



Risico- en kansenanalyse Spoortrillingen herinrichting Oude Dreef te Waddinxveen

Versie 3.0

Omgevingsmonitoring



EQUIPE | ADVISEURS
by b k

De uitkomst van uw rapport

Projectnummer: 224496
Locatie: Oude Dreef te
Waddinxveen

9 september 2024

De uitkomsten

De mate van hinder door spoortrillingen voor de bewoners van de nieuw te bouwen appartementen voldoet aan het gestelde in de meet- en beoordelingsrichtlijn SBR-B.

Vervolg

Aanvullend onderzoek naar hinder door spoortrillingen ten behoeve van de geplande bebouwing is niet noodzakelijk.

Michel Gerritsen

Daltonstraat 30D
3316 GD Dordrecht
06-17411578
Michel.Gerritsen@equipe-adviseurs.nl
www.equipe-adviseurs.nl

Controleur: ing. D.C. (Niels) Blokland

Inhoudsopgave

pagina

1.	Inleiding	4
1.1	Algemeen	4
1.2	Gegevens	4
2.	Uitgangspunten	5
2.1	Huidige situatie	5
2.2	Herinrichting	5
2.3	Voelbaarheid van (spoor)trillingen	5
3.	Eisen, normering en randvoorwaarden	7
3.1	SBR richtlijn A, Schade aan bouwwerken	7
3.2	SBR richtlijn B, Hinder voor personen in gebouwen	8
4.	Quick scan trillingshinder	10
4.1	Klachten over spoortrillingen	10
4.2	Bodemopbouw	10
4.3	Ligging waterpartijen	10
4.4	Wissels, overgangsconstructies en ES-lassen	10
4.5	Verkeersgegevens spoorwegen	11
4.6	Locatie- en type bebouwing	11
4.7	Toekomstige wijzigingen spoor	11
4.8	Vaststelling aandachtszone	11
5.	Trillingsonderzoek	13
5.1	Uitvoering metingen	13
5.2	Vergelijking meetwaarden	13
5.3	Dominante frequentie en frequentie-inhoud	14
5.4	Correctiefactoren	15
5.4.1	SBR-richtlijn A, Schade aan bouwwerken	15
5.4.2	SBR-richtlijn B, Hinder voor personen in gebouwen	15
5.5	Beoordeling meetwaarden	16
5.6	Beoordeling kans op schade, SBR-A	16
5.7	Beoordeling mate van hinder voor personen in gebouwen, SBR-B	16
6.	Conclusie	18

1. Inleiding

1.1 Algemeen

In opdracht van MRP Development is door Equipe Adviseurs een prognose opgesteld van de te verwachten trillingsbelasting voor de ontwikkellocatie "Waddix" aan de Oude Dreef te Waddinxveen'.

Doel van het onderzoek is het in kaart brengen van de risico's en eventuele kans op hinder en gevolgschade van spoortrillingen.

Het onderzoek is uitgevoerd in verband met een voorgenomen wijziging van het bestemmingsplan. Op de ontwikkellocatie is de bouw van appartementen voorzien. Het woongebouw zal geheel binnen een afstand van 100 meter tot aan het spoor worden gesitueerd.

Aangezien de appartementen op minder dan 100 meter vanaf het spoor zijn gepland, dient het aspect trillingshinder door treinverkeer te worden onderzocht en afgewogen.

1.2 Gegevens

Ten behoeve van het onderzoek is gebruikgemaakt van de navolgende gegevens:

1. door de opdrachtgevers aangeleverde gegevens;
2. Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen, ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, opgesteld door Witteveen+Bos Raadgevend ingenieurs B.V. referentie 111016/19-007.368 van mei 2019;
3. SBR richtlijn deel A: Schade aan gebouwen; meet- en beoordelingsrichtlijn, november 2017;
4. SBR richtlijn deel B: Hinder voor personen in gebouwen; meet- en beoordelingsrichtlijn, augustus 2002.

2. Uitgangspunten

2.1 Huidige situatie

De projectlocatie 'Waddix' betreft een langwerpig gebied aan de "kopse" zijde van het winkelcentrum en de parkeergarage. Richting het spoor grenst de locatie achtereenvolgens aan een trottoir, de weg Spoorpad, een fietspad, groenstrook en de spoorbaan. De spoorbaan is een enkelspoor traject, waarover de lightrail verbinding Gouda - Alphen aan den Rijn loopt.

In figuur 1 is de locatie weergegeven waarop voorliggend onderzoek betrekking heeft.

figuur 1: overzicht Waddix (blauw omkaderd gebied)



2.2 Herinrichting

Het gebied wordt opnieuw ingericht. Hierbij is een woongebouw met appartementen voorzien. De kortste afstand van het woongebouw tot de spoorbaan bedraagt 28 meter.

2.3 Voelbaarheid van (spoor)trillingen

De voelbaarheid van trillingen is ter plaatse van het nieuw te bouwen appartementengebouw van belang. Deze locatie is gevoelig voor trillingen omdat mensen hier voor een langere periode kunnen verblijven.

Een trilling van een passerend voertuig op de weg of spoorbaan plant zich voort via de bodem naar een bouwwerk of woning. Als de trilling sterk genoeg is dan kan een bouwwerk in trilling worden gebracht. Voor bewoners kunnen deze trillingen voelbaar zijn doordat de draagconstructie/fundering van een pand de trillingen doorgeeft aan de vloer van de woning die hierdoor meetrilt. Deze trillingen kunnen een gevoel van angst of ongemak veroorzaken. Ook kunnen trillingen slaapproblemen veroorzaken. In de buitenruimte is dit minder van belang. Hinder wordt om deze reden over het algemeen bepaald voor binnenruimtes.

