

Gemeente Arnhem - Laarkwartier

Onderzoek spoortrillingen

Status	definitief
Versie	001
Rapport	M.2024.0380.02.R001
Datum	25 juni 2024



Colofon

Opdrachtgever	Gemeente Arnhem Postbus 9200 6800 HA Arnhem
Contactpersoon opdrachtgever	W.J.S. Mulders 026 377 44 27
Project Betreft Uw kenmerk	GemArnhem-Laarkwartier Trillingsonderzoek -
Rapport Datum Versie Status	M.2024.0380.02.R001 25 juni 2024 001 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Weerdjesstraat 70 6811 JE Arnhem Postbus 153 6800 AD Arnhem
Contactpersoon	ing. R.G. (Reinoud) Fennema 088 346 76 33 RFE@dgmr.nl
Auteur	ir. M.B. (Marc) van 't Veer 088 346 78 65 MVEE@dgmr.nl
Projectadviseur	W.J. (Wim) Wigerink 088 346 78 25 wwi@dgmr.nl
2e lezer/secr.	RFE SMI

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Situatie	5
2.1 Gebied Laarkwartier (Arnhem Zuid)	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	10
6.1 Methode	10
6.2 Trilgedrag woningcasco	10
6.3 Trilgedrag vloeren	10
7. Prognose	11
8. Conclusies en aanbevelingen	13

Bijlagen

Bijlage 1	Trillingsregistraties (V_{top})
Bijlage 2	Trillingsprognoses (reguliere goederentreinen)

1. Inleiding

De gemeente Arnhem heeft het voornemen om woningbouw op korte afstand van station Arnhem Zuid te ontwikkelen. Dit plan vereist een wijziging van het huidige omgevingsplan. Om de wijziging van het omgevingsplan te onderbouwen, heeft DGMR van de gemeente Arnhem opdracht gekregen om verschillende milieuaspecten te onderzoeken.

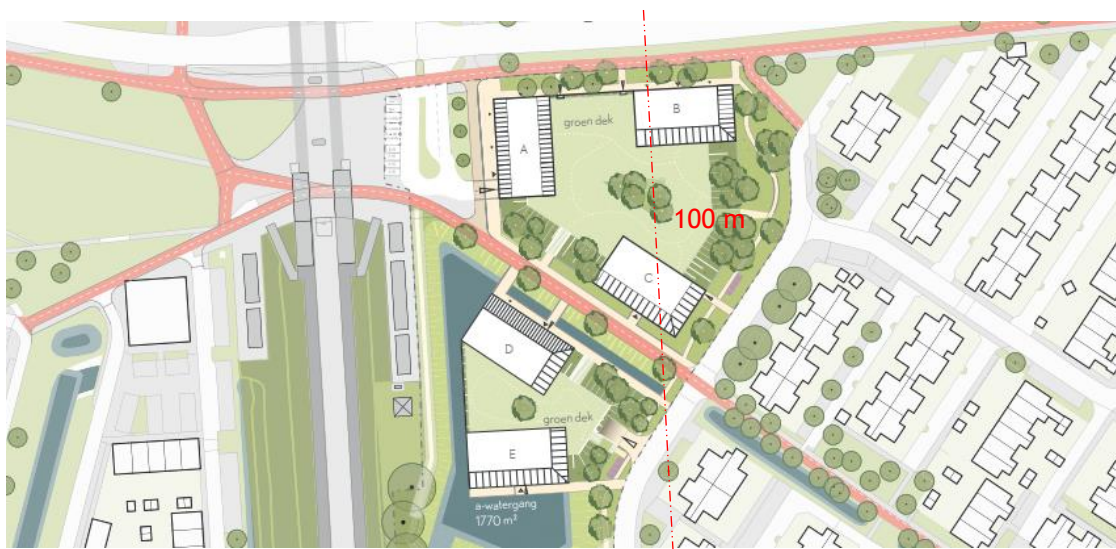
Het plangebied bevat woningbouw op een afstand van minder dan 100 meter van het spoor. Bij woningen op minder dan 100 meter van het spoor ontstaat het risico op trillingshinder in de woningen. Vandaar dat voor woningbouw binnen deze afstand een trillingsonderzoek wordt aangeraden.

Om de trillingsbelasting in beeld te brengen, zijn trillingsmetingen uitgevoerd. Op basis van de resultaten van deze meting en de kenmerken van de planinvulling is een prognose opgesteld voor de te verwachten trillingen in de geplande gebouwen. De resultaten worden getoetst aan het in de “Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen” van het Ministerie van I&W geadviseerde toetsingskader, de SBR-B richtlijn “Trillingshinder voor personen in gebouwen”. Als maatregelen nodig zijn om te voldoen aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn dan geven wij deze op hoofdlijnen aan.

