

Trillingsonderzoek Schaapsdrift

Onderzoek trillingshinder spoor

Status	definitief
Versie	002
Rapport	M.2024.0123.00.R002
Datum	30 januari 2025



Colofon

Opdrachtgever	Gemeente Arnhem
Contactpersoon opdrachtgever	
Project	Gem Arnhem, Milieuonderzoeken Schaapsdrift
Betreft	Rapportage trillingsonderzoek spoor
Uw kenmerk	-
Rapport	M.2024.0123.00.R002
Datum	30 januari 2025
Versie	002
Status	definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Weerdjesstraat 70 6811 JE Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	088 346 76 33 RFE@dgmr.nl
Auteur	i 088 346 78 65 MVEE@dgmr.nl
Projectadviseur	088 346 78 25 wwi@dgmr.nl
2e lezer/secr.	RFE KME BDI

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Situatie	5
2.1 Gebied Schaapsdrift en omstreken	5
2.2 Spoor en treinmaterieel	5
3. Toetsingskader	6
4. Meetomstandigheden	7
4.1 Meetpunten	7
4.2 Verwerking meetresultaten	7
5. Resultaten	9
6. Uitgangspunten prognose	11
6.1 Methode	11
6.2 Trilgedrag woningcasco	11
6.3 Trilgedrag vloeren	11
7. Prognose	12
8. Conclusies	14

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties (V_{top})
Bijlage 2	Trillingsprognoses (reguliere treinen)
Bijlage 3	Trillingscontouren V_{max}

1. Inleiding

In opdracht van de gemeente Arnhem heeft DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. een trillingsonderzoek uitgevoerd langs het spoor in het gebied Schaapsdrift in Arnhem. De gemeente wil dit gebied gedeeltelijk herontwikkelen, waarbij bestaande gebouwen gesloopt worden om plaats te maken voor nieuwbouw. Dit gebied ligt op korte afstand van het spoor Arnhem-Zutphen.

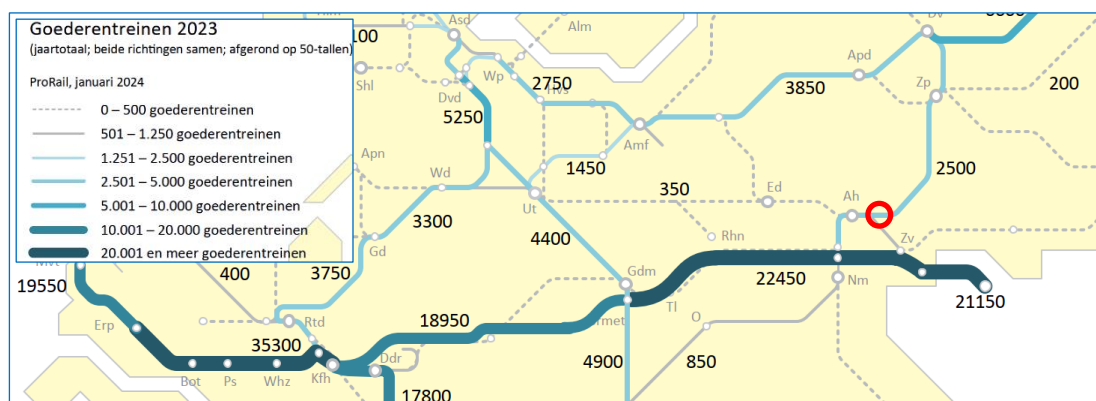
Om de trillingsbelasting in dit gebied in beeld te brengen, zijn trillingsmetingen uitgevoerd. De onderzoeksresultaten worden getoetst aan de "Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen" van het ministerie van I&W. In deze handreiking wordt de SBR-B richtlijn "Trillingshinder voor personen in gebouwen" geadviseerd als toetsingskader voor trillingen. We geven de trillingscontouren aan op een kaart en geven aan welke belemmeringen er zijn in het gebied. Als er maatregelen nodig zijn om te voldoen aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn dan geven wij deze op hoofdlijnen aan.

In figuur 1 zijn de nieuw te realiseren bouwvelden in de omgeving Schaapsdriфт weergegeven, volgend uit het stedenbouwkundig plan. Hiervoor wordt de huidige bebouwing gesloopt. Van de in figuur 1 weergegeven nieuwe gebouwen liggen er meerdere binnen 100 meter van de spoorlijn Arnhem-Zutphen, de afstand waarbinnen de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen aangeeft dat onderzoek naar trillingshinder gewenst is.



figuur 1: bouwvelden Schaapsdrift, stedenbouwkundig plan

Op het traject Arnhem - Zutphen rijden overwegend sprinters en intercity's (type VIRM). Goederentreinen komen op dit traject regelmatig voor. Volgens het jaarrapport 2023 van ProRail, zie figuur 2, reden er in dat jaar ongeveer 2.500 goederentreinen (beide richtingen samen). Dit komt neer op een gemiddelde van 650 goederentreinen per week. Gedurende de meetweek zijn er zo'n 930 reizigerstreinen en 51 goederentreinen gepasseerd.



figuur 2: goederenvervoer per jaar (rode cirkel is Schaapsdriфт)

Bron: jaarrapport ProRail (2023)

3. Toetsingskader

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. De SBR-B is Nederland al vele jaren het gangbare toetsingskader voor trillingshinder en veelvuldig toegepast in procedures (jurisprudentie). In de SBR-B richtlijn zijn de in tabel 1 weergegeven streefwaarden opgenomen voor nieuwbouw.

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

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} , wanneer $A1 < V_{max} < A2$

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 is dan 0,05. Als V_{max} kleiner is dan 0,1, komt de toetsing van de V_{per} te vervallen. Voor de toetsing worden meet- en prognosewaarden afgerond op het aantal decimalen van de streefwaarde.

4. Meetomstandigheden

In overeenstemming met de aanbeveling in de SBR-B is gedurende een week gemeten, om variaties in spoorgebruik en materieel mee te nemen in de metingen. De metingen zijn uitgevoerd tussen 7 en 14 maart 2024. Zover bekend waren in deze meetperiode geen afwijkingen in het treinverkeer en is er gereden volgens dienstregeling.

4.1 Meetpunten

Om inzicht te krijgen in de trillingsopwekking in de bodem op korte afstand tot het spoor zijn in deze bodem drie meetsystemen aangebracht, op afstanden van 20, 40 en 60 meter tot het spoor (MP1 t/m MP3). Ook is er een meetsysteem gemonteerd op de fundatie van het nabijgelegen appartementencomplex (MP4).



figuur 3: meetposities, MP1 t/m MP3 in de bodem en MP4 op de fundatie

tabel 2: meetlocaties en systemen

Meetpunt	Afstand	Meetsysteem	Serienummer
MP1	Bodem 20 meter (referentie)	Profound Vibra SBR	VIB00488
MP2	Bodem 40 meter	Profound Vibra SBR	VIB00588
MP3	Bodem 60 meter	Profound Vibra SBR	VIB01044
MP4	Fundatie 25 meter	Profound Vibra SBR	VIB01045

4.2 Verwerking meetresultaten

Om alleen de invloed van treinpassages in beeld te brengen, zijn treinpassages en mogelijke verstoringen in de trillingsregistraties geïdentificeerd op basis van onderlinge vergelijking van de meetsystemen. Waar nodig (en mogelijk) zijn pieken in de registraties geverifieerd op basis van camerabeelden (spoorgerichte camera). Verstoorde treinpassages zijn buiten beschouwing gelaten.