De mate van hinder door spoortrillingen is afhankelijk van meerdere factoren, onder andere:

- De eigenschappen van het trillingssignaal (frequentie en sterkte), per treintype verschillend.
- Het aantal trillingen ofwel het aantal treinpassages.
- Het tijdstip waarop de trillingen voorkomen.
- De richting waarop de trillingen optreden (horizontaal/verticaal).

Daarnaast zijn de eigenschappen van een gebouw van belang en de ligging van het spoor ten opzichte van het gebouw. Ook kunnen het ontwerp en de kwaliteit van het spoor en het hierop rijdende materieel van invloed zijn op de trillingsbelasting op een gebouw, de bodemopbouw tussen de bron en ontvanger en het type fundering en gebouwconstructie.

De trillingssterkte wordt uitgedrukt in de zogenoemde maximale effectieve trillingssnelheid $V_{\max, \text{eff}}$. In onderstaand overzicht wordt de kwalificatie van de hinder bij bepaalde trillingssterkten aangegeven.

tabel 1: hinderkwalificatie voor weg- en railverkeer volgens SBR-B bijlage 5

Hinderkwalificatie	Sterkte $V_{\max}$
geen hinder	< 0,1
gevoelsgrens	= 0,1
weinig hinder (bestaande situaties)	0,1 - 0,2
matige hinder	0,2 - 0,8
hinder	0,8 - 3,2
ernstige hinder	> 3,2

3. Eisen, normering en randvoorwaarden

3.1 SBR richtlijn A, Schade aan bouwwerken

Naast hinder kunnen trillingen ook schade veroorzaken aan een bouwwerk of woning. Veel bouwwerken zijn niet expliciet ontworpen om trillingen op te nemen, waardoor er een kans op schade bestaat, een en ander afhankelijk van aard en constructiewijze van het bouwwerk en de aard, de sterkte en de frequentie van de trillingen. Daar verificatie van de belasting op gebouwen door trillingen in relatie met het incasseringsvermogen van bouwwerken in bepaalde gevallen wenselijk is, is in 1993 door de Stichting Bouwresearch (SBR) een richtlijn (nummer 1) opgesteld voor het meten en beoordelen van schade aan bouwwerken door trillingen. In augustus 2002 is de SBR-richtlijn 1 vervangen door de SBR-richtlijn A: 'Schade aan Gebouwen'.

De meet- en beoordelingsrichtlijn A, 'Schade aan bouwwerken' bevat richtlijnen voor het meten en beoordelen van schade aan gebouwen en bouwwerken. De richtlijn maakt onderscheid in de constructiewijze en de staat van het bouwwerk. Hierbij wordt de volgende verdeling van bouwwerken aangehouden:

Categorie 1:

In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout. Onderdelen van een bouwwerk, die geen deel uitmaken van de draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies), indien deze bestaan uit gewapend beton of hout. Draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijnde, die bestaan uit metselwerk, zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke.

Categorie 2:

In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk. In goede staat verkerende onderdelen van een gebouw, die niet tot de draagconstructie behoren, zoals bijvoorbeeld scheidingsconstructies, die bestaan uit niet gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.

Monumenten:

Voor gebouwen/bouwwerken met een monumentenstatus of indien het metselwerk in slechte conditie verkeert, geldt een veiligheidsfactor. Hiermee wordt een dergelijk gebouw of bouwwerk extra beschermd tegen trillingen. Voor de toetsingswaarden is verder het type meting en het type trillingsbron van belang.

Funderingen:

Onderscheid wordt tevens gemaakt tussen trillingsgevoelige funderingen (met een kans op zetting) en niet trillingsgevoelige funderingen. Dit onderscheid is afhankelijk van het type fundering en de eigenschappen van het bodemmateriaal. Voor trillingsgevoelige funderingen is een aparte beoordeling van de trillingen nodig.

Maximale toetswaarden en correctiefactoren

De normering, voor het beoordelen of trillingen schade tot gevolg kunnen hebben ter plaatse van de geplande nieuwbouw, ligt een stuk hoger dan de normering voor het beoordelen van hinder. Gezien de situatie heeft de normering, opgenomen in het voorliggende hoofdstuk, waarschijnlijk alleen betrekking op incidenteel voorkomende trillingen. De beoordeling van hinder voor personen in gebouwen is leidend voor het beoordelen van de trillingsbelasting ter plaatse van de toekomstige nieuwbouw.

Voor de beoordeling van de kans op schade door trillingen veroorzaakt door treinpassages wordt uitgegaan van 'herhaald kortdurende trillingen'. De nieuwbouw panden voldoen aan de omschrijving voor gebouwcategorie 1 uit de SBR richtlijn-A.

De toetswaarden worden gecorrigeerd met een veiligheidsfactor (Y_t) voor het type trillingen. Op basis van de trillingsbron betreffen de trillingen 'herhaald kortdurende trillingen' waarvoor een veiligheidsfactor geldt van 1,5.

Op basis van de hierboven beschreven veiligheidsfactor worden de in tabel 2 opgenomen toetswaarden gehanteerd bij de beoordeling van de trillingsbelasting bij het bepalen van de kans op schade door spoortrillingen.

Wanneer de trillingsbelasting daadwerkelijk wordt gemeten dient rekening te worden gehouden met een correctiefactor voor het type meting wat wordt verricht.

tabel 2: grenswaarden en gecorrigeerde grenswaarden per frequentie

f (Hz)	cat.1 (niet gecorrigeerd)	cat.1 (na correctie)
0	20	13,3
5	20	13,3
10	20	13,3
15	22,5	15,0
20	25	16,7
25	27,5	18,3
30	30	20,0
35	32,5	21,7
40	35	23,3
45	37,5	25,0
50	40	26,7
55	41	27,3
60	42	28,0
65	43	28,7
70	44	29,3
75	45	30,0
80	46	30,7
85	47	31,3
90	48	32,0
95	49	32,7
100	50	33,3

3.2 SBR richtlijn B, Hinder voor personen in gebouwen

De meet- en beoordelingsrichtlijn B, "Hinder voor personen in gebouwen" bevat richtlijnen voor het meten en beoordelen van hinder voor personen. De richtlijn maakt onderscheid in de functie van het gebouw, aard van de trillingsbron en in bestaande, gewijzigde en nieuwe situaties.