2. Situatie

2.1 Gebied Laarkwartier (Arnhem Zuid)

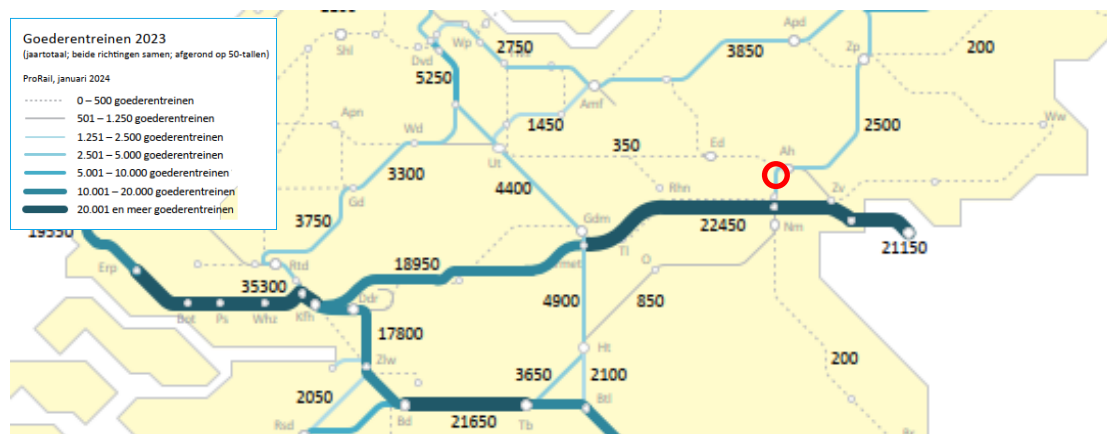
In figuur 1 is het huidige plan voor de woningbouw in het Laarkwartier, bij station Arnhem Zuid weergegeven. De nieuwe bebouwing is aangegeven met letters A t/m E. Alle gebouwen liggen (gedeeltelijk) binnen 100 meter van de spoorlijn Arnhem-Nijmegen, de afstand waarbinnen de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen aangeeft dat onderzoek naar trillingshinder gewenst is.



figuur 1: plan bebouwing Arnhem zuid en meetpunten

2.2 Spoor en treinmaterieel

Op het traject Arnhem - Nijmegen rijden overwegend sprinters en intercity's (type VIRM). Goederentreinen komen op dit traject weinig voor. Volgens het jaarrapport 2023 van ProRail, zie figuur 2, reden er in dat jaar ongeveer 850 goederentreinen (beide richtingen samen). Dit komt neer op een gemiddelde van 17 goederentreinen per week.



figuur 2: goederentreinen per jaar (rode cirkel is plangebied)

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 14 en 21 mei 2024. Voor zover bekend waren er 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 op de kavel twee meetraaien uitgezet. MP1 t/m MP4 liggen op de eerste meetraai, langs het fietspad, op afstanden van 40 tot 100 meter van het spoor. De tweede meetraai ligt verder zuidelijk van station Arnhem Zuid, met één meetpunt op 40 meter afstand en een meetpunt op ongeveer 70 meter afstand van het spoor.



figuur 3: meetposities, MP1 t/m MP6 in de bodem op verschillende afstand van het spoor

tabel 2: meetlocaties en systemen

Meetpunt	Afstand	Meetsysteem	Serienummer
MP1	Bodem 45 m	Profound Vibra SBR	VIB02081
MP2	Bodem 60 m	Profound Vibra SBR	VIB03682
MP3	Bodem 80 m	Profound Vibra SBR	VIB03719
MP4	Bodem 100 m	Profound Vibra SBR	VIB03723
MP5	Bodem 40 m (referentie)	Profound Vibra SBR	VIB00488
MP6	Bodem 70 m	Profound Vibra SBR	VIB00588

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 meetpunten MP3 en MP4 zijn vanwege lage trillingssterkten weggelaten.