De meetsystemen meten de maximale trillingssterkte V_{top} en de voor trillingshinder maatgevende effectieve trillingssterkte V_{eff} . De V_{eff} wordt overeenkomstig de SBR-B gemeten in 30 seconden intervallen. Dit is voor identificatie van treinpassages en check op verstoringen te grof.

De identificatie van passages/verstoringen is daarom gedaan aan de hand van het trillingssignaal V_{top} , dat een 10x hogere resolutie heeft. Van de geïdentificeerde treinpassages (vrij van verstoringen) is vervolgens de bijbehorende effectieve trillingssterkte $V_{eff,max}$ geselecteerd voor verdere analyse en prognose. De hoogste $V_{eff,max}$ is in beginsel de maatgevende V_{max} volgens de SBR-B richtlijn. Kanttekening hierbij is dat deze wel moet passen binnen het kader van 'herhaald voorkomende trillingen' en dat het niet om een incidentele gebeurtenis gaat.

5. Resultaten

Bijlage 1 geeft een overzicht van de trillingsregistraties gedurende een week meten. Afgebeeld is de trillingssterkte V_{top} die, zoals in paragraaf 4.3 beschreven, wordt gebruikt voor de identificatie van de treinpassages. De figuren laten zien dat er bij MP4 (25m fundatie) veel verstoringen zijn geweest, merendeel door auto's richting achterliggende parkeervakken en passanten vlak langs de sensor. De treinpassages met de hoogste trillingsopwekking (vrij van verstoring) zijn weergegeven in tabel 3. Getoond worden de voor hinder maatgevende effectieve trillingssterkten ($V_{eff,max}$).

tabel 3: trillingssterkten $V_{eff,max}$ (top-15)

Top-15			MP1 (20 meter)			MP2 (40 meter)			MP3 (60 meter)			MP4 (fundatie)		
Nr.	Treintype (ri.)	Tijdstip	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	Goederen (W)	10/3 19:42	0,25	0,28	0,41	0,27	0,15	0,22	0,15	0,13	0,18	0,17	0,14	0,35
2	Goederen (W)	9/3 16:36	0,15	0,11	0,31	0,11	0,11	0,12	0,09	0,08	0,09	0,05	0,09	0,10
3	Goederen (W)	7/3 21:37	0,18	0,17	0,30	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,05	0,07	0,09
4	Goederen (W)	8/3 19:33	0,19	0,11	0,26	0,10	0,10	0,11	0,07	0,08	0,07	0,05	0,05	0,10
5	Goederen (W)	12/3 21:03	0,14	0,14	0,23	0,13	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,19
6	Locomotief (W)	9/3 20:14	0,14	0,10	0,23	0,07	0,09	0,08	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,09
7	Goederen (O)	9/3 14:23	0,18	0,14	0,21	0,13	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,18
8	Goederen (W)	12/3 12:37	0,16	0,12	0,21	0,11	0,12	0,13	0,10	0,10	0,10	0,08	0,10	0,10
9	Goederen (W)	8/3 00:56	0,15	0,15	0,21	0,13	0,13	0,14	0,10	0,10	0,10	0,06	0,05	0,09
10	Intercity leeg (W)	13/3 02:36	0,11	0,10	0,21	0,10	0,08	0,10	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,08
11	Goederen (W)	14/3 01:46	0,12	0,13	0,20	0,10	0,10	0,12	0,09	0,07	0,10	0,10	0,10	0,17
12	Goederen (W)	9/3 19:21	0,16	0,12	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,06	0,10
13	Goederen (W)	12/3 21:34	0,15	0,10	0,20	0,14	0,10	0,10	0,08	0,09	0,08	0,07	0,05	0,10
14	Goederen (O)	11/3 00:28	0,16	0,14	0,19	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,07	0,07	0,10
15	Intercity leeg (W)	14/3 03:22	0,11	0,10	0,19	0,10	0,10	0,10	0,07	0,05	0,07	0,03	0,05	0,08
V_{max}			0,25	0,28	0,41	0,27	0,15	0,22	0,15	0,13	0,18	0,17	0,14	0,35

Beschouwing

In tabel 3 is te zien dat de top-15 vooral bestaat uit goederentreinen in westelijke richting (richting Arnhem), over het spoor dat het dichtst bij de meetpunten ligt. De meeste treinen in de top-15 reden in de avond- en nachtperiode. Slechts drie treinen in de top-15 reden in de dagperiode. Wat betreft de goederentreinen is het algemene standpunt dat deze op ieder willekeurig moment van de dag kunnen voorkomen en dat daarom de bijbehorende trillingssterkte ($V_{eff,max}$) moet worden vergeleken met de eisen voor de nachtperiode, tenzij het uitgesloten is dat deze categorie treinen in de nachtperiode rijden.

Wat opvalt in de tabel is dat passage nr.1 er qua trillingsopwekking ver bovenuit springt, terwijl de passages nr. 2 t/m 5 ook allemaal goederentreinen in dezelfde richting zijn. Navraag bij ProRail leert dat dit een zwaar beladen en lange goederentrein (32 bakken) betrof met relatief slechte wielkwaliteit en hoge piekbelasting op de spoorstaaf. Wat ook opvalt, is dat de meeste goederentreinen in de top-15 een dominante trilfrequentie hebben rond de 40 Hz, maar deze extreme trein qua trillingen dominant is bij 10 Hz. De dominante frequentie van 40 Hz komt overeen met de passeerfrequentie van de dwarsliggers bij een rijdsnelheid van 80 à 90 km/u, terwijl de 10 Hz vooral voorkomt bij treinen met verminderde wielkwaliteit.

In de tabel staan ook twee (lege) reizigerstreinen (in de nacht) die vermoedelijk met hogere snelheid hebben gereden dan gebruikelijk op dit spoorstuk. Op dit traject rijden er naast goederentreinen ook om het half uur een sprinter en een intercity. De eerste intercity komt qua trillingsopwekking pas op nr. 51 in de ranglijst.

In de meetresultaten is een duidelijke daling te zien in de trillingsopwekking van meetpunt MP1 tot MP3, dus met toenemende afstand tot het spoor. Op MP3 zijn de trillingssterkten, met uitzondering van passage nr. 1, al gezakt tot onder 0,1 ofwel de algemeen aangehouden voelbaarheidsgrens van de mens.

