

**WONINGBOUWLOCATIE AAN DE OOSTERSTRAAT TE ENSCHEDE;
ONTWERP WIJZIGINGSPLAN "LAARES 2014 - WIJZIGING 2"**

Resultaten trillingsmetingen hinder spoor

ALCEDO 

**GEEN GEDOE.
GRAAG GEDAAN.**

**WONINGBOUWLOCATIE AAN DE OOSTERSTRAAT TE ENSCHEDE;
ONTWERP WIJZIGINGSPLAN "LAARES 2014 - WIJZIGING 2"**

Resultaten trillingsmetingen hinder spoor

Rapportnummer: 20197089.R01.V01
Document: 21946
Status: definitief
Datum: 3 juni 2019

In opdracht van: BJZ.nu Ruimtelijke ordening en projectrealisatie
Twentepoort 16a
7609 RG Almelo
Contactpersoon: de heer C. Bouwhuis

Uitgevoerd door: Alcedo B.V.
Postbus 140 7450 AC Holten
Keizersweg 26 7451 CS Holten
Contactpersoon: de heer G.J. Spiegelenberg
Telefoon: 085 – 822 99 00
Internet: www.alcedo.nl
E-mail: gertie.spiegelenberg@alcedo.nl

INHOUD

1	INLEIDING	3
2	NORMSTELLING TRILLINGEN	4
2.1	Algemeen	4
2.2	Beoordeling	4
2.3	Nieuwe, bestaande of gewijzigde situaties railverkeer	5
3	METINGEN EN MEETRESULTATEN	6
3.1	Meetperiode	6
3.2	Meetapparatuur	6
3.3	Meetapparatuur	6
3.4	Meetresultaten hinder	7
3.5	Bespreking meetresultaten	9

Bijlagen

Bijlage 1 Meetresultaten

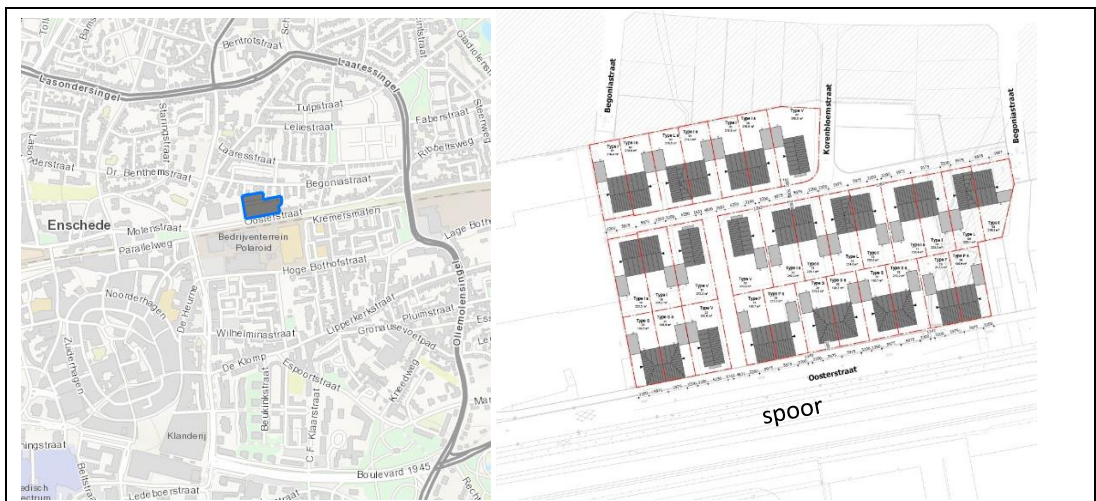
1

INLEIDING

Ten behoeve van de realisatie van 30 woningen aan de Oosterstraat te Enschede is een ontwerp-wijzigingsplan “Laares 2014 – Wijziging 2” opgesteld.

Aangezien de nieuwbouw nabij het spoor is gelegen en er in de toekomstige situatie mogelijk trillingshinder kan ontstaan is een trillingsonderzoek noodzakelijk om de impact van de trillingen in beeld te brengen. ProRail heeft mede vanwege het hinderaspect een zienswijze ingediend en een onderzoek hiernaar geadviseerd.