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

Top-15			MP1 (45 m)			MP2 (60)			MP5 (40 m)			MP6 (70 m)		
Nr	Treintype (ri.)	Tijdstip	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	Goederen(Z)	17/5-11:21	0,19	0,15	0,89	0,39	0,22	0,38	0,28	0,36	0,55	0,57	0,46	0,65
2	Goederen(Z)	15/5 01:51	0,13	0,15	0,37	0,17	0,19	0,16	0,25	0,44	0,40	0,41	0,52	0,26
3	Goederen(N)	16/5 13:10	0,19	0,11	0,33	0,26	0,18	0,20	0,40	0,27	0,37	0,45	0,54	0,30
4	Goederen(N)	18/5 09:39	0,13	0,10	0,45	0,25	0,15	0,20	0,17	0,21	0,31	0,39	0,26	0,26
5	Goederen(Z)	15/5 00:19	0,10	0,10	0,39	0,21	0,14	0,16	0,19	0,20	0,31	0,44	0,35	0,21
6	Goederen(N)	14/5 21:28	0,15	0,13	0,29	0,24	0,20	0,20	0,25	0,31	0,30	0,57	0,64	0,30
7	Goederen(N)	16/5 23:49	0,17	0,11	0,28	0,29	0,20	0,16	0,40	0,37	0,30	0,52	0,49	0,32
8	Goederen(N)	20/5 20:07	0,10	0,10	0,33	0,18	0,12	0,14	0,28	0,21	0,28	0,27	0,32	0,26
9	Goederen(N)	16/5 16:09	0,08	0,10	0,19	0,10	0,08	0,10	0,11	0,10	0,26	0,14	0,12	0,12
10	Goederen(Z)	17/5 00:50	0,10	0,10	0,15	0,13	0,10	0,11	0,16	0,15	0,25	0,27	0,28	0,17
11	Goederen(Z)	20/5 23:15	0,12	0,12	0,21	0,24	0,18	0,14	0,30	0,31	0,24	0,53	0,54	0,24
12	Goederen(N)	18/5 01:04	0,16	0,10	0,13	0,22	0,14	0,10	0,27	0,20	0,24	0,48	0,44	0,16
13	Intercity(N)	16/5 12:10	0,06	0,06	0,08	0,10	0,07	0,06	0,10	0,11	0,24	0,14	0,12	0,10
14	Goederen(N)	14/5 23:00	0,09	0,09	0,19	0,10	0,10	0,13	0,11	0,11	0,22	0,17	0,16	0,19
15	Intercity(N)	16/5 06:50	0,08	0,06	0,10	0,08	0,07	0,07	0,10	0,10	0,22	0,13	0,10	0,11
V_{max}			0,19	0,15	0,89	0,39	0,22	0,38	0,40	0,44	0,55	0,57	0,64	0,65

X-richting parallel aan het spoor, Y-richting haaks op het spoor, gerangschikt op Mp5, Z-richting

Beschouwing

In tabel 3 is te zien dat de top-15 treinen met name bestaat uit goederentreinen in beide richtingen, maar de maatgevende goederentrein reed in zuidelijke richting (richting Nijmegen). Wat opvalt is dat er ook twee intercity's in de top-15 staan en dat deze met name bij meetpunt MP5 wat hogere trillingssterkten veroorzaakten. De mogelijke reden hiervoor is dat de intercity's stoppen bij station Arnhem zuid, waardoor ze bij de meetraai parallel aan het station lagere trillingssterkten veroorzaken. Goederentreinen stoppen niet bij Arnhem zuid, waardoor de trillingssterkten bij MP1 en MP2 vergelijkbaar zijn met de trillingssterkten bij MP5 en MP6.

Een ander opmerkelijk verschijnsel is dat bij een aantal goederentreinen op MP6 (70 m) hogere waarden zijn gemeten dan bij MP5 (40 m), terwijl MP6 op een bijna 2 keer zo grote afstand ligt. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt doordat MP6 nabij een sloot lag, wat mogelijk zorgt voor meer mobiliteit in de toplaag van de bodem met als gevolg hogere trillingssterkten. Ook op MP2 zijn bij een aantal treinen in de top-15 hogere trillingssterkte gemeten dan op MP1, maar dan alleen in de horizontale richtingen. Dit komt doordat meetpunt MP1 zich bevond in een groenstrook omringt door bestrating (asfalt).

De hoogste trillingssterkte is gemeten op MP1 met een $V_{eff,max}$ waarde van 0,89 in de verticale richting. De tweede trein in rangorde noteerde op MP1 een $V_{eff,max}$ waarde van 0,45 in verticale richting, dus slechts de helft. Dat bij de maatgevende trein significant hogere waarden gemeten zijn kan veroorzaakt zijn door opslinging van trillingen in de bodem bij de dominante frequentie van ongeveer 8 Hz en/of doordat deze specifieke trein aanmerkelijk meer trillingen opwekt bij deze frequentie. De gemeten trillingssterkten voor deze maatgevende trein zijn op MP5 ook lager dan op MP1, dat zelfs iets verder van het spoor ligt. Wanneer er specifieke resonanties optreden in de bodem kunnen deze relatief grote verschillen eenvoudig ontstaan.

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 dit risico minder aanwezig. Op deze lijn komen de hier bedoelde lange/zware goederentreinen met laagfrequente trillingsopwekking regelmatig voor. In de prognose wordt bij deze lage frequenties daarom rekening gehouden met enige versterking naar hogere verdiepingen in horizontale richting. 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 18 goederentreinen geregistreerd, waarvan één met significant hogere trillingsopwekking. Deze hogere trillingsopwekking is op alle meetsystemen gemeten, waarbij het verschil met de qua trillingsopwekking eerstvolgende trein een factor 1,5 tot 2,5 bedroeg. De vraag is hierin hoeverre er rekening moet worden gehouden met deze eenmalig gedurende een week voorgevallen extreme trein of dat deze als incidenteel moet worden beschouwd. Daarom wordt in de prognoses onderscheid gemaakt tussen deze extreme goederentrein (worstcase) en de reguliere goederentreinen. Intercity's wekken significant lagere trillingssterkten op dan goederentreinen, waarmee de goederentreinen maatgevend zijn.