6. Uitgangspunten prognose

6.1 Methode

Voor een prognose van de te verwachten trillingssterkten in toekomstige bebouwing is een empirisch rekenmodel opgezet. Daarin is gebruikgemaakt van door TNO ontwikkelde overdrachtsfuncties, aangevuld met door DGMR verzamelde meetdata.

6.2 Trilgedrag woningcasco

Met toenemende afstand tot het spoor krijgen de trillingssterkten in verticale richting geleidelijk de overhand over de horizontale trillingen. De praktijk wijst uit dat de verticale meetrichting doorgaans maatgevend is voor de te realiseren bebouwing, vanwege de verwachte hogere overdrachtsverzwakking van bodem (maaiveld) naar de fundatie in horizontale richtingen én de mogelijke trillingsversterking op vloerniveau in verticale richting.

Op verdiepingen kan de horizontale richting soms dominant zijn qua trillingen, als een woningcasco in resonantie raakt op het funderingssysteem en een kantelbeweging ondergaat. Dit treedt soms op bij (langere) goederentreinen in combinatie met klei- of veenachtige bodems en speelt zich af bij lage frequenties (≤ 10 Hz). Het optreden van dit gedrag laat zich echter moeilijk voorspellen. Bij kortere en sneller rijdende reizigerstreinen is het risico minder aanwezig. Op deze lijn zijn de hier bedoelde lange/zware goederentreinen met zeer laagfrequente trillingsopwekking nauwelijks voorgekomen, maar één trein over een meetperiode van één week. In de prognoses wordt bij deze lage frequenties rekening gehouden met enige versterking in horizontale richtingen naar hogere verdiepingen. De mate van versterking kan in de praktijk echter aanzienlijk uiteenlopen.

6.3 Trilgedrag vloeren

Qua trilgedrag van vloeren wordt gerekend met een karakteristiek waarbij de maximale trillingsversterking optreedt rond de laagste buig-eigenfrequentie van de vloer.

De vloerversterking ligt bij betonvloeren aangestoten door treintrillingen vaak in de orde van een factor 1 tot 3 (tot 10 dB) en dit is sterk afhankelijk van het gekozen vloertype en het al dan niet samenvallen van vloereigenfrequenties met dominante frequenties in het treinspectrum. Bij een betonvloer met een laagste buig-eigenfrequentie van 16 Hz is de versterking meestal ruim lager dan een factor 2. Houten vloeren zijn aanmerkelijk lichter, maar daarentegen is de demping van moderne vloerconstructies (CLT, houten kanaalplaat) doorgaans hoger. Per saldo is het ook met houtbouw mogelijk vloeren te ontwerpen met een beperkte trillingsversterking. In deze prognose wordt spectraal gerekend met een maximale versterking van een factor 3 (10 dB) rond de buig-eigenfrequentie en met een totale versterking tot een factor 2 (6 dB) op de trillingssterkte $V_{\max}$. Dit is een conservatieve aanname.

7. Prognose

Gedurende een week meten, zijn er 51 goederentreinen gepasseerd, waarvan er één een significant hogere trillingsopwekking had. Op het eerste bodemmeetpunt MP1 was deze trillingsopwekking in verticale meetrichting nog beperkt tot zo'n 30% hoger, maar op de overige meetpunten betrof dit minstens een factor 2 tot 3 hoger. De vraag is hier in hoeverre er rekening moet worden gehouden met deze ene trein of dat deze als incidenteel moet worden beschouwd. In de navolgende prognose wordt onderscheid gemaakt tussen wat reguliere goederentreinen en reizigerstreinen (99,9% van de treinen) aan trillingen opwekken en de 'worst case' (P1) die in dit geval 1 op de bijna 1.000 treinen betrof.

In bijlage 2 zijn de prognoseberekeringen opgenomen voor de voorziene gebouwtypen (uitgevoerd in beton en gefundeerd op palen). De prognoses zijn uitgevoerd voor grondgebonden woningen en appartementengebouwen tot 10 bouwlagen en gebaseerd op de qua trillingen maatgevende trein van de populatie reguliere goederen- en reizigerstreinen. Voor de V_{per} berekening (gemiddelde trillingssterkte) is de verdelingsfunctie van de V_{max} gebruikt. Hierdoor wordt gerekend met een reële verdeling.

In tabel 4 zijn de uit bijlage 2 overgenomen berekende trillingssterkten V_{max} en V_{per} in de voorgenomen bebouwing weergegeven, geldend voor de reguliere goederen- en reizigerstreinen. In tabel 5 zijn de berekende trillingssterkten in het geval van de 'worst case' goederentrein weergegeven. Merk op dat de V_{per} -waarden praktisch hetzelfde zijn als in tabel 4, omdat één extreme trein weinig invloed heeft op het totaal (van bijna 1.000 treinen).

tabel 4: trillingsprognose V_{max} en (V_{per}), regulier treinverkeer (goederentreinen maatgevend)

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trillingsprognose V_{max} (V_{per}) ¹⁾		
			30 meter	60 meter	90 meter
Grondgebonden woning	2-3	Horizontaal	0,07 (--)	0,04 (--)	0,03 (--)
		Verticaal	0,17 (0,00)	0,07 (--)	0,04 (--)
Appartementengebouw	4-6	Horizontaal	0,04 (--)	0,02 (--)	0,02 (--)
		Verticaal	0,11 (0,00)	0,04 (--)	0,02 (--)
Appartementengebouw	7-10	Horizontaal	0,02 (--)	0,01 (--)	0,01 (--)
		Verticaal	0,08 (--)	0,03 (--)	0,02 (--)

1) Als $V_{max} < 0,1$ dan wordt V_{per} niet berekend (--)

tabel 5: trillingsprognose V_{max} en (V_{per}), extreme goederentrein (worst case)

Gebouwtype	Bouwlagen	Richting	Trillingsprognose V_{max} (V_{per})		
			30 meter	60 meter	90 meter
Grondgebonden woning	2-3	Horizontaal ²⁾	0,24-0,38 (0,01)	0,16-0,25 (0,00)	0,12-0,19 (0,00)
		Verticaal	0,39 (0,01)	0,24 (0,00)	0,18 (0,00)
Appartementengebouw	4-6	Horizontaal ²⁾	0,10-0,08 (0,00)	0,06-0,05 (--)	0,05-0,04 (--)
		Verticaal	0,22 (0,00)	0,13 (0,00)	0,10 (0,00)
Appartementengebouw	7-10	Horizontaal ²⁾	0,08-0,07 (--)	0,05-0,04 (--)	0,04-0,03 (--)
		Verticaal	0,18 (0,00)	0,11 (0,00)	0,08 (--)

2) V_{max} laagste en hoogste verdieping (V_{per} maatgevende verdieping)

Beschouwing

Uit tabel 4 valt op te maken dat bij regulier treinverkeer de trillingssterkten in grondgebonden woningen (betoncasco + palen) op tenminste 30 meter afstand van het spoor zullen voldoen aan de streefwaarden uit de SBR-B in de nachtperiode. Ook in appartementengebouwen is dit het geval. Voor deze gebouwen geldt dat als deze uit tenminste vier verdiepingen bestaan er ook al op 20 meter afstand van het spoor wordt voldaan aan de SBR-B. In bijlage 3 zijn contourplaatjes gemaakt voor de drie gebouwtypen op basis van regulier treinverkeer.

