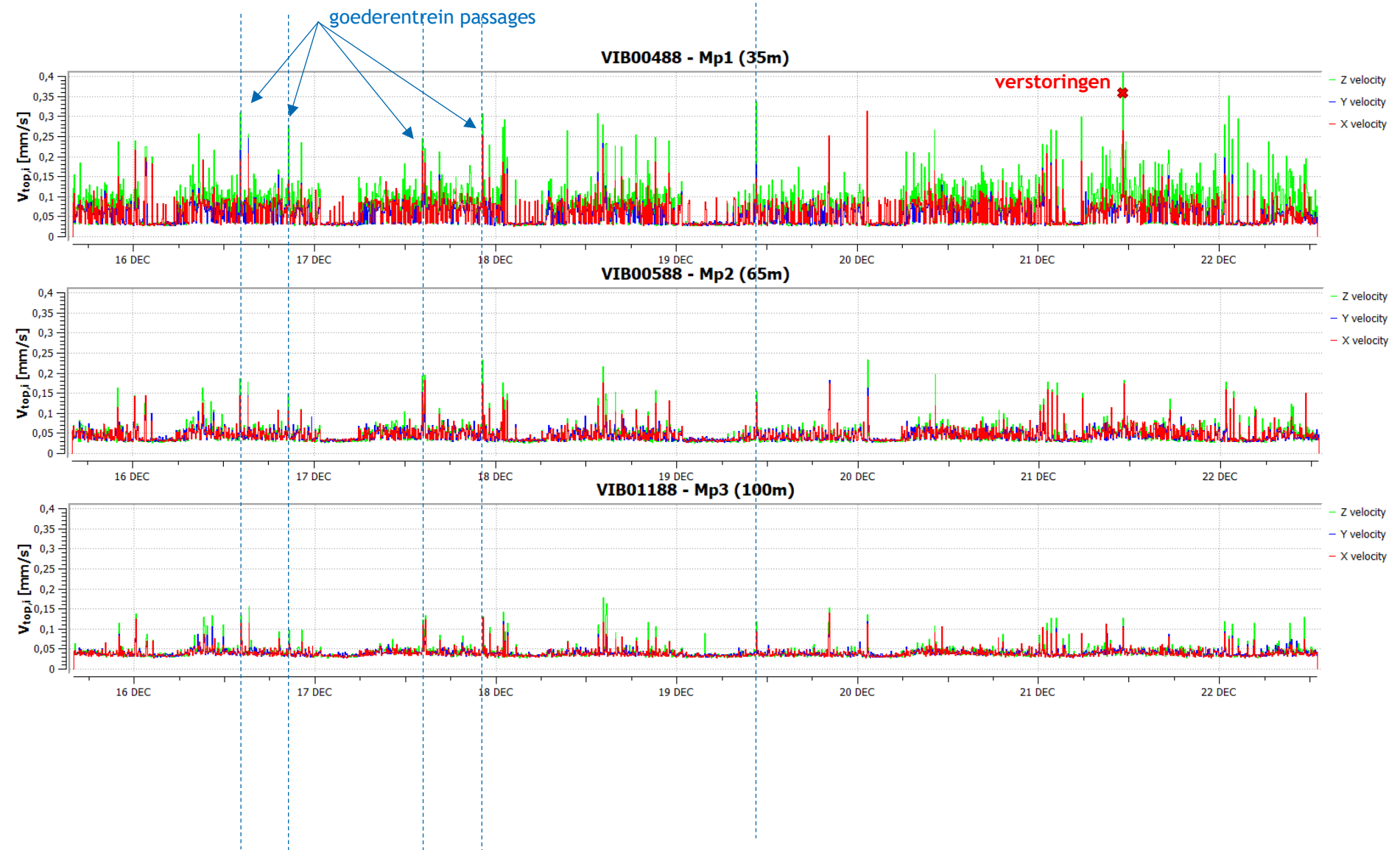
De prognoses laten zien dat er voldaan wordt aan de SBR-B richtlijn. Geadviseerd wordt wel om de vloeren van wooneenheden binnen 50 meter afstand van het spoor zodanig stijf uit te voeren dat de laagste buig-eigenfrequentie minimaal 12 Hz bedraagt. Daarmee worden deze vloeren minder gevoelig voor treinen met een slechte wielkwaliteit, hetgeen op deze afstand vaak het dominante mechanisme qua trillingsopwekking betreft.