In Bijlage 2 zijn de prognoseberekeringen opgenomen voor de voorziene gebouwtypen (appartementen uitgevoerd in beton). De prognoses zijn uitgevoerd voor:

- appartementengebouw D met vijf bouwlagen op 38 meter afstand van het spoor;
- appartementengebouw E met zeven bouwlagen op 38 meter afstand;
- appartementen gebouw A met tien bouwlagen op 54 meter afstand.

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 berekende trillingssterkten in het geval van de 'worstcase' goederentrein weergegeven. De berekende V_{per} geldt voor de hele treinpopulatie.

tabel 4: trillingsprognose V_{max} en (V_{per}), inclusief 'worstcase' goederentrein

Gebouwtype	Bouwlagen	Afstand	Referentie	Richting	Prognose V_{max} (V_{per})
Appartementengebouw E	5	38 m	Mp5	Verticaal	0,40 (0,017)
				Horizontaal	0,22 (0,003)
Appartementengebouw D	7	38 m	Mp5	Verticaal	0,32 (0,008)
				Horizontaal	0,14 (0,001)
Appartementengebouw A	10	54 m	Mp1	Verticaal	0,43 (0,018)
				Horizontaal	0,06 (--)

In tabel 5 zijn de uit bijlage 2 overgenomen berekende trillingssterkten V_{max} en V_{per} in de voorgenomen bebouwing weergegeven, geldend voor de reguliere goederentreinen. De berekende V_{per} geldt wederom voor de hele treinpopulatie (inclusief reizigerstreinen).

tabel 5: trillingsprognose V_{max} en (V_{per}), regulier treinverkeer

Gebouwtype	Bouwlagen	Afstand	Referentie	Richting	Prognose V_{max} (V_{per})
Appartementengebouw E	5	38 m	Mp5	Verticaal	0,30 (0,017)
				Horizontaal	0,14 (0,002)
Appartementengebouw D	7	38 m	Mp5	Verticaal	0,24 (0,008)
				Horizontaal	0,09 (--)
Appartementengebouw A	10	54 m	Mp1	Verticaal	0,18 (0,017)
				Horizontaal	0,06 (--)

Beschouwing

Uit tabel 4 valt op te maken dat als de 'worstcase' goederentrein wordt meegenomen in de prognose er in de appartementengebouwen A en E niet wordt voldaan aan de streefwaarden (A2) uit de SBR-B voor de nachtperiode. Appartementengebouw D op 38 meter afstand zou alleen voldoen als de streefwaarde (A2) voor bestaande bouw aangehouden zou worden. De reden dat appartementengebouw A (54m afstand) naar verhouding van de bouwhoogte (10 lagen) zo ongunstig uitvalt is dat hiervoor het dichtstbijzijnde meetpunt MP1 als referentie is aangehouden.

Op dit meetpunt werden tijdens de passage van ‘worstcase’ trein veel hogere trillingssterkten gemeten dan op MP5 dat op nagenoeg dezelfde afstand lag.

Voor alle drie beschouwde appartementengebouwen geldt dat de gemiddelde trillingssterkte V_{per} zeer laag is en ruim voldoet aan de daarvoor geldende streefwaarde (A3). Dit geeft aan dat het aantal treinen dat hogere trillingssterkten opwekt maar zeer beperkt is.

Als de ‘worstcase’ goederentrein buiten beschouwing wordt gelaten, zie de resultaten in tabel 5, dan dalen de trillingssterkten V_{max} aanmerkelijk. Appartementengebouw A van tien bouwlagen voldoet dan geheel aan de streefwaarden uit de SBR-B geldend voor nieuwbouw. Dit geldt ook voor appartementengebouw D van zeven lagen, als hiervoor de gebruikelijke afronding, zie hoofdstuk 3, wordt toegepast. Alleen appartementengebouw E van vijf lagen, op 38 meter van het spoor, voldoet volgens de prognoses dan nog niet.

Voor alle gebouwen geldt dat is gerekend met vloeren met dusdanige stijfheid dat de laagste buig-eigenfrequentie ruim boven de door de treinen opgewekte dominante frequenties van uitkomt. Deze dominante frequenties reiken tot 10 Hz waarmee voor de laagste vloereigenfrequentie tenminste 15 Hz moet worden aangehouden. Als vloereigenfrequenties samenvallen met de ze dominante frequenties mag worden verwacht dat de trillingssterkten met een factor 1,5 tot 2 zullen stijgen.