In tabel 5 is weergegeven wat een qua trillingsopwekking meer extreme trein aan trillingen in mogelijke gebouwtypen kan opwekken. Tijdens de meetperiode van een week betrof dit slechts één zware goederentrein met aantoonbaar slechte wieltoestand, die op het totaal van 980 treinpassages slechts 0,1% van het totaal vertegenwoordigde.

Tabel 5 maakt duidelijk dat zo'n trein in grondgebonden woningen, op 30 meter van het spoor, trillingssterkten opwekt die volgens de SBR-B in de nachtperiode te hoog zijn voor nieuwe situaties. Deze trein reed tijdens de meetperiode niet in de nachtperiode maar in de avond, waarvoor een hogere streefwaarde geldt dan tijdens de nacht. Het is echter ook mogelijk dat zo'n trein een keer in de nacht voorkomt.

Voor appartementengebouwen van vier of meer bouwlagen (betonbouw met paalfundering) zal de trillingssterkte ook in de nachtperiode (na gebruikelijke afronding) voldoen aan de streefwaarde voor nieuwbouw.

8. Conclusies

Bij de uitgevoerde trillingsmetingen zijn goederentreinen, intercity's en sprinters waargenomen. Hiervan zijn qua trillingsopwekking de goederentreinen maatgevend, met name die in de richting Arnhem die over het dichtstbijzijnde spoor rijden.

In een week zijn ongeveer 980 treinen gemeten, waarvan 51 goederentreinen. Op dit totaal is er één goederentrein geweest met significant hogere trillingsopwekking. Navraag bij ProRail wijst uit dat dit om een lange en zeer zware goederentrein ging met een slechtere wieltoestand. Als een overschrijdingskans van éénmaal per week als criterium (acceptatie) wordt aangehouden, zou deze trein buiten de toetsing vallen. Niettemin is in beeld gebracht wat een dergelijke trein aan trillingen in de voorgenomen bebouwing zou kunnen opwekken.

De trillingsprognoses gebaseerd op trillingsmetingen laten zien dat de opgewekte trillingssterkten door reguliere goederen- en reizigerstreinen, meer dan 99,5% van het totaal, in voorgenomen gebouwen (stedenbouwkundig plan) al op 30 meter van het spoor voldoen aan de streefwaarden uit de SBR-B. Voor appartementengebouwen van tenminste vier verdiepingen zou dat al gelden op ongeveer 20 meter van het spoor.

De enige voorgevallen extreme trein zou in een grondgebonden woning op 30 meter van het spoor trillingen opwekken tot ongeveer 0,4. Dit voldoet niet aan de streefwaarde uit de SBR-B voor nieuwbouw tijdens de nachtperiode. Weliswaar reed deze trein in de avond, maar dat had ook de nachtperiode kunnen zijn. De geprognosticeerde trillingssterkte van ongeveer 0,4 voldoet nog wel aan de streefwaarde voor bestaande bouw. In samenhang met het slechts incidentele voorkomen, kan afgevraagd worden of dit dan niet alsnog toelaatbaar is. Op het behalen van een goed woon- en leefklimaat heeft dit nauwelijks invloed. Als men echter onverkort wil vasthouden aan de streefwaarden voor nieuwbouw in de nachtperiode, dan zou voor grondgebonden woningen een minimumafstand van 60 meter moeten worden aangehouden.

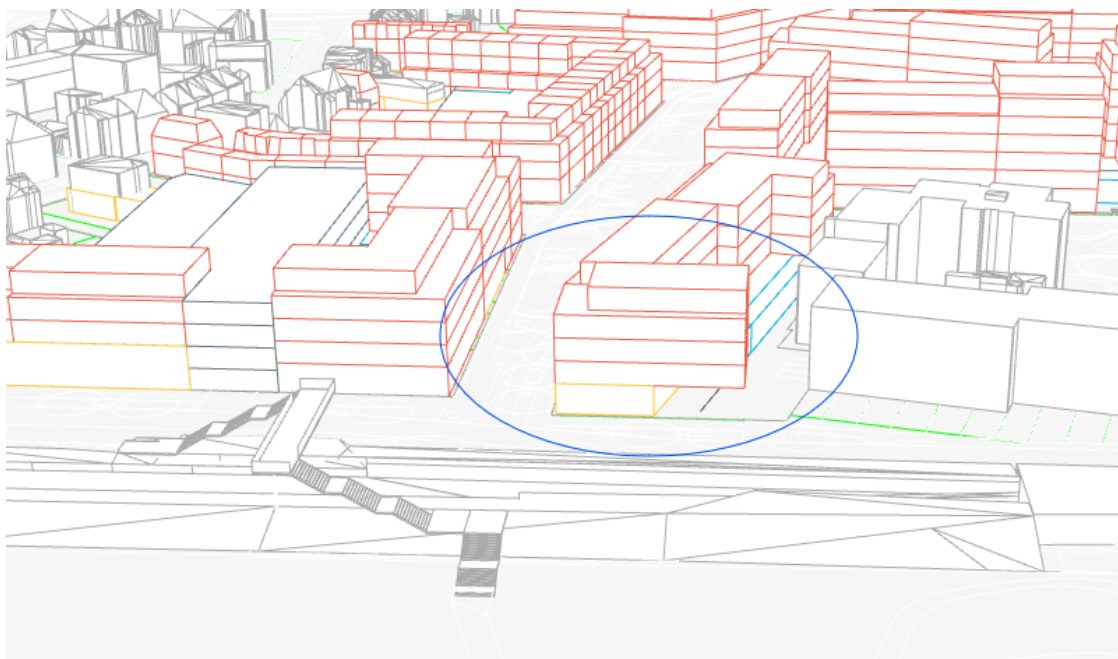
In onderstaande tabel 6 wordt samengevat op welke afstand van het spoor kan worden voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-B geldend voor nieuwbouw. Dit is gedaan voor de populatie reguliere treinen (99,9%) en de extreme goederentrein (0,1%). Aanname hierbij is dat al deze gebouwen worden voorzien van een paalfundering en betonnen draagconstructie. Voor de populatie reguliere treinen zijn de geprognosticeerde minimumafstanden ook weergegeven in contourkaarten in bijlage 3.

tabel 6: trillingsprognose $V_{\max}$ en (V_{per}), extreme goederentrein (worst case)