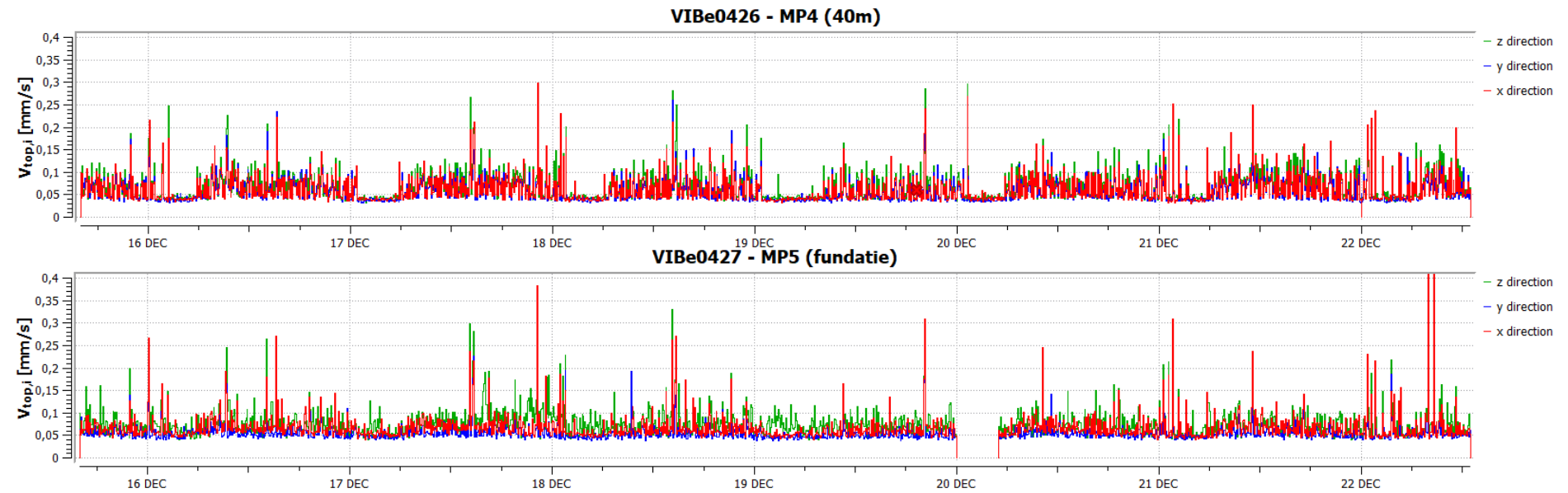
ing. M.H.M. (Michel) van Kesteren
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

Bijlage 1

Titel	Trillingsregistraties
-------	-----------------------

Herontwikkeling AKZO-terrein, Arnhem





Top	Start	Eind	Treintype	Mp1 - 35m			Mp2 - 65m			Mp3 - 100m			Mp4 (oost) - 40m			Mp5 - fundatie		
				Veff_X1	Veff_Y1	Veff_Z1	Veff_X2	Veff_Y2	Veff_Z2	Veff_X3	Veff_Y3	Veff_Z3	Veff_X4	Veff_Y4	Veff_Z4	Veff_X5	Veff_Y5	Veff_Z5
1	19/12 10:39	19/12 10:40	Goederentrein	0,09	0,10	0,20	0,08	0,06	0,10	0,06	0,05	0,08	0,10	0,09	0,10	0,10	0,07	0,10
2	21/12 11:17	21/12 11:17	Goederentrein	0,11	0,10	0,17	0,10	0,10	0,10	0,07	0,07	0,08	0,10	0,10	0,11	0,10	0,07	0,10
3	18/12 13:35	18/12 13:36	Goederentrein	0,09	0,10	0,17	0,07	0,07	0,09	0,05	0,05	0,07	0,10	0,08	0,10	0,09	0,07	0,10
4	18/12 01:18	18/12 01:19	Goederentrein	0,10	0,07	0,17	0,07	0,05	0,08	0,04	0,04	0,06	0,09	0,08	0,09	0,08	0,06	0,10
5	16/12 14:16	16/12 14:17	Goederentrein	0,10	0,11	0,15	0,09	0,08	0,10	0,07	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12
6	17/12 22:19	17/12 22:20	Goederentrein	0,10	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,08	0,07	0,08	0,13	0,12	0,11	0,19	0,11	0,12
7	21/12 05:46	21/12 05:47	Goederentrein	0,10	0,10	0,15	0,09	0,07	0,09	0,06	0,05	0,06	0,10	0,09	0,09	0,09	0,06	0,09
8	16/12 20:38	16/12 20:38	Goederentrein	0,09	0,09	0,15	0,07	0,05	0,09	0,04	0,04	0,06	0,09	0,07	0,07	0,09	0,06	0,08
9	18/12 09:37	18/12 09:37	Passagierstrein	0,07	0,06	0,15	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,07	0,05	0,06	0,07	0,04	0,06
10	18/12 00:58	18/12 00:59	Goederentrein	0,10	0,10	0,14	0,09	0,07	0,10	0,07	0,07	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
11	16/12 22:18	16/12 22:19	Goederentrein	0,08	0,08	0,14	0,07	0,05	0,07	0,04	0,04	0,06	0,08	0,07	0,08	0,09	0,06	0,09
12	22/12 02:39	22/12 02:39	Passagierstrein	0,06	0,06	0,14	0,05	0,04	0,06	0,03	0,04	0,05	0,09	0,06	0,11	0,07	0,06	0,09
13	16/12 08:40	16/12 08:41	Goederentrein	0,07	0,08	0,14	0,05	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04	0,07	0,07	0,08	0,08	0,06	0,08
14	18/12 14:18	18/12 14:20	Goederentrein	0,10	0,11	0,13	0,10	0,09	0,10	0,07	0,06	0,10	0,10	0,11	0,14	0,12	0,11	0,16
15	20/12 01:20	20/12 01:21	goederentrein	0,13	0,10	0,13	0,09	0,10	0,10	0,07	0,07	0,09	0,10	0,10	0,13			