8. Conclusies en aanbevelingen

Op het traject Arnhem - Nijmegen rijden goederentreinen, intercity's en sprinters. De uitgevoerde trillingsmetingen, waarin 1.500 treinpassages zijn geregistreerd waarvan 18 goederentreinen, wijzen uit dat sprinters weinig trillingen opwekken. Sommige intercity's dragen wel bij aan de trillingsbelasting op te realiseren nieuwbouw, maar deze trillingsbelasting bedraagt hooguit de helft aan wat de zwaardere goederentreinen opwekken. Goederentreinen zijn daarmee veruit dominant en maatgevend. Van de 18 goederentreinen heeft één goederentrein significant hogere trillingssterkten opgewekt dan de rest.

Als een overschrijding door één trein per week als criterium (acceptatie) wordt aangehouden, dan zou deze trein buiten de toetsing vallen. Het accepteren van één overschrijding per week doet o.i. geen afbreuk aan een goed woon- en leefklimaat. Niettemin is in beeld gebracht wat deze trein aan trillingen zou kunnen opwekking in de voorgenomen bebouwing.

De trillingsprognoses laten zien dat de verwachte trillingssterkten door reguliere goederentreinen alleen tot overschrijding van de streefwaarden uit de SBR-B (nieuwbouw/nachtperiode) leiden in appartementengebouw E dat op 38 meter afstand van het spoor komt te staan. Dit gebouw is met haar vijf lagen ook het laagst van de beschouwde bouwblokken. De overschrijding is met een verwachte $v_{\max}$ van 0,3 echter beperkt. De appartementengebouwen A en D voldoen wel aan de SBR-B en dat geldt ook voor de verder van het spoor gesitueerde gebouwen B (zeven lagen) en C (vijf lagen).

Als ook de 'worstcase' goederentrein in beschouwing wordt genomen dan nemen de verwachte trillingssterkten aanzienlijk toe en wordt verwacht dat pas op meer dan 70 meter afstand van het spoor zal worden voldaan aan de SBR-B.

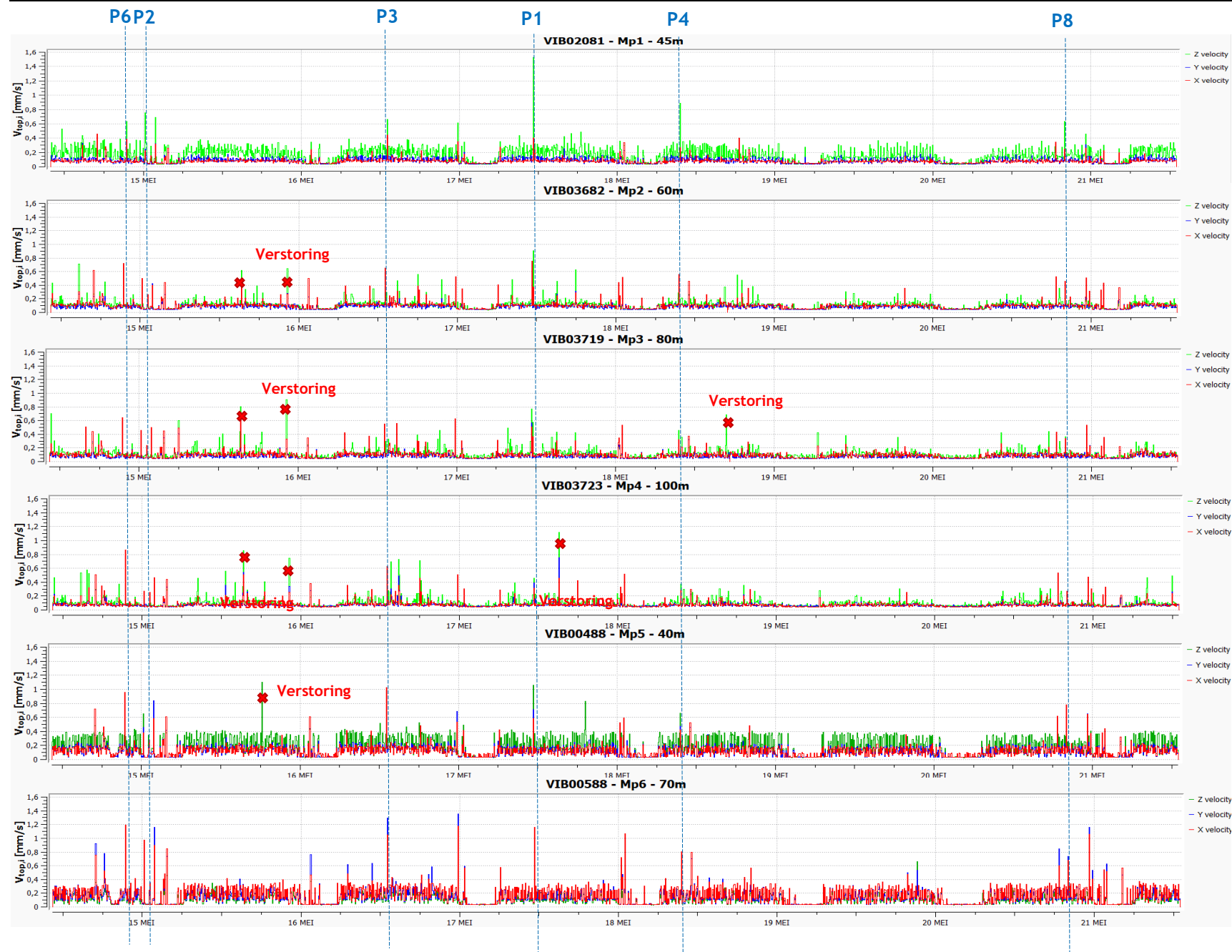
De prognoses geven aan dat het belangrijk is om woningvloeren zo te dimensioneren dat deze geen sterke resonanties vertonen in het dominante frequentiegebied qua treintrillingen. Dit betekent dat het frequentiegebied van 6 tot 10 Hz moet worden gemeden en vloeren moeten worden gedimensioneerd op een laagste buig-eigenfrequentie van 15 Hz.