In de richtlijn vindt de beoordeling plaats door middel van A_1 , A_2 en A_3 :

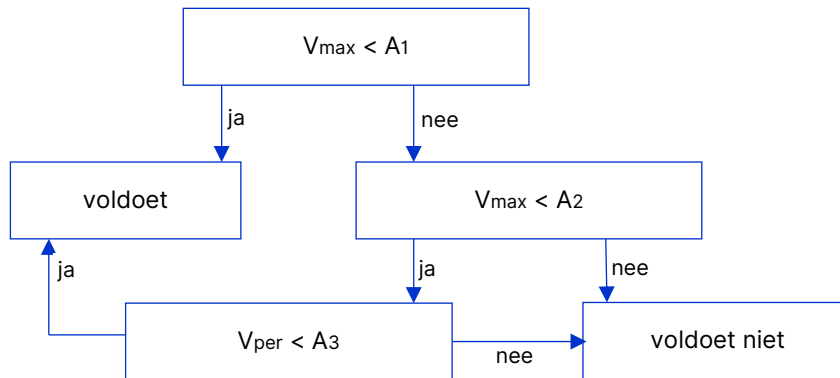
- A_1 is de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
- A_2 is de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
- A_3 is de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} .

Voor de hoogte van de streefwaarden geldt in algemene zin dat $A_3 < A_1 \leq A_2$.

Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien:

- de waarde van de maximale trillingssterkte in een ruimte ($V_{\max}$) kleiner is dan A_1 of
- de waarde van de maximale trillingssterkte van een ruimte ($V_{\max}$) kleiner is dan A_2 , waarbij de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor de ruimte ($V_{\max}$) kleiner is dan A_3 .

De procedure voor de beoordeling van $V_{\max}$ en V_{per} is in het onderstaande stroomschema aangegeven.



In de richtlijn zijn de streefwaarden onder andere gebaseerd op de functie van het gebouw waar de trillingen beoordeeld moeten worden en de aard van de trillingsbron. In de voorliggende situatie worden de optredende trillingen beschouwd als herhaald voorkomende trillingen gedurende een langere periode (>3 maanden) in een nieuwe situatie (nieuwbouw wonen).

Voor de aan te houden streefwaarden wordt onderscheid gemaakt in drie beoordelingsperioden, te weten:

- dagperiode van 07:00 tot 19:00 uur (12 uur of 43.200 seconden);
- avondperiode van 19:00 tot 23:00 uur (4 uur of 14.400 seconden);
- nachtperiode van 23:00 tot 07:00 uur (8 uur of 28.800 seconden).

In tabel 3 zijn de streefwaarden opgenomen die gelden voor de beoordeling van trillingen ter plaatse van het nieuw te bouwen appartementengebouwen.

tabel 3: overzicht streefwaarden hinder, herhaald voorkomende trillingen, nieuwe situatie

Gebouwfunctie	Dag- en avondperiode			Nachtperiode		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05

Uit de praktijk blijkt dat wanneer spoortrillingen optreden sprake is van een zekere mate van 'geaccepteerd' hinder. Hierdoor kan, op basis van de SBR richtlijn-B, bij de beoordeling van de trillingsbelasting worden gekozen voor hogere streefwaarden. In deze prognose wordt echter de normering gehanteerd uit tabel 3.

4. Quick scan trillingshinder

Om de mate van hinder en kans op schade als gevolg van spoortrillingen ter plaatse van de geplande nieuwbouw te bepalen dient allereerst het aandachtszone te worden vastgesteld.

4.1 Klachten over spoortrillingen

In de huidige situatie is sprake van een appartementengebouw grotendeels binnen 100 meter vanaf de spoorlijn in de omgeving van het plangebied. Langs het betreffende spoortraject zijn reeds diverse woningen op vergelijkbare afstand aanwezig. Prorail kan in verband met privacyoverwegingen geen informatie over trillingsklachten verstrekken. Op basis van internetonderzoek zijn er geen aanwijzingen voor klachten van hinder door spoortrillingen in de nabijheid van de projectlocatie.

4.2 Bodemopbouw

Op basis van de regionale bodemopbouw bestaan de bovenste bodemlagen uit een afwisseling van klei zand en veen.

De regionale bodemopbouw is in onderstaande tabel opgenomen. De informatie is afkomstig van Grondwaterkaart van Nederland opgesteld door de Dienst Grondwaterverkenning TNO) en het Hydrogeologisch Model REGIS II van TNO-NITG.

tabel 4: regionale bodemopbouw

Diepte (m-mv)	Geohydrologische eenheid	Geologische formatie	Lithologie
0,0 – 12,0	Deklaag	Holocene afzettingen, complexe eenheid	zandige klei, midden en fijn zand, klei en veen en een weinig grof zand
12,0 – 16,5	Watervoerend Pakket	Formatie van Bostel, zandige eenheid	midden en fijn zand, weinig zandige klei en grof zand en een spoor klei, veen en grind
16,5 – 24,0	Watervoerend Pakket	Formatie van Kreftenheye, zandige eenheid	midden en grof zand, weinig zandige klei, fijn zand en grind en een spoor klei en veen

Op basis van een boorprofiel in de nabijheid van de projectlocatie bestaat de bovengrond tot circa 6 m -mv uit afwisselend klei en veen.