Bijlage 2

Titel	Trillingsprognoses
-------	--------------------

Herontwikkeling AKZO-terrein, Arnhem

Trillingsprognose railverkeer

project
gebouwtipe
gebouwfstand (tot spoor)

AKZO-terrein, Arnhem
Appartement 4-8 lagen
35 m

bronspectrum
vormfactor C_p
referentieafstand

Goederentrein 19-12-2021 10:39
0,66
(verhouding V_{ms}/V_{ref})
35 m

passages per uur
peiljaar
rijnsnelheid
referentie snelheid

0 (voelbaar $V_{ref} > 0,1$)
2021
80
80
km/u

X

Bodem trillingen

	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	som
bronspectrum (rms, gem)	76	76	71	70	73	77	74	82	97	88	90	91	76	79	85	97	75	70	72	67	61					102
spreiding	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0					
bronspectrum (rms, max)	79	79	74	73	76	80	77	85	100	91	93	94	79	82	88	100	78	73	75	70	64					105
snelheidscorrectie																										
afstandscorrectie																										
L_{ref} [dB]	79	79	74	73	76	80	77	85	100	91	93	94	79	82	88	100	78	73	75	70	64					105
V_{rms} [mm/s]	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,10	0,04	0,05	0,05	0,01	0,01	0,02	0,10	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00					0,17
																										0,25

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtipe:		User defined 0					overdracht App. 4-8 lagen (H)																
$H_{v,1}$ [dB]	-1,0	-2,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	4,9	2,4	-5,3	-4,8	-2,0	-0,8	-11,8	-14,8	-9,4	-5,5	-3,4	-3,0	-3,0			
L_{ref} [dB]	78	77	71	70	73	77	74	82	105	94	88	89	77	81	76	86	69	67	71	67	61		105	
v_{rms} [mm/s]	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,17	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,19	
																						v_{top}	0,28	

SBR-C / Verstoring van apparatuur (V_{ms})

Begane grond	vloortype: user defined																					
$H_{v,ref}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
L_{ref} [dB]	78	77	71	70	73	77	74	82	105	94	88	89	77	81	76	86	69	67	71	67	61	105
V_{rms} [mm/s]	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,17	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
																					V_{top}	0,28

3e verdieping	vloortype: user defined																							
$H_{v,3}$ [dB]	0,4	0,6	1,1	1,8	3,4	4,7	0,6	-0,6	-1,4	-2,2	-2,9	-3,7	-3,9	-3,9	-3,9	-3,9	-3,9	-3,9	-3,9	-3,9	-3,9	-3,9		
$H_{v,ref}$ [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
L_v [dB]	78	78	72	72	76	82	75	82	103	92	85	85	73	77	72	82	65	63	67	63	57			104
v_{rms} [mm/s]	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,15	0,04	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,16
																						v_{opp}		0,24