Wat betreft appartementengebouw E (vijf lagen, 38 meter afstand) dat nu nog niet voldoet aan de SBR-B, wordt aanbevolen om in de uitwerkingsfase nader en meer uitgebreid onderzoek te doen gericht op alleen deze kavel, alvorens over te gaan op verdere maatregelen.

W.J. (Wim) Wigerink
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

Bijlage 1

Titel	Trillingsregistraties (V_{top})
Omvang	1 blad



Bijlage 2

Titel	Trillingsprognoses (reguliere goederentreinen)
Omvang	3 bladen

Trillingsprognose railverkeer

project	Laarkwartier Arnhem	bronspectrum	goederentrein, 16/5 13u11	passages per uur	0,0	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtype	Appartementen A	vormfactor C_F	0,42	peiljaar	2024	
gebouwfstand (tot spoor)	54 m	referentieafstand	45 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)																									
spread																									109
bronspectrum (rms, max)																									109
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie																									
$L_{v,1}$ [dB]																									108
V_{rms} [mm/s]																									0,25
																									0,60

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]		71	72	77	79	91	98	81	82	85	70	66	61	58	46	50	46	46	46	42		99
v_{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,08	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		0,09
																					v_{top}	0,21

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

Begane grond	vloer type: user defined																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
$H_{v,3}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0

5e verdieping

$H_{v,3}$ [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		
$H_{v,3,avg}$ [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		
$L_{v,1}$ [dB]	73	75	80	80	91	97	80	80	83	68	64	58	54	41	46	41	42	41	38	98
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
																				0,20

10e verdieping

$H_{v,3}$ [dB]	3,7	5,9	7,0	1,8	-0,5	-1,4	-2,3	-3,2	-4,1	-4,9	-5,9	-6,8	-7,6	-8,5	-9,0	-9,0	-9,0	-9,0
$H_{v,3,avg}$ [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_v [dB]	75	78	84	81	91	96	79	79	81	65	61	54	50	37	41	37	37	33
v_{rms} [mm/s]	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,06	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
																		98
																		0,08
																	v_{top}	0,19

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]	60	63	69	73	86	94	79	80	84	69	66	61	57	46	50	46	46	46	42
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	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
																			95
																			0,06

5e verdieping

$L_{v,1}$ [dB]	62	65	73	74	86	93	78	78	82	67	63	57	54	41	46	41	41	41	38	95
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
																			V_{per}	0,000

10e verdieping

L_v [dB]	64	68	76	75	86	93	76	77	80	65	60	54	50	37	41	37	37	37	33
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
																		V_{per}^*	0,000

Trillingsprognose railverkeer

project	Laarkwartier Arnhem	bronspectrum	goederentrein, 15/5 01u51	passages per uur	2,2	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtype	Appartementen A	vormfactor C_F	0,54	peiljaar	2024	
gebouwfstand (tot spoor)	54 m	referentieafstand	45 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)																									
spread																									113
bronspectrum (rms, max)																									113
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie																									
$L_{v,1}$ [dB]																									112
V_{rms} [mm/s]																									0,40
																									0,74

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			
$L_{v,1}$ [dB]	65	66	65	76	75	99	96	98	99	87	68	63	58	56	57	51	49	50	48	104
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,09	0,06	0,08	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
																				0,30

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

Begane grond	vloer type: vloer type 3 (fo = 10-20 Hz)																			
H _{v, vloer}	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]	65	66	66	77	76	100	97	100	103	93	76	70	65	61	62	56	52	53	50	107
V _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	0,07	0,10	0,14	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
																		v.		0,41