Gebouwtype	Bouwlagen	Contourafstand streefwaarde A2 (nieuwbouw/nacht) SBR-B	
		Reguliere treinen (99,9%)	Extreme goederentrein (0,1%)
Grondgebonden woningen	2-3	30	60
Appartementengebouwen	4-6	20	30
	7-10	15	25

Consequenties invulling stedenbouwkundig plan

Volgens het stedenbouwkundig plan (versie 20241119) bedraagt de kortste afstand van de nieuwbouw tot het spoor 26 meter. De meest kritische situatie zijn de kopappartementen tot vijf bouwlagen die onderdeel zijn van grotere complex met onder andere een parkeergarage.



figuur 4: meest kritische appartement voor trillingen spoor

Verwacht wordt dat de trillingsopwekking door reguliere treinen in deze appartementen lager is dan de streefwaarde A2 (nieuwbouw/nacht) uit de SBR-B. Uit tabel 6 blijkt dat een incidentele zware goederentrein hierin trillingen $V_{\max}$ zou kunnen opwekken die licht hoger zijn, maar volgens prognose kleiner dan 0,22. Met de gebruikelijke afronding (één decimaal) voldoet dit aan de SBR-B. Geconcludeerd wordt dat de in de nieuwbouw volgens het stedenbouwkundig plan zal worden voldaan aan de SBR-B.

Bijlage 1

Titel	Trillingsregistraties (V_{top})
Omvang	1 blad



Bijlage 2

Titel	Trillingsprognoses (reguliere treinen)
Omvang	3 bladen

Trillingsprognose railverkeer

project	Schaapsdriфт, Arnhem	Goederentreint, 09/03-16u35	passages per uur	0,0	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtipe	Rijwoning	bronspectrum vormfactor C_f	peiljaar	2024	
gebouwafstand (tot spoor)	30 m	0,49 referentieafstand			
		20 m (verhouding v_{rms}/v_{toe})	rijnsnelheid	90	km/u
			referentiesnelheid	90	km/u

X

Bodemtrillingen

1/3-octaf	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	som	
bronspectrum (rms, gem) spreiding			67	55	69	73	82	90	84	81	84	85	89	90	95	93	104	87	78	77	65					105
bronspectrum (rms, max)			67	55	69	73	82	90	84	81	84	85	89	90	95	93	104	87	78	77	65					105
snelheidscorrectie			-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,6	-2,9	-3,1	-3,3	-3,3	-3,3					
afstandscorrectie			65	53	67	71	80	88	82	79	82	83	87	88	90	101	84	75	73	62						102
L _p [dB]			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,11	0,02	0,01	0,00	0,00				0,13
V _{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,11	0,02	0,01	0,00	0,00					0,27
																				V _{max}						

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype: Laagbouw op palen (geen samenwerking)																			
H_{v1} [dB]	-2,6	-2,4	-2,1	-1,5	-0,6	1,0	3,4	3,1	-2,8	-3,4	-3,8	-4,3	-5,0	-5,8	-6,6	-7,4	-8,1	-8,9	-9,7	
L_v [dB]	63	51	65	69	80	89	85	82	80	80	83	83	88	84	94	77	67	64	52	
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	
																		v_{top}	0,15	

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	vloer type: user defined																			
H _{v,vloer}	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]	63	51	65	69	80	89	85	82	80	80	83	83	88	84	94	77	67	64	52	97
V _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07
																		V _{to0}		0,15

1e verdieping	vloer type:	user defined																V _{top}	0,29
H _{x,3} [dB]		0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,3	2,1	2,0	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6
H _{y,weg} [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
L _i [dB]		63	51	65	70	81	90	87	84	80	80	83	83	87	84	94	76	67	64
V _{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00
																		V _{top}	0,16

[illegible]**SBR-B / Hinder voor personen (v_{eff})**

Begane grond	gebouwtipe:																				
SBR-weging	-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		
L_v [dB]	51	42	57	63	75	86	83	81	78	79	82	83	87	84	94	77	67	64	52		97
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00		0,07
																		V_{oc}^*			0,001

1e verdieping																			V_{per}	0,001
L_p [dB]	51	42	57	64	76	87	85	83	78	79	82	83	87	84	94	76	67	64	52	97
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07
2e verdieping																			V_{per}^*	0,001

2e verdieping																					
L_r [dB]	52	42	58	64	77	88	87	85	78	79	82	83	87	84	93	76	66	63	51		97
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00		0,07
																		V_{per}^*			0,002

Trillingsprognose railverkeer

project	Schaapsdrift, Arnhem	bronspectrum	Goederentrein, 09/03-16u35	passages per uur	0,1	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtipe	Rijwoning	vormfactor C_f	0,45 (verhouding v_{mid}/v_{top})	peiljaar	2024	
gebouwfstand (tot spoor)	30 m	referentieafstand	20 m	rijnsnelheid	90 km/u	

Z

Bodemtrillingen

1/3-octaaf	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	som
bronspectrum (rms, gem)	69	59	64	67	77	77	81	80	84	86	82	81	85	100	93	109	86	78	75	72					110
spreading																									
bronspectrum (rms, max)	69	59	64	67	77	77	81	80	84	86	82	81	85	100	93	109	86	78	75	72					110
snellheidscorrectie																									
afstandscorrectie	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,7	-3,0	-3,3	-3,7	-4,2	-4,4	-4,4	-4,4						
c_v [m]	67	57	62	65	75	75	78	78	82	87	89	88	81	75	71	67									106
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,07	0,03	0,19	0,01	0,00	0,00	0,00				0,20
																				v_{exp}					0,46

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype: Laagbouw op palen (geen samenwerking)																		
$H_{v,1}$ [dB]	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,6	-2,3	-3,1	-4,1	-5,6	-7,8	-10,8	-10,8	-10,8	-10,8	
L_v [dB]	66	56	61	64	74	78	77	81	82	78	77	79	92	84	98	71	63	60	57
v_{ms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
																		v_{top}	0,20

SBR-C / Verstoring van apparatuur (v_{rms})

Begane grond	vloer type: vloer type 3 (f0 = 10-20 Hz)																			
Hvibrot	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	
Lv [dB]	67	56	61	65	75	79	79	84	87	84	84	86	99	90	103	75	66	63	59	105
vms [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,09	0,03	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	
																		vmax		0,39

1e verdieping	vloertype:	vloertype 3							(f ₀ = 10-20 Hz)								V _{top}	0,59
H _{v,j} [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
H _{v,yloc} [dB]		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
L _v [dB]		67	56	61	65	75	79	79	84	87	84	84	86	99	90	103	75	66
v _{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,09	0,03	0,14	0,01	0,00
																	V _{top}	0,39

2e verdieping	violoortype:	violoortype 3																(f ₀ = 10-20 Hz)		V _{top}		0,39	
H _{v,3} [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			
H _{v,100%} [dB]		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]		67	56	61	65	75	79	79	84	87	84	84	86	99	90	103	75	66	63	59	105		
v _{ms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,09	0,03	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00			
																					V _{max}	0,39	