6e verdieping	vloortype										user defined													
H _{v,3} [dB]	0,7	1,2	2,1	3,6	6,9	9,5	1,3	-1,1	-2,7	-4,3	-5,9	-7,4	-7,9	-7,9	-7,9	-7,9	-7,9	-7,9	-7,9	-7,9	-7,9	-7,9		
H _{v,ref} [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
L _v [dB]	79	78	73	74	79	87	75	81	102	90	82	81	69	73	68	78	61	59	63	59	53			103
V _{rms} [mm/s]	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,13	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,14
																								0,21

SBR-B / Hinder voor personen (v_{ref})

Begane grond	gebouwtipe										User defined 0													overdracht App. 4-8 lagen (H)												
SBR-weging	-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0										
L _{ref} [dB]	63	64	60	61	65	71	69	79	102	92	87	88	76	81	76	85	69	67	71	67	61						103									
V _{ref,max} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14									
																											0,001									

3e verdieping																										
L_{ref} [dB]	63	64	61	62	68	76	70	78	101	90	84	84	72	77	72	82	65	63	67	63	57					102
$V_{ref,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,11	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,12
																										0,001

6e verdieping																										
L_{ref} [dB]	64	65	62	64	72	81	71	78	100	88	81	81	68	73	68	78	61	59	63	59	53					100
$V_{ref,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,10	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,10
																										0,000

Trillingsprognose railverkeer

project
gebouwtipe
gebouwfstand (tot spoor)

AKZO-terrein, Arnhem
Appartement 4-8 lagen
35 m

bronspectrum
vormfactor C_p
referentieafstand

Goederentrein 18/12 14:18
0,66
(verhouding V_{ms}/V_{ref})
35 m

passages per uur
peiljaar
rijnsnelheid
referentie snelheid

0 (voelbaar $V_{ref} > 0,1$)
2021
80
80
km/u

Z

Bodem trillingen

	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	som
bronspectrum (rms, gem)	64	64	69	66	71	77	74	88	96	90	91	84	80	83	94	91	80	72	76	72	63					101
spreiding	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0					
bronspectrum (rms, max)	67	67	72	69	74	80	77	91	99	93	94	87	83	86	97	94	83	75	79	75	66					104
snelheidscorrectie																										
afstandscorrectie																										
L_{ref} [dB]	67	67	72	69	74	80	77	91	99	93	94	87	83	86	97	94	83	75	79	75	66					104
V_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,08	0,04	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00					0,15
																										0,23

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtipe: User defined 1 overdracht App. 4-8 lagen (V)																						
$H_{v,1}$ [dB]	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-5,5	-5,7	-3,3	-6,6	-17,3	-18,6	-12,8	-12,9	-13,1	-13,0	-13,0		
L_v [dB]	64	64	69	66	71	77	74	88	96	90	89	82	79	80	79	75	70	63	66	62	53		98
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,06	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,08
																				v_{top}			0,13

SBR-C / Verstoring van apparatuur (V_{ms})

Begane grond	vloortype:															vloortype 3															(f _b = 10-20 Hz)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
H _{v,ref}	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

3e verdieping	vloortype:		vloortype 3																		(f _b = 10-20 Hz)		+top		+2/2	
H _{v,3} [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3			
H _{v,ref} [dB]	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1					
L _v [dB]	64	64	69	66	71	78	75	89	97	93	93	87	86	86	85	80	74	66	68	64	53		101			
v _{max} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,07	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00		0,11			
																							0,17			

Herontwikkeling AKZO-terrein, Arnhem

Trillingsprognose railverkeer

project
gebouwtipe
gebouwaafstand (tot spoor)

AKZO-terrein, Arnhem
Hoogbouw
35 m

bronspectrum
vormfactor C_p
referentieafstand

Goederentrein 19-12-2021 10:39
0,66
35 m
(verhouding v_{ms}/v_{ref})

passages per uur
peiljaar
rijnsnelheid
referentie snelheid

0
2021
80
80
(voelbaar $V_{af} > 0,1$)
km/u
km/u

X

Bodemtrillingen

	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	som
bronspectrum (rms, gem)	76	76	71	70	73	77	74	82	97	88	90	91	76	79	85	97	75	70	72	67	61					102
spreiding	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0					
bronspectrum (rms, max)	79	79	74	73	76	80	77	85	100	91	93	94	79	82	88	100	78	73	75	70	64					105
snelheidscorrectie																										
afstandscorrectie																										
L_p [dB]	79	79	74	73	76	80	77	85	100	91	93	94	79	82	88	100	78	73	75	70	64					105
V_{rms} [mm/s]	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,10	0,04	0,05	0,05	0,01	0,01	0,02	0,10	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00					0,17
																										0,25