5e verdieping

$H_{v,3}$ [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
$H_{v,3,0,0}$ [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]	65	66	66	77	76	100	97	100	103	93	76	70	65	61	62	56	52	53	50
V_{rms} (mm/s)	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	0,07	0,10	0,14	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
																			0,41

10e verdieping

Vibration frequency		Vibration type 3 (70 - 20 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		
$H_{v,3,avg}$ [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]		65	66	66	77	76	100	97	100	103	93	76	70	65	61	62	56	52	53	50	
v_{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	0,07	0,10	0,14	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
																				0,44	

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

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]	54	57	58	71	71	97	95	99	102	92	75	70	64	61	62	55	52	53	50
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,07	0,06	0,08	0,13	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17

5e verdieping

Se verdieping																		V _{oor}	0,017	
L _v [dB]	54	57	58	71	71	97	95	99	102	92	75	70	64	61	62	55	52	53	50	105
v _{eff} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,06	0,08	0,13	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18

10e verdieping

10e verdieping																	*per		0,027	
L _v [dB]	54	57	58	71	71	97	95	99	102	92	75	70	64	61	62	55	52	53	50	
V _{eff,max} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,06	0,08	0,13	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
																			105	
																			0,18	

Gemeente Arnhem - Laarkwartier

Trillingsprognose railverkeer

project	Laarkwartier Arnhem	bronspectrum	goederentrein, 15/5 01u51	passages per uur	0,0	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtipe	Appartementen E	vormfactor C_e	0,43	peiljaar	2024	
gebouwfstand (tot spoor)	38 m	referentieafstand	40 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)			69	72	67	88	88	110	102	94	94	78	76	69	66	66	67	69	70	71	68				111
spread																									
bronspectrum (rms, max)			69	72	67	88	88	110	102	94	94	78	76	69	66	66	67	69	70	71	68				111
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie			0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8				
L_w [dB]			70	72	68	89	88	111	103	94	95	78	76	70	67	67	68	70	70	71	69				112
V_{rms} [mm/s]			0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,35	0,13	0,05	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,38
																									0,88

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtipe: 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_w [dB]	68	73	70	86	83	105	97	88	89	72	70	62	58	57	58	59	59	59	56		106	
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,19	0,07	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,21	
																				v_{top}	0,48	

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

Begane grond	vloertype: user defined																							
H _{v,floor}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	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	73	70	86	83	105	97	88	89	72	70	62	58	57	58	59	59	59	56			106		
V _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,19	0,07	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,21		
																				V _{iso}		0,48		

3e verdieping

vloertype:		user defined																				
$H_{v,3}$ [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		
$H_{v,100}$ [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_w [dB]		71	77	74	87	83	105	96	87	88	71	68	61	56	55	55	56	56	56	53		106
V_{rms} [mm/s]		0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,18	0,07	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,20
																					V_{iso}	0,46

5e verdieping

vloertype:		user defined																					
$H_{v,3}$ [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			
$H_{v,3,ref}$ [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			
L_w [dB]		72	79	77	87	83	105	96	87	87	70	67	59	55	54	54	55	55	55	52		106	
v_{rms} [mm/s]		0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,18	0,06	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,19	
																					v_{iso}	0,44	

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_w [dB]		57	64	62	80	79	102	94	87	88	71	69	62	58	57	58	59	59	59	56	103	
$V_{eff,max}$ [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,12	0,05	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	
																					V_{per}	0,002

3e verdieping

L_w [dB]	59	67	66	81	78	102	94	86	86	70	67	60	56	55	55	56	56	56	53							103
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,12	0,05	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							0,13
																									V_{per}	0,002

5e verdieping

L_w [dB]	61	70	69	81	78	101	93	85	86	69	66	59	55	53	54	55	55	55	52							102	
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,12	0,05	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							0,13	
																										$V_{eff,max}$	0,002

Trillingsprognose railverkeer

project	Laarkwartier Arnhem	bronspectrum	goederentrein, 15/5 01u51	passages per uur	2,2	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
gebouwtipe	Appartementen E	vormfactor C_e	0,48	peiljaar	2024	
gebouwfstand (tot spoor)	38 m	referentieafstand	40 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)			79	75	72	90	93	108	106	108	109	95	83	76	73	70	71	74	72	76	71				114
spread																									
bronspectrum (rms, max)			79	75	72	90	93	108	106	108	109	95	83	76	73	70	71	74	72	76	71				114
snelheidscorrectie																									
afstandscorrectie			0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8				
L_w [dB]			79	75	72	91	93	108	107	108	110	96	84	77	74	71	71	75	73	71				114	
V_{rms} [mm/s]			0,01	0,01	0,00	0,03	0,05	0,25	0,21	0,26	0,31	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00				0,53
																						V_{gem}			1,11