Voor situering van de nieuwbouwlocatie en de ligging van het spoor wordt verwezen naar figuur 1.



Figuur 1 Globale situering nieuwbouwlocatie

In voorliggend rapport zijn de meetresultaten opgenomen en getoetst aan de streefwaarden uit de SBR richtlijn deel B “Hinder voor personen in gebouwen”.

In hoofdstuk 2 wordt de normstelling voor trillingen behandeld. De uitgevoerde trillingsmetingen en de verkregen meetresultaten worden beschreven en besproken in hoofdstuk 3.

2

NORMSTELLING TRILLINGEN

2.1

Algemeen

Getoetst wordt of als gevolg van de optredende trillingen sprake kan zijn van trillingshinder voor de mensen in de woningen.

In Nederland is er tot op heden geen wetgeving waarin hinder vanwege trillingen is geregeld. Derhalve wordt veelal teruggevallen op de SBR-richtlijn Trillingen, deel B “Hinder voor personen in gebouwen”. In voorliggend rapport wordt voor de bepaling van hinder uitgegaan van de genoemde richtlijn.

Trillingshinder wordt beoordeeld aan de hand van het maximaal optredende trillingsniveau (V_{\max}) en het gemiddeld trillingsniveau (V_{per}), analoog aan respectievelijk het maximale geluidsniveau en het langtijd gemiddeld geluidsniveau voor een etmaalperiode bij de beoordeling van geluid. Voor een aantal typen trillingen en verschillende gebouwfuncties (wonen, kantoren, onderwijs ed.) staan in de richtlijn grens- en streefwaarden voor maximaal optredende en gemiddelde trillingsniveaus. Trillingshinder wordt gemeten en beoordeeld op de plek waar de meeste hinder wordt ondervonden en normaliter is dat midden op een vloerveld.

Voor hinder voor personen in gebouwen gelden streefwaarden. Overschrijding leidt tot een reële kans op hinder. Hoewel de waarden internationaal gezien redelijk streng zijn, zullen er nog steeds mensen zijn die de trillingen onder de streefwaarden als hinderlijk kunnen ervaren.

2.2

Beoordeling

In de richtlijn vindt de beoordeling plaats door middel van A1, A2 en A3:

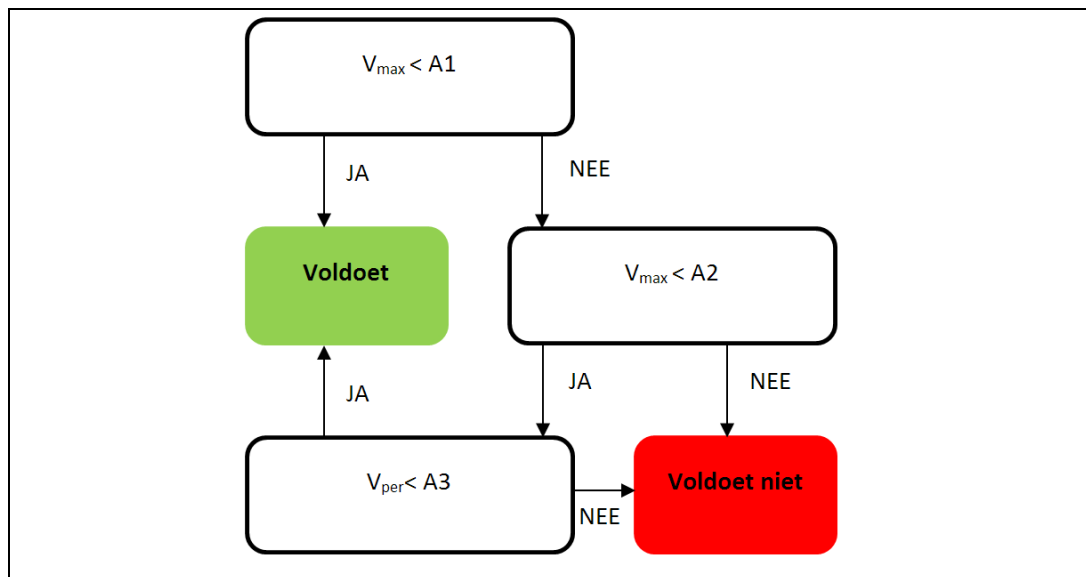
- A1 is de onderste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte V_{\max} (dimensieloos)¹;
- A2 is de bovenste streefwaarde voor de maximale trillingssterkte V_{\max} (dimensieloos);
- A3 is de streefwaarde voor de gemiddelde trillingssterkte V_{per} (dimensieloos).