In vergelijking met zandlagen hebben klei- en veenlagen een grotere dempingsfactor voor trillingen, waardoor bij passage de trillingsniveaus sneller afnemen.

4.3 Ligging waterpartijen

Tussen het plangebied en de spoorbaan is geen watergang of waterpartij aanwezig.

Bij aanwezigheid van een watergang tussen het spoor en de geplande nieuwbouw zou er sprake zijn geweest van enige obstructie in de bodem waardoor een deel van de trillingen in de bovenste bodemlaag extra zouden worden gedempt/uitgedoofd.

4.4 Wissels, overgangsconstructies en ES-lassen

Aan de zuidwestzijde van het plangebied is sprake van een kunstwerk. Hier wordt de spoorlijn door middel van een viaduct over de Oude Dreef geleid. Viaducten zijn overgangsconstructies waarbij sprake is van een variatie in stijfheid van de spoorbaan. Deze variatie resulteert in een variatie van de dynamische belasting op de spoorbaan wat trillingen tot gevolg heeft. Afhankelijk van de onderhoudskwaliteit kan dit tot verhoging van trillingsniveaus in de omgeving leiden.

Gezien de beperkte afstand van circa 34 meter tussen het viaduct en de geplande bebouwing zal deze invloed hebben op de trillingsniveaus ter plaatse van de geplande bebouwing.

Zogenaemde ES-lassen zijn niet beschouwd. Wanneer de ES-lassen in een goede conditie verkeren veroorzaken deze geen extra trillingen. Omdat de aanwezige overgangsconstructie waarschijnlijk de meeste trillingen veroorzaken zijn eventueel aanwezige ES-lassen buiten beschouwing gelaten.

4.5 Verkeersgegevens spoorwegen

Langs de projectlocatie ligt de lightrail verbinding Gouda – Alphen aan den Rijn, westelijk ten opzichte van het plangebied. De spoorlijn ligt op een verhoging (grondwal) en is verhoogd boven het maaiveld. Het spoortraject is een matig druk bereden traject waarover voornamelijk personenvervoer plaatsvindt. Het personenvervoer wordt verzorgd door R-net en vormt op weekdays tot 19:00 uur een kwartierdienst met treinseries Sprinter 8700.

In tabel 5 is een overzicht opgenomen van het aantal treinen dat het traject Waddinxveen Triangel – Waddinxveen passeert en is aangegeven welk type treinverkeer het betreft.

tabel 5: overzicht treinverkeer in aantallen en type treinen

Datum	Dag	Spoorvervoer	Reizigersvervoer	Overig vervoer	Opmerking
		Totaal	Spinter	Goederen	
24-10-2022	ma	70	70	0	verminderd spoorvervoer
25-10-2022	di	76	74	2	verminderd spoorvervoer
26-10-2022	wo	6	6	0	24 uur geen spoorvervoer
27-10-2022	do	70	68	2	verminderd spoorvervoer
28-10-2022	vr	80	78	2	verminderd spoorvervoer
29-10-2022	za	74	74	0	-
30-10-2022	zo	70	70	0	-
31-10-2022	ma	131	131	0	-
1-11-2022	di	130	128	2	-

De gegevens uit tabel 5 zijn opgevraagd bij ProRail, afdeling publieksvoorlichting. Uit het overzicht blijkt dat voornamelijk personenvervoer en sporadisch goederenvervoer plaatsvindt op het traject.

Op 26 oktober heeft geen spoorvervoer over het traject plaats gevonden, voor de reizigers zijn bussen ingezet. Op 31 oktober en 1 november is het reizigersvervoer intensiever dan op de dagen ervoor. In de dagen ervoor zijn minder treinen ingezet in verband werkzaamheden en de schoolvakantie. Het aantal vervoersbewegingen in het weekend en op 31 oktober en 1 november is representatief voor het gebruikelijke vervoer op het traject. Gezien het grote aantal spoorbewegingen en de beperkte variatie in gebruikt materieel is het spoorvervoer tijdens de monitoringsperiode voldoende representatief voor het voorliggende onderzoek.

4.6 Locatie- en type bebouwing

Het appartementengebouwen bevindt zich vanaf 28 meter tot aan de eerste spoorstaaf. De panden worden voorzien van een betonnen draagconstructie op palen. De panden staan met de korte zijde parallel aan het spoor. Gezien de grotere hoogte van max. 26,4 meter zal er sprake zijn van een stijve fundering, welke minder gevoelig is voor trillingen. Indien het gebouw iets hoger wordt, zal dit een gunstig effect hebben op het aspect trillingen

4.7 Toekomstige wijzigingen spoor

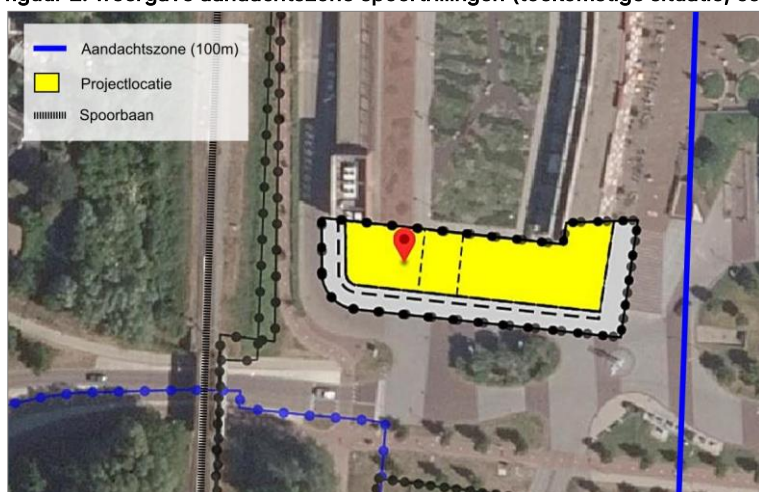
De website van ProRail (<https://www.prorail.nl/projecten>) is geraadpleegd om de te verwachte wijzigingen aan het spoor of van het type en aantal treinen dat passeert vast te stellen. Voor het tracé Gouda – Alphen a/d Rijn zijn geen toekomstige wijzigingen vermeld.