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

gebouwtype:																					
SBR-weging		-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	
L_n [dB]		55	47	53	59	70	75	76	82	86	83	84	86	99	89	103	75	66	63	59	105
$v_{eff,max}$ [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,09	0,03	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,17
																				V_{acc}^*	0,005

1e verdieping																			V_{per}	0,005	
L_v [dB]	55	47	53	59	70	75	76	82	86	83	84	86	99	89	103	75	66	63	59	105	
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,09	0,03	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,17	
																				V_{per}^*	0,005

2e verdieping																		+ per		0,500	
L_p [dB]	55	47	53	59	70	75	76	82	86	83	84	86	99	89	103	75	66	63	59	105	
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,09	0,03	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,17	
																		V_{max}^*		0,005	

Trillingsonderzoek Schaapsdrift

Trillingsprognose railverkeer

project	Schaapsdrift, Arnhem	bronspectrum	Goederentrein, 09/03-16u35	passages per uur	0,0	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtype	Appartementen (3-6 lagen)	vormfactor C_f	0,49	peiljaar	2024	
gebouwfstand (tot spoor)	30 m	referentieafstand	20 m	rijnsnelheid	90	km/u
				referentie snelheid	90	km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaf	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	som
bronspectrum (rms, gem)			67	55	69	73	82	90	84	81	84	85	89	90	95	93	104	87	78	77	65				105
spreiding																									
bronspectrum (rms, max)			67	55	69	73	82	90	84	81	84	85	89	90	95	93	104	87	78	77	65				105
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie			-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,6	-2,9	-3,1	-3,3	-3,3	-3,3				
L_v [dB]			65	53	67	71	80	88	82	79	82	83	87	88	93	90	101	84	75	73	62				102
V_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,11	0,02	0,01	0,00	0,00				0,13
																									0,27

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	Utiliteit/Appartementen (3 tot 6 lagen)																				
$H_{v,1}$ [dB]		-1,3	0,9	2,0	-3,2	-5,1	-5,3	-5,5	-5,7	-5,9	-6,4	-6,9	-7,5	-8,3	-9,2	-10,1	-11,0	-11,8	-12,7	-13,6		
L_v [dB]		64	54	69	68	75	83	76	74	76	77	80	80	84	81	91	73	63	61	48		93
V_{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00		0,05
																						0,09

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

Begane grond	vloortype: user defined																							
$H_{v,yloer}$	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]	64	54	69	68	75	83	76	74	76	77	80	80	84	81	91	73	63	61	48				93	
V_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00			0,05	
																					V_{top}		0,09	

3e verdieping	vloortype:	user defined															-top		-vloer	
$H_{v,3}$ [dB]		2,2	3,5	4,2	1,1	-0,1	-0,4	-0,6	-0,9	-1,1	-1,3	-1,6	-1,8	-2,0	-2,3	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4
$H_{v,yloer}$ [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
L_v [dB]		66	58	73	69	75	82	76	73	75	75	78	78	82	79	88	71	61	58	46
V_{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00

5e verdieping	vloortype: user defined																			-top		-vloer	
H _{v,3} [dB]	3,7	5,9	7,0	1,8	-0,2	-0,6	-1,0	-1,4	-1,8	-2,2	-2,6	-3,0	-3,4	-3,8	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0				
H _{v,yloer} [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				
L _v [dB]	68	60	76	69	75	82	75	72	75	74	77	77	81	77	87	69	59	57	44				
v _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
															v _{top}								
																			0,03				
																			0,05				

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

Begane grond	gebouwtype:																					
SBR-weging	-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			
L_v [dB]	53	45	61	61	71	79	74	72	75	76	79	80	84	81	90	73	63	60	48		93	
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00		0,04	
																		V_{oc}^*			0,00	

3e verdieping																				V _{per}	
L _v [dB]	55	48	65	63	71	79	73	71	74	75	78	78	82	79	88	71	61	58	46	91	
V _{eff,max} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	
																		V _{per}		0,000	

5e verdieping																								
L_v [dB]	56	51	68	63	70	79	73	70	73	74	77	77	81	77	86	69	59	56	44				89	
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00				0,03	
																			v_{oor}	0,000				

Trillingsprognose railverkeer

project	Schaapsdrift, Arnhem	bronspectrum	Goederentrein, 09/03-16u35	passages per uur	0,0	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtype	Appartementen (3-6 lagen)	vormfactor C_f	0,49	peiljaar	2024	
gebouwfstand (tot spoor)	30 m	referentieafstand	20 m	rijnsnelheid	90	km/u
				referentie snelheid	90	km/u

Bodemtrillingen

1/3-octaf	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	som
bronspectrum (rms, gem)			69	59	64	67	77	81	80	84	86	82	81	85	100	93	109	86	78	75	72				110
spreiding																									
bronspectrum (rms, max)			69	59	64	67	77	81	80	84	86	82	81	85	100	93	109	86	78	75	72				110
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie			-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,7	-3,0	-3,3	-3,7	-4,2	-4,4	-4,4					
L_v [dB]			67	57	62	65	75	79	78	82	83	79	79	82	97	89	105	81	73	71	67				106
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,07	0,03	0,19	0,01	0,00	0,00				0,20	
																									0,42
																				v_{rms}					

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie		gebouwtype:		Utiliteit/Appartementen (3 tot 6 lagen)																			
$H_{v,1}$ [dB]		-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,4	-6,8	-7,4	-8,2	-9,4	-11,2	-14,0	-14,0	-14,0	-14,0			
L_v [dB]		61	51	56	59	69	73	72	76	77	73	72	75	88	80	94	67	60	57	53			96
v_{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00			0,06
																					v_{rms}		0,12

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

Begane grond	vloortype: vloortype 3																			(f ₀ = 10-20 Hz)					
H _{v,yloer}	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]	62	51	56	60	70	74	74	79	82	79	79	82	95	86	100	72	63	60	55		101				
v _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,02	0,10	0,00	0,00	0,00		0,12				
																				v _{rms}	0,24				

3e verdieping	vloortype:	vloortype 3												(f0 = 10-20 Hz)										V10p		0,24
Hv,3 [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	0,0	0,0	
Hv,yloer [dB]		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						
Lv [dB]		62	51	56	60	70	74	74	79	82	79	79	82	95	86	100	72	63	60	55				101		
Vrms [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,02	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12		
																									0,24	

5e verdieping	vloortype:	vloortype 3																				V _{top}	0,27
(f ₀ = 10-20 Hz)																							
H _{v,3} [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			
H _{v,yloer} [dB]		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]		62	51	56	60	70	74	74	79	82	79	79	82	95	86	100	72	63	60	55			
v _{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,02	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00			
																				V _{top}	0,24		