Voor de hoogte van de streefwaarden geldt in algemene zin dat $A3 < A1 < A2$.

Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien (zie ook stroomdiagram in kader 1):

- De waarde van de maximale trillingssterkte in een ruimte (V_{\max}) kleiner is dan A1, of;
- De waarde van de maximale trillingssterkte van een ruimte (V_{\max}) kleiner is dan A2 waarbij de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor de ruimte (V_{per}) kleiner is dan A3.

¹ De gemeten trillingssnelheid (mm/s) wordt overeenkomstig de gevoeligheid van de mens voor de frequentie van de trillingen gewogen, waardoor deze dimensieloos wordt.



Kader 1 Stroomschema hinderbepaling

De richtlijn maakt onderscheid in de functie van het gebouw, de aard van de trillingsbron en in bestaande, gewijzigde en nieuwe situaties.

2.3 Nieuwe, bestaande of gewijzigde situaties railverkeer

Voor de beoordeling van de trillingen door (rail)verkeer in nieuwe situaties (o.a. nieuwbouw langs spoor en wegen) dienen volgens de SBR richtlijn deel B de streefwaarden uit onderstaande tabel 1 aangehouden te worden.

Tabel 1 Streefwaarden m.b.t. railverkeer (nieuwe situaties)

Situatie	dag en avond			nacht		
	A1 (V _{max})	A2 (V _{max})	A3 (V _{per})	A1 (V _{max})	A2 (V _{max})	A3 (V _{per})
Wonen en gezondheidszorg	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Onderwijs, kantoor en bijeenkomst	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
Kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

3

METINGEN EN MEETRESULTATEN

3.1 Meetperiode

De trillingsmetingen zijn onbemand uitgevoerd in de periode van woensdag 15 mei tot en met woensdag 22 mei.

3.2 Meetapparatuur

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd met Frogwatch meters , waarmee continu gelijktijdig in 3 richtingen trillingen worden gemeten (1 keer verticaal en 2 haaks op elkaar staande horizontale richtingen). Het meetsysteem meet en verwerkt de data geheel volgens de SBR-richtlijn deel B “Hinder voor personen in gebouwen”.

3.3 Meetapparatuur

De nieuwbouwlocatie is thans een braakliggend terrein. Onze ervaring is dat trillingsmetingen op alleen het maaiveld niet toereikend zijn om een uitspraak te doen over de trillingen in de nieuwe situatie. Metingen aan panden geven informatie over de overdracht van de trillingen van de bodem naar een gebouw. Voor onderhavige situatie hebben we daarom een trillingsmeter aan de gevel van de woning Oosterstraat nr. 11 bevestigd. Tevens is een meter op maaiveld ter hoogte van de eerstelijnsbebouwing (nieuwbouw) naast de woning geplaatst. Om de trillingen te kunnen linken aan de treinpassages is nabij het spoor tevens een trillingsmeter geplaatst. In figuur 2 is de situering van de meetlocaties opgenomen.



Figuur 2 Situering meetlocaties

In figuur 3 zijn foto's van de meetlocaties opgenomen.