4.8 Vaststelling aandachtszone

Op basis van de hierboven beschreven informatie is er geen aanleiding tot het vergroten van de aandachtszone tot verder dan 100 meter vanaf de spoorbaan. De aanwezigheid van het viaduct en de

afwezigheid van een watergang zullen voor een verhoging en de ingezette lichte treinstellen en een bovengrond van klei voor een verlaging van de verwachte trillingssterkte zorgen. In figuur 2 is de aandachtszone in blauw weergegeven op een overzicht van de toekomstige situatie.

figuur 2: weergave aandachtszone spoortrillingen (toekomstige situatie, concept verbeelding)



Uit de quick scan trillingshinder volgt dat de kans op het optreden van trillingshinder aanwezig is en dient er aanvullend trillingsonderzoek te worden uitgevoerd.

5. Trillingsonderzoek

5.1 Uitvoering metingen

In een aaneengesloten periode van 24 oktober tot en met 1 november 2022 hebben trillingsmetingen plaatsgevonden op de projectlocatie. De metingen zijn uitgevoerd met twee VIBRA+ meetsystemen van Profound. In tabel 6 is het meetbereik van dit type trillingsmeter weergegeven.

tabel 6: meetsystemen

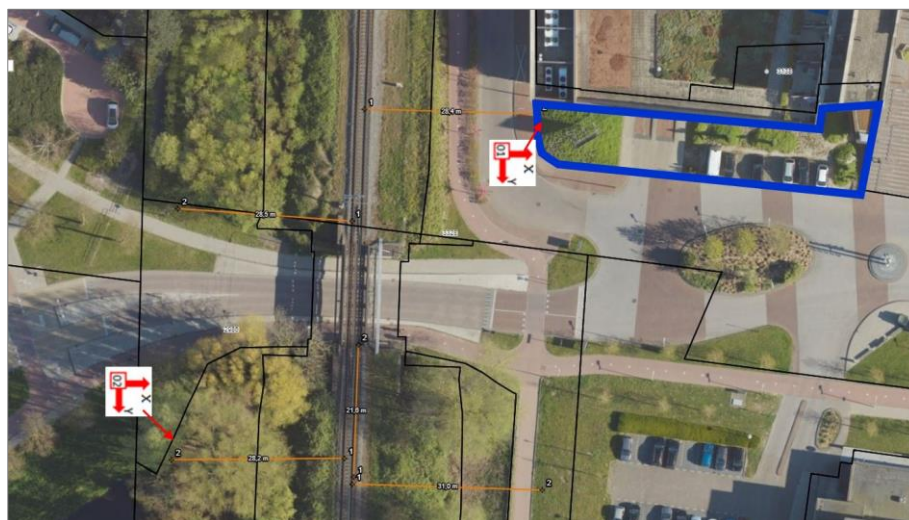
Meetsystemen:	Frequentiebereik (Hz)	Meetbereik (mm/s)	SBR- A*	SBR- B*
Profound - Vibra+	0,8-100	0-100	Voldoet	Voldoet

* De meetapparatuur voldoet aan de eisen uit hoofdstuk 7 en bijlage 1 van SBR-A respectievelijk en bijlage 1 van SBR-B

De trillingen zijn onder maaiveldniveau gemeten (bodemtrillingen). De trillingsmeters zijn geïnstalleerd op een betonnen element en onder maaiveld ingegraven. Meetpunt MP01 en MP02 zijn op 28 meter tot aan de meest nabij gelegen spoorstaaf geplaatst, waarbij MP01 ter hoogte van de dichtst op het spoor gelegen toekomstige fundering is opgesteld. Ter hoogte van meetpunt MP01 werden veel trillingen door stoorbronnen verwacht. Op korte afstand werden namelijk bouwwerkzaamheden uitgevoerd en er werd zwaar verkeer verwacht over de Oude Dreef en het Spoorpad. Gezien de verwachte ongewenste trillingen en de beperkte installatiemogelijkheden is meetpunt MP02 als referentie aan de andere zijde van het viaduct geplaatst. De afstand van MP01 en MP02 tot het viaduct was in beide gevallen circa 34 meter. Door de verschillende locaties kunnen trillingen van stoorbronnen en spoorverkeer beter onderling worden onderscheiden.

In figuur 3 zijn de meetlocaties weergegeven op een overzicht van de toekomstige situatie.

figuur 3: overzicht meetlocaties (huidige situatie)



5.2 Vergelijking meetwaarden

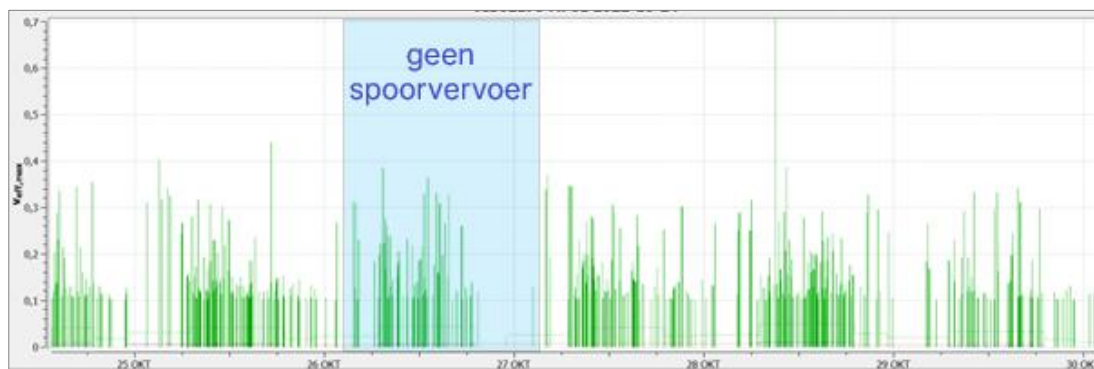
Het resultaat van de metingen is conform de SBR richtlijn deel A de trillingssnelheden V_{top} (mm/s) en conform SBR richtlijn B de opgetreden $V_{eff,max}$ waarden per 30 seconde intervallen. De verkregen meetwaarden van de twee meetlocaties zijn met elkaar vergeleken.