Trillingsonderzoek Schaapsdrift

Trillingsprognose railverkeer

project	Schaapsdrift, Arnhem	bronspectrum	Goederentrein, 09/03-16u35	passages per uur	0,0	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtype	Appartementen (7-10 lagen)	vormfactor C_f	0,49	peiljaar	2024	
gebouwfstand (tot spoor)	30 m	referentieafstand	20 m	rijnsnelheid	90	km/u
				referentie snelheid	90	km/u

X

Bodemtrillingen

1/3-octaf	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	som
bronspectrum (rms, gem)			67	55	69	73	82	90	84	81	84	85	89	90	95	93	104	87	78	77	65				105
spreiding																									
bronspectrum (rms, max)			67	55	69	73	82	90	84	81	84	85	89	90	95	93	104	87	78	77	65				105
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie			-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,6	-2,9	-3,1	-3,3	-3,3	-3,3				
L_v [dB]			65	53	67	71	80	88	82	79	82	83	87	88	93	90	101	84	75	73	62				102
V_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,11	0,02	0,01	0,00	0,00				0,13
																									0,27

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	Utiliteit/Appartementen (7 tot 10 lagen)																				
$H_{v,1}$ [dB]		-2,1	-1,0	-6,0	-8,2	-8,7	-9,1	-9,6	-10,0	-10,5	-11,2	-12,0	-12,8	-13,9	-15,0	-16,2	-17,3	-18,4	-19,5	-20,7		
L_v [dB]		63	52	61	63	72	79	72	69	72	72	75	75	79	75	84	67	57	54	41	88	
v_{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	
																					v_{top}	0,05

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

Begane grond	vloertype: user defined																										
$H_{v,yoor}$	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	0,0	0,0	0,0		
L_v [dB]	63	52	61	63	72	79	72	69	72	72	75	75	79	75	84	67	57	54	41								88
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00								0,02
																									v_{rms}		0,05

3e verdieping	vloertype:	user defined																	v _{top}		0,03	
H _{v,3} [dB]		1,1	1,8	2,1	0,5	-0,1	-0,4	-0,7	-1,0	-1,2	-1,5	-1,8	-2,0	-2,3	-2,6	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7		
H _{v,yoor} [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		
L _v [dB]		64	54	63	63	72	79	72	68	71	70	73	73	76	73	82	64	54	51	39		86
v _{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00		0,02
																					v _{top}	0,04

5e verdieping		vloertype: user defined																		*top		0,04	
H _{v,3} [dB]		1,8	2,9	3,5	0,9	-0,2	-0,7	-1,1	-1,6	-2,0	-2,5	-3,0	-3,4	-3,8	-4,3	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5			
H _{v,yoor} [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			
L _v [dB]		65	55	64	63	72	78	71	68	70	69	72	71	75	71	80	62	52	49	37	85		
v _{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02		
																				V _{toet}	0,04		

SBR-B / Hinder voor personen (V_{eff})

Begane grond		gebouwtype:																			
SBR-weging		-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	
L_v [dB]		52	43	53	56	67	75	70	67	71	71	74	75	79	75	84	67	57	54	41	87
$V_{eff,max}$ [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
		V_{per}^*																			0,000

3e verdieping																				
L_v [dB]	53	45	55	57	67	75	69	66	69	70	72	73	76	73	82	64	54	51	39	85
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
																		V_{oor}		0,000

5e verdieping																			V_per		V_0,000	
L_v [dB]	54	46	57	57	67	75	69	66	69	69	71	71	75	71	80	62	52	49	37			
V_eff,max [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00			

Trillingsprognose railverkeer

project	Schaapsdrift, Arnhem	bronspectrum	Goederentrein, 09/03-16u35	passages per uur	0,0	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtype	Appartementen (7-10 lagen)	vormfactor C_f	0,49	peiljaar	2024	
gebouwfstand (tot spoor)	30 m	referentieafstand	20 m	rijnsnelheid	90	km/u
				referentie snelheid	90	km/u

Z

Bodemtrillingen

1/3-octaf	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	som
bronspectrum (rms, gem)			69	59	64	67	77	81	80	84	86	82	81	85	100	93	109	86	78	75	72				110
spreiding																									
bronspectrum (rms, max)			69	59	64	67	77	81	80	84	86	82	81	85	100	93	109	86	78	75	72				110
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie			-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,7	-3,0	-3,3	-3,7	-4,2	-4,4	-4,4	-4,4				
L_v [dB]			67	57	62	65	75	79	78	82	83	79	79	82	97	89	105	81	73	71	67				106
v_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,07	0,03	0,19	0,01	0,00	0,00	0,00				0,20
																									0,42

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	Utiliteit/Appartementen (7 tot 10 lagen)																			
$H_{v,1}$ [dB]		-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,0	-8,4	-9,0	-9,8	-10,8	-12,4	-15,1	-20,0	-20,0	-20,0	-20,0		
L_v [dB]		59	49	54	57	67	71	70	74	76	71	70	72	86	77	90	61	53	51	47	92
V_{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
																					0,08

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

Begane grond	vloertype: vloertype 3 (f0 = 10-20 Hz)																			
Hv,yoor	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	
Lv [dB]	60	49	54	58	68	72	72	77	80	77	77	79	92	83	96	66	57	54	49	98
Vrms [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
																				vtop 0,16

5e verdieping	vloertype:	vloertype 3																(f0 = 10-20 Hz)				*top		0,16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Hv,3 [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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	0,0	0,0	0,0

9e verdieping	vloertype: vloertype 3																	(f0 = 10-20 Hz)			
Hv,3 [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		
Hv,yoor [dB]	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		
Lv [dB]	60	49	54	58	68	72	72	77	80	77	77	79	92	83	96	66	57	54	49		
vrm [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00		
																		Vtop	0,16		

SBR-B / Hinder voor personen (V_{eff})

Begane grond	gebouwtype:																			
SBR-weging	-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	
L_v [dB]	49	40	46	52	63	69	69	75	79	77	77	79	92	83	96	66	57	53	49	98
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
																				V_{per} 0,001

5e verdieping																			* per		
L_v [dB]	49	40	46	52	63	69	69	75	79	77	77	79	92	83	96	66	57	53	49	98	
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	
	V_{max} *																			0,001	

9e verdieping																			▼ per		▼ tot	
L_v [dB]	49	40	46	52	63	69	69	75	79	77	77	79	92	83	96	66	57	53	49	98		
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08		
																				V_{max} *	0,001	