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtipe:	Utiliteit/Appartementen (3 tot 6 lagen)																				
$H_{v,3}$ [dB]		-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	-14,0		
L_v [dB]		73	69	66	85	87	102	101	102	104	89	77	70	65	61	60	61	59	63	57		108
v_{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,13	0,11	0,13	0,16	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,27
																					v_{lim}	0,55

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

Begane grond	vloertype:		vloertype 3																				
			(f ₀ = 10-20 Hz)																				
H _{v, vloer}	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]	73	70	67	85	88	103	102	105	108	96	84	77	72	67	66	66	62	65	60		111		
v _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,15	0,13	0,18	0,25	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,37		
																				v _{rms}	0,78		

3e verdieping

vloeifrequentie	vloeitipe:		vloeitipe 3 ($f_0 = 10-20$ 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	0,0	0,0		
$H_{v,voor}$ [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]	73	70	67	85	88	103	102	105	108	96	84	77	72	67	66	66	62	65	60			111	
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,15	0,13	0,18	0,25	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,37	
																					v_{rms}		0,78

5e verdieping

ge verdieping	vloertype:	vloertype 3 (f0 = 10-20 nHz)																				
Hv3 [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		
Hvvoer [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]	73	70	67	85	88	103	102	105	108	96	84	77	72	67	66	66	62	65	60			111
vms [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,15	0,13	0,18	0,25	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,37
																						0,78

passages per uur	0,0	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
peiljaar	2024	
rijsnelheid	90	km/u
referentie snelheid	90	km/u

X

[illegible]

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtype:	Utiliteit/Appartementen (7 tot 10 lagen)																				
H _v [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]		68	71	62	81	80	102	93	84	84	67	64	57	53	52	52	52	52	52	49	102	
v _{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,12	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	
																					v _{spp}	0,31

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

Begane grond	vloertype: 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	0,0	0,0
L _v [dB]	68	71	62	81	80	102	93	84	84	67	64	57	53	52	52	52	52	49	102
V _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,12	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13
																	V _{iso}		0,31

4e verdieping

$H_{v,3}$ [dB]	1,5	2,4	2,8	0,7	-0,2	-0,5	-0,9	-1,3	-1,6	-2,0	-2,4	-2,7	-3,1	-3,4	-3,6	-3,6	-3,6	-3,6	-3,6	
$H_{v,water}$ [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]	69	74	65	81	79	101	92	83	83	65	62	54	50	48	48	49	48	48	45	102
v_{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,11	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
																		v_{100}		0,29

7e verdieping

[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]	56	62	54	75	75	98	90	82	83	66	64	57	53	51	52	52	52	52	48	99
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
																	V_{*}			0,001

4e verdieping

L_v [dB]	58	64	57	75	75	98	90	81	81	64	62	54	50	48	48	49	48	48	45	98
$v_{\text{eff,max}}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
																				v_{per} 0,001

7e verdieping

L_p [dB]	59	66	59	76	75	97	89	80	80	63	60	52	47	45	45	46	46	46	42	98	
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,07	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	
																				v_{pr}^*	0,001

Trillingsprognose railverkeer

passages per uur	0,6	(voelbaar $V_{eff} > 0,1$)
peiljaar	2024	
rijksnelheid	90	km/u
referentie snelheid	90	km/u

Z

[illegible]

SBR-A / Gebouwschade

Stijf punt fundatie	gebouwtipe:	Utiliteit/Appartementen (7 tot 10 lagen)																	
H_{v1} [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]		71	67	64	83	85	100	99	100	102	87	75	67	63	58	56	55	53	57
v_{rms} [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,10	0,09	0,10	0,12	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
																		v_{iso}	0,44

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

Begane grond	vloertype: vloertype 3 <i>(f₀ = 10-20 Hz)</i>																			
H _{v, vloer}	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]	71	68	65	83	86	101	100	103	106	94	82	74	69	64	62	60	56	59	54	109
v _{rms} [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,12	0,10	0,14	0,20	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
																		v _{top}		0,62

4e verdieping

[illegible]

2e verdieping

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

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_r [dB]		60	58	57	77	82	98	98	101	105	93	82	74	69	64	62	60	56	59	54	108
$v_{eff,max}$ [mm/s]		0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,08	0,12	0,18	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
		V *																		0,009	

4e verdieping

C_v [dB]	60	58	57	77	82	98	98	101	105	93	82	74	69	64	62	60	56	59	54	108
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,08	0,12	0,18	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
																		v_{max}^*		0,009

2e verdieping

L_v [dB]	60	58	57	77	82	98	98	101	105	93	82	74	69	64	62	60	56	59	54	108
$v_{eff,max}$ [mm/s]	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,08	0,12	0,18	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
																		v_{res}^*		0,009