Uit de vergelijking blijkt dat veel van de gemeten trillingen door stoorbronnen zijn veroorzaakt. Zo is de trillingsbelasting en het trillingsbeeld op 26 oktober 2022, de dag waarop geen spoorvervoer heeft plaatsgevonden, vergelijkbaar met de overige dagen. Ook gedurende de nacht, tijdens de periode waarop geen spoorvervoer plaatsvindt, zijn ook diverse trillingen gemeten.

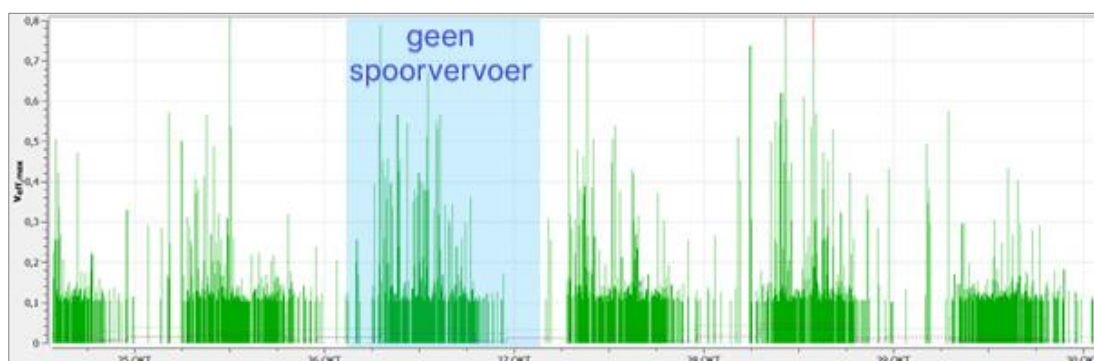
De gemiddelde trillingsniveaus zijn in het referentie meetpunt MP02 hoger dan in meetpunt MP01.

Deze hogere niveaus zijn mogelijk veroorzaakt door de aanwezige verkeersdrempel ter plaatse van de Oude Dreef. In de onderstaande grafieken is het trillingsbeeld van een deel van de monitoringsperiode ter illustratie weergegeven.

grafiek 1: trillingsbeeld meetpunt MP01 (fundering toekomstige bebouwing)



grafiek 2: trillingsbeeld meetpunt MP02 (andere zijde van viaduct)



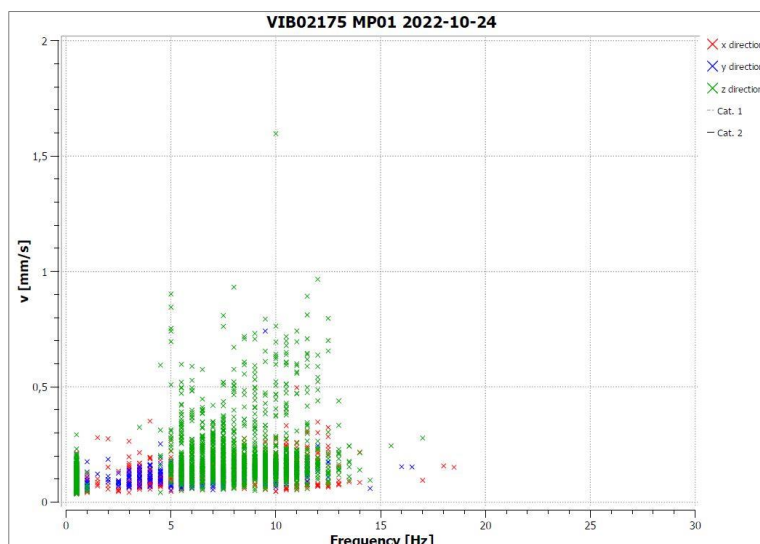
5.3 Dominante frequentie en frequentie-inhoud

Dominante frequenties van trillingen die worden veroorzaakt door langsrijdende treinen zijn afhankelijk van het type trein wat voorbij rijdt en de snelheid waarmee deze passages plaatsvinden.

Op basis van eerdere en huidige metingen vinden de trillingen, veroorzaakt door personentreinen, plaats tussen 5-15 Hz, (zwaar) goederenvervoer kan trillingen veroorzaken met hogere frequenties.

In de onderstaande grafiek zijn de dominante frequenties van de gemeten trillingen ter plaatse van meetpunt MP01 weergegeven.

grafiek 3: meetpunt MP01, meetresultaten vtop uitgezet tegen de dominante frequentie.