Appartementen 7-10 lagen - 30m

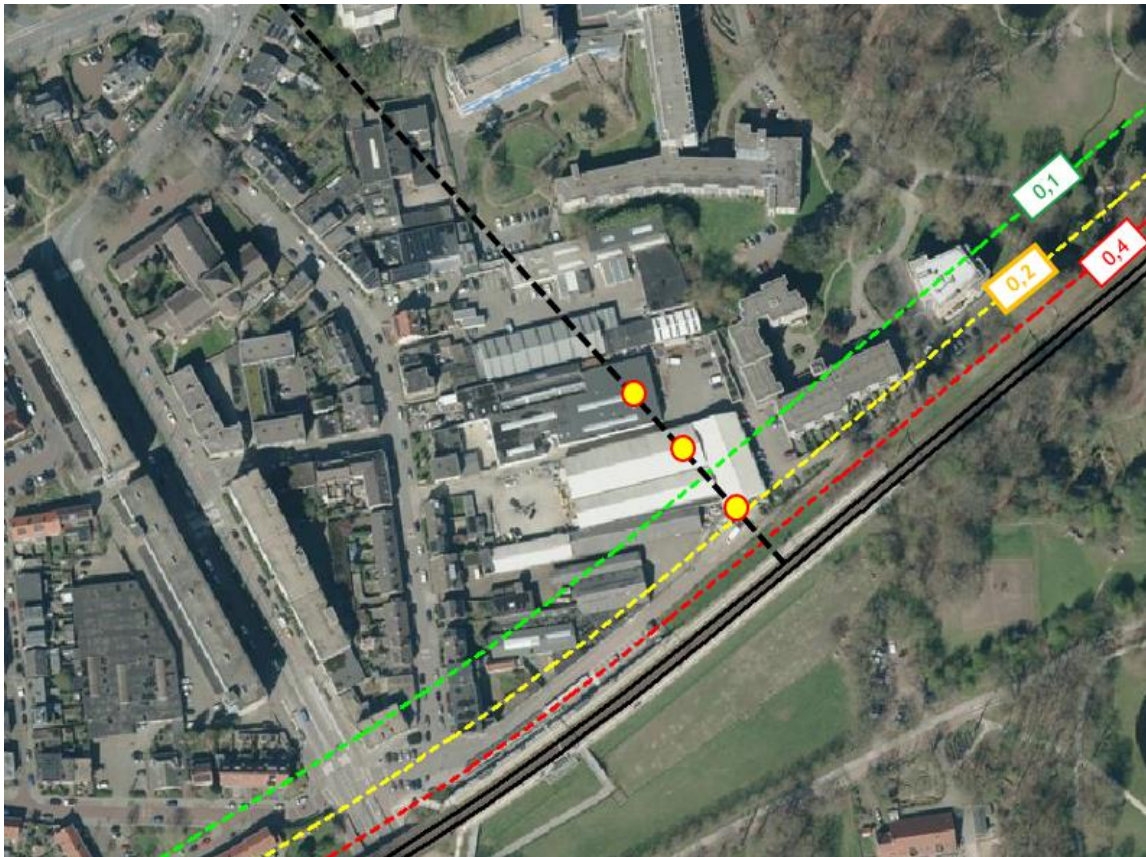
Bijlage 3

Titel	Trillingscontouren $V_{\max}$
Omvang	2 bladen

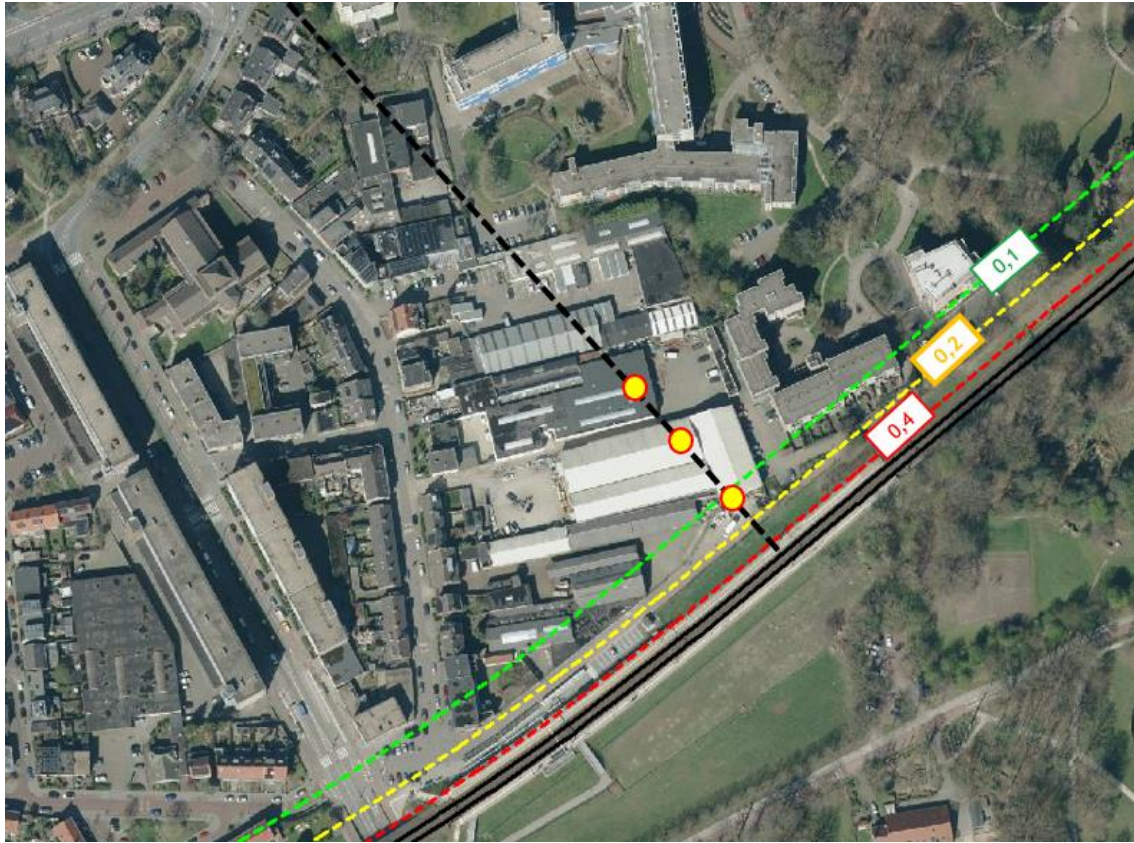
Uitleg

De contourplaatjes zijn gemaakt voor woningbouw uitgevoerd in klassieke betonbouw. Voor de gebouwtypen: grondgebonden woningen, appartementengebouwen 3 tot 6 lagen en 7 tot 10 lagen zijn contourplaatjes gemaakt waarbij aangegeven is bij welke afstand de $V_{\max}$ gelijk is aan de onderste streefwaarde $A1=0,1$ (groen), bovenste streefwaarde nachtperiode $A2=0,2$ (geel) en de bovenste streefwaarde voor de dag- en avondperiode $A2=0,4$ (rood).

Deze contourplaatjes geven voor elk type woningbouw aan op welke afstand er voldaan wordt aan de SBR-B streefwaarde. Met de bolletjes zijn de afstanden van 30, 60 en 90 meter van het spoor aangegeven.



Grondgebonden woningen



Appartementengebouwen, 4 tot 6 bouwlagen



Appartementengebouwen, 7 tot 10 bouwlagen