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtipe:	Hoogbouw																								
$H_{v,1}$ [dB]	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-8,5	-8,7	-6,3	-9,6	-20,3	-21,6	-15,8	-15,9	-16,1	-16,0	-16,0					
L_p [dB]	73	73	68	67	70	74	71	79	94	85	85	85	72	72	67	79	62	57	58	54	48					96
V_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,05	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,06
																										0,09

SBR-C / Verstoring van apparatuur (V_{ms})

Begane grond	vloertipe:	user defined																								
$H_{v,1}$ [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
L_p [dB]	73	73	68	67	70	74	71	79	94	85	85	85	72	72	67	79	62	57	58	54	48					96
V_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,05	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,06
																										0,09

6e verdieping	vloertipe:	user defined																								
$H_{v,1}$ [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	-0,9	-1,4	-1,8	-2,3	-2,7	-3,2	-3,6	-4,1	-4,5					
$H_{v,max}$ [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
L_p [dB]	73	73	68	67	70	74	71	79	94	85	85	84	71	71	66	76	60	54	55	49	44					96
V_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,05	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,06
																										0,09

10e verdieping	vloertipe:	user defined																								
$H_{v,1}$ [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,8	-1,6	-2,3	-3,0	-3,8	-4,5	-5,3	-6,0	-6,8	-7,5					
$H_{v,max}$ [dB]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
L_p [dB]	73	73	68	67	70	74	71	79	94	85	85	84	71	71	66	76	60	54	52	47	41					96
V_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,05	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,06
																										0,09

SBR-B / Hinder voor personen (v_{af})

Begane grond	gebouwtipe:	Hoogbouw																								
SBR-weging	-15,1	-13,2	-11,2	-9,5	-7,8	-6,1	-4,7	-3,5	-2,5	-1,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0				
L_p [dB]	58	60	57	58	62	66	66	76	91	84	84	84	72	72	67	79	62	57	58	54	48					94
$V_{af,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,05
																										0,000

6e verdieping																										
L_p [dB]	58	60	57	58	62	66	66	76	91	84	84	84	71	71	65	76	60	54	55	49	44					93
$V_{af,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,05
																										0,000

10e verdieping																										
L_p [dB]	58	60	57	58	62	66	66	76	91	84	84	83	70	70	64	75	58	52	52	47	41					93
$V_{af,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,05
																										0,000

Trillingsprognose railverkeer

project
gebouwtipe
gebouwaafstand (tot spoor)

AKZO-terrein, Arnhem
Hoogbouw
35 m

bronspectrum
vormfactor C_p
referentieafstand

Goederentrein 18/12 14:18
0,66
35 m
(verhouding v_{ms}/v_{ref})

passages per uur
peiljaar
rijnsnelheid
referentie snelheid

0
2021
80
80
(voelbaar $V_{af} > 0,1$)
km/u
km/u

Z

Bodemtrillingen

	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	som
bronspectrum (rms, gem)	64	64	69	66	71	77	74	88	96	90	91	84	80	83	94	91	80	72	76	72	63					101
spreiding	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0					
bronspectrum (rms, max)	67	67	72	69	74	80	77	91	99	93	94	87	83	86	97	94	83	75	79	75	66					104
snelheidscorrectie																										
afstandscorrectie																										
L_p [dB]	67	67	72	69	74	80	77	91	99	93	94	87	83	86	97	94	83	75	79	75	66					104
V_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00					0,15
																										0,23

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtipe:	Hoogbouw																								
$H_{v,1}$ [dB]	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-8,5	-8,7	-6,3	-9,6	-20,3	-21,6	-15,8	-15,9	-16,1	-16,0	-16,0					
L_p [dB]	61	61	66	63	68	74	71	85	93	87	86	79	76	77	76	72	67	60	63	59	50					95
V_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,06
																										0,09

SBR-C / Verstoring van apparatuur (V_{ms})

Begane grond	vloertype:											vloertype 3											(b = 10-20 Hz)																				
H _{v, vloer}	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,2	1,8	2,7	4,2	6,4	7,4	7,1	6,5	6,0	5,4	4,7	3,8	3,0	2,1																						
L _v [dB]	61	61	66	63	68	75	72	86	95	90	90	85	84	84	83	78	72	64	66	62	52	98																					
V _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08																					
																						V _{max}											0,12										