5.4 Correctiefactoren

5.4.1 SBR-richtlijn A, Schade aan bouwwerken

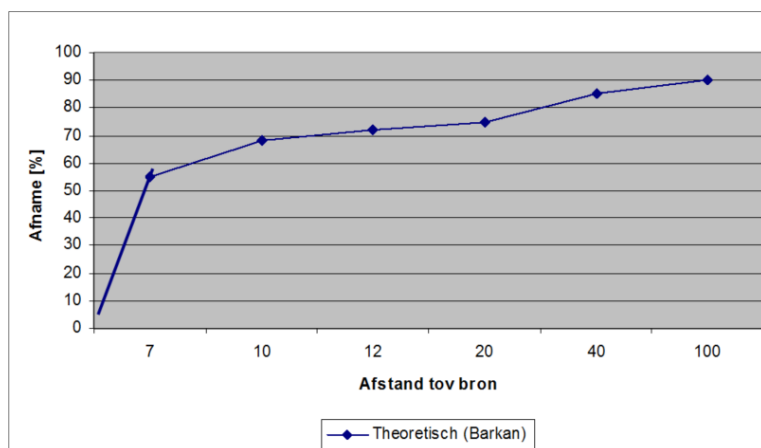
De toetsing aan de grenswaarden uit de SBR richtlijn A is worst-case uitgevoerd met de ongecorrigeerde meetwaarden van MP01 en MP02.

5.4.2 SBR-richtlijn B, Hinder voor personen in gebouwen

De toetsing aan de streefwaarde uit de SBR richtlijn B dient te worden uitgevoerd met de $V_{eff,max}$ -waarden die in de toekomstige bebouwing worden verwacht. Aangezien de metingen onder het maaiveld hebben plaatsgevonden dienen de gemeten waarden te worden gecorrigeerd.

De trillingssterkte neemt door bodemdemping en de afstand tussen de bron en ontvanger van trillingen af. Deze afname is te berekenen met de formule van Barkan. In grafiek 4 is de afname van de trillingssterkte weergegeven in procenten per meter afstand.

grafiek 4: weergave formule van Barkan



De toetsing dient te worden uitgevoerd op de plaatst binnen het bouwvlak waar de hoogste niveaus van spoortrillingen worden verwacht. Dit betreft de zuidwestelijke fundering van het pand, parallel aan het spoor, op circa 28 meter afstand tot het spoor. Aangezien de meetpunten MP01 en MP02 op een gelijke afstand tot het spoor zijn geïnstalleerd, dienen de meetwaarden niet gecorrigeerd te worden voor afstand.

Bij de overdracht van de bodem naar de draagconstructie treedt doorgaans demping op. De grootte van de demping is voornamelijk afhankelijk van de mate van stijfheid van de fundering en de grootte van het gebouw ten opzichte van de grootte van de trillingsgolven. De gemeten $V_{eff,max}$ waarden op maaiveldniveau dienen hierop te worden gecorrigeerd met een dempingsfactor.

Bij de overdracht van de draagconstructie naar de vloeren treedt doorgaans enige versterking op door opslinging van de vloeren. Deze opslinging is onder andere afhankelijk van de overspanning van vloerdelen en de stijfheid van de constructie. De bepaalde $V_{eff,max}$ waarden op de draagconstructie dienen hierop veelal te worden gecorrigeerd met de versterkingsfactor.

De dempings- en vergrotingsfactoren berusten grotendeels op praktijkervaringen. Hierbij is gebruikgemaakt van vergelijkbare projecten, projecten van andere onderzoeksbureaus en is rekening gehouden met de resultaten van de 'quickscan trillingshinder' in hoofdstuk 4.

Voor de bepaling van V_{max} en V_{per} waarden die kunnen optreden in de geplande bebouwing is uitgegaan van de volgende waarden en factoren:

- correctiefactor afstand tot het spoor MP01, MP02: 1,0
- correctiefactor bodem naar fundering: 0,7
- correctiefactor fundering naar vloer: 1,3

5.5 Beoordeling meetwaarden

De verkregen meetwaarden zijn beoordeeld, waarbij trillingen door stoorbronnen zijn geïdentificeerd en onderbouwd niet zijn meegenomen in de berekeningen.

Gezien het meetpunt MP01 zich bevindt ter plaatse van de meest nabij het spoor gelegen toekomstige fundering, hebben de meetwaarden van MP01 de voorkeur boven de meetwaarden van het referentiepunt MP02 aan de andere zijde van het viaduct.

De hoogste waarden voor de meetpunt MP01 zijn beoordeeld. De beoordeling heeft plaatsgevonden over de periode van 13:30 uur op 24 oktober tot 11:00 op 1 november 2022. De meetduur van meer dan een week is in overeenstemming met de bepalingen uit de richtlijn SBR-richtlijn B hinder voor personen in gebouwen en de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen.

De registratietijden van de hoogste trillingsniveaus zijn vergeleken met de geïnterpoleerde passagetijden uit de verkeersgegevens van Prorail en de meetresultaten van het referentiemeetpunt MP02. Nagenoeg alle registratietijden van trillingsniveaus met $V_{\max} > 0,2$ komen niet overeen met tijden waarop spoorvervoer is gepasseerd en/of worden niet in beide meetpunten gemeten. Omdat gedurende de dagperiode veel trillingen afkomstig van stoorbronnen voorkwamen, zijn voor de dagperiode alleen de trillingen met de hoogste niveaus ($V_{\max} \geq 0,25$) beoordeeld.

Na weglating van deze trillingswaarden veroorzaakt door stoorbronnen volgen de volgende $V_{\max}$ waarden.

tabel 7: beoordeling hoogste gecorrigeerde meetresultaten

Periode	Meetpunt	$V_{\text{eff, max}}$ (bodem)	$V_{\text{eff, max}}$ (gecorr)	Tijdstip, datum	Kenmerk	Conclusie
dagperiode	MP01	<0,25	<0,22	n.v.t.	gezien de grote hoeveelheid trillingen door stoorbronnen gedurende de dagperiode zijn alleen de waarden $\geq 0,25$ beoordeeld, geen van deze waarden komt overeen met een treinpassage en/of wordt door beide meetpunten gemeten	
avondperiode	MP01	0,14	0,13	27-10-2022 20:50:00	komt overeen met treinpassage van sprinter 8665, vanuit Waddinxveen	waarschijnlijk spoortrillingen
nachtperiode	MP01	0,13	0,12	28-10-2022 01:08:30	komt overeen met treinpassage van sprinter 8683, vanuit Waddinxveen	waarschijnlijk spoortrillingen

5.6 Beoordeling kans op schade, SBR-A

Op basis van toetsing van de meetresultaten aan de normering uit de SBR-A, gecorrigeerd voor meetstrategie type trillingen 'continu', voor gebouwcategorie 1 kan worden geconcludeerd dat de kans op schade aan de bebouwing door spoortrillingen verwaarloosbaar klein is (<1%).

5.7 Beoordeling mate van hinder voor personen in gebouwen, SBR-B

Met de uitgangspunten uit de voorgaande paragrafen zijn de waarden voor $V_{\max}$ in de te realiseren panden berekend. De V_{per} -waarden zijn met de gecorrigeerde $V_{\text{eff, max}}$ per periode van 30 seconden berekend.

De rekenwaarden voor $V_{\max}$ en V_{per} zijn getoetst aan de streefwaarden voor 'nieuwe situatie wonen', conform de SBR-B. In de onderstaande tabel is de toetsing weergegeven.

tabel 8: toetsing aan streefwaarden

Toetsing	$V_{\max}$ (A1)	Voldoet aan A1	$V_{\max}$ (A2)	V_{per} (A2)	Voldoet aan A2 / A3	Conclusie
streefwaarden SBR-B	0,1	-	0,4	0,05	-	-
dagperiode	<0,22	nee	<0,22	<0,05	ja	voldoet aan SBR-B
avondperiode	0,13	nee	0,13	0,04	ja	voldoet aan SBR-B

streefwaarden SBR-B	0,1	-	0,2	0,05	-	-
nachtperiode	0,12	nee	0,12	0,04	ja	voldoet aan SBR-B

Uit de bovenstaande toetsing blijkt dat de mate van trillingshinder ter plaatste van het gehele bouwvlak voldoet aan de streefwaarden uit de SBR-B.

De onzekerheid voor de gebruikte correctiefactor van bodem naar fundering (factor: 0,7) is voor het geplande type bouwwerk klein.

De correctiefactor voor fundering naar vloer is sterk afhankelijk van de eigenfrequentie van de toegepaste vloer. De gemeten dominante frequenties die in de bodem optreden ten gevolge van het spoor liggen tussen 6,5 en 11 Hz. Hoe meer de eigen frequentie van de vloer in de buurt komt van deze dominante frequenties, hoe groter de correctiefactor. Op basis van de meetresultaten en de toetsing dient de correctiefactor voor fundering naar vloer kleiner dan 2,3 (circa +7 dB) te zijn.

Aangezien er relatief veel trillingen zijn gemeten welke niet door het spoorvervoer zijn veroorzaakt, zijn de werkelijke V_{per} waarden lager dan weergegeven in tabel 8.

De omgerekende $V_{eff,max}$ -waarde valt volgens de SBR-richtlijn Deel B in de categorie 'lichte tot matige hinder'.

6. Conclusie

Op basis van het uitgevoerde onderzoek wordt geconcludeerd dat de kans op schade aan de geplande bebouwing door spoortrillingen verwaarloosbaar klein is (<1%).

Op basis van het uitgevoerde onderzoek wordt geconcludeerd dat de mate van hinder door spoortrillingen voor de bewoners/gebruikers van de nieuw te bouwen appartementen voldoet aan het gestelde in de meet- en beoordelingsrichtlijn SBR-B.

De omgerekende $V_{eff,max}$ -waarden, waarmee de toetsing is uitgevoerd, gelden ook voor de vloeren op de hogere verdiepingen. Deze $V_{eff,max}$ -waarden zijn worst-case berekend waarbij de afname van het trillingsniveau als gevolg van verspreiding en demping tijdens de voortplanting door het gebouw niet zijn meegenomen.

De berekening is uitgevoerd met conservatieve waarden waarbij rekening is gehouden met enige mate van onzekerheid.

Bij het bepalen van de correctiefactoren is uitgegaan dat de nieuwbouw wordt voorzien van een betonnen fundering op palen. De onzekerheid voor de gebruikte correctiefactor van bodem naar fundering (factor: 0,7) is voor dit type bouwwerk klein.

De correctiefactor voor fundering naar vloer is sterk afhankelijk van de eigenfrequentie van de toegepaste vloer. Hoe meer de eigen frequentie van de vloer in de buurt komt van de dominante frequenties van de spoortrillingen, hoe groter de correctiefactor en dus de versterking. De maximale correctiefactor voor de versterking van fundering naar vloer bedraagt 2,3 (circa +7 dB). Dit komt overeen met een betonnen vloeren met minimale eigen frequentie van > 18 Hz.

Aanvullend onderzoek naar hinder door spoortrillingen ten behoeve van de betreffende geplande bebouwing is niet noodzakelijk.

Dit rapport is opgesteld in opdracht:

MRP Development
de heer M. Mercan
Postbus 69369
1060 CK Amsterdam

Projectnummer: 224496
Locatie: Oude Dreef te Waddinxveen
Opsteller: ing. M. (Michel) Gerritsen
Controleur: ing. D.C. (Niels) Blokland

Equipe Adviseurs B.V.
Daltonstraat 30D
3316 GD Dordrecht

Postbus 3064
3301 DB Dordrecht

088 078 1100
info@equipe-adviseurs.nl
www.equipe-adviseurs.nl

BANK NL45ABNA0586840729
KVK 24459961
BTW NL820721141B01

Samen gaan we voor goud!