Figuur 3 Foto's meetlocaties

3.4 Meetresultaten hinder

Uit de analyse van alle trillingsdata volgt dat de metingen op maaiveld niet goed bruikbaar zijn voor een goede hinderbepaling. Er treden trillingen op die niet door het treinverkeer worden veroorzaakt en de spoortrillingen treden op bij hoge frequenties. De metingen aan de woning geven de beste trillingsdata voor de analyse. Ook daar treden enkele verstoringen op, maar deze zijn goed te duiden. Bij de metingen aan de gevel van de woning is goed te zien dat de trillingen bij de hogere frequenties, zoals op maaiveld gemeten, uitgedempt zijn. In bijlage 1 zijn de gemeten trillingsniveaus van alle trillingsmeters opgenomen. Hierbij zijn de trillingsniveaus afgezet tegen de tijd.

In onderstaand kader 2 zijn de meetresultaten $V_{\text{eff,max}}$ [-] en V_{per} [-] per dagdeel voor de trillingsmeters opgenomen. Hierbij is een toetsing met kleuren uitgevoerd, dit conform kader 1 "Stroomschema voor de hinderbepaling". Getoetst is aan de streefwaarden voor woningen. De toetsing is op de volgende wijze inzichtelijk gemaakt.

Als V_{max} = groen	Voldoet
Als V_{max} = rood	Voldoet niet
Als V_{max} = geel en V_{per} = groen	Voldoet
Als V_{max} = geel en V_{per} = rood	Voldoet niet

Hindermeting (SBR B)								
Meetpunt	Dagdeel	V _{max}			V _{per}			Opmerking
		X	Y	Z	X	Y	Z	
15-5-2019								
Cluster 1/Maaiveld thv bouwlijn	Nacht	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	
	Dag	0,2	0,2	0,3	0,01	0,01	0,02	
	Avond	0,2	0,2	0,2	0,02	0,03	0,03	
Cluster 1/Oosterstraat 11	Nacht	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	
	Dag	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
	Avond	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
16-5-2019								
Cluster 1/Maaiveld thv bouwlijn	Nacht	0,2	0,1	0,2	0,01	0,01	0,01	
	Dag	0,2	0,3	0,3	0,02	0,03	0,03	
	Avond	0,2	0,2	0,2	0,02	0,02	0,02	
Cluster 1/Oosterstraat 11	Nacht	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00	
	Dag	0,9	0,4	0,2	0,02	0,01	0,02	lokale verstoring
	Avond	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
17-5-2019								
Cluster 1/Maaiveld thv bouwlijn	Nacht	0,1	0,2	0,1	0,01	0,01	0,01	
	Dag	0,2	0,2	0,2	0,02	0,02	0,03	
	Avond	0,1	0,2	0,2	0,01	0,02	0,02	
Cluster 1/Oosterstraat 11	Nacht	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00	
	Dag	0,1	0,1	0,2	0,00	0,00	0,02	
	Avond	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
18-5-2019								
Cluster 1/Maaiveld thv bouwlijn	Nacht	0,1	0,1	0,2	0,00	0,01	0,01	
	Dag	0,2	0,3	0,3	0,02	0,02	0,03	
	Avond	0,2	0,2	0,2	0,02	0,02	0,02	
Cluster 1/Oosterstraat 11	Nacht	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
	Dag	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
	Avond	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
19-5-2019								
Cluster 1/Maaiveld thv bouwlijn	Nacht	0,2	0,2	0,2	0,01	0,01	0,01	
	Dag	0,2	0,2	0,2	0,01	0,02	0,02	
	Avond	0,2	0,2	0,2	0,01	0,02	0,02	
Cluster 1/Oosterstraat 11	Nacht	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00	
	Dag	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
	Avond	0,2	0,1	0,1	0,01	0,00	0,01	
20-5-2019								
Cluster 1/Maaiveld thv bouwlijn	Nacht	0,1	0,1	0,2	0,01	0,01	0,01	
	Dag	0,2	0,2	0,3	0,02	0,02	0,03	
	Avond	0,1	0,2	0,2	0,01	0,02	0,02	
Cluster 1/Oosterstraat 11	Nacht	0,1	0,1	0,2	0,00	0,00	0,01	
	Dag	0,9	0,2	0,2	0,02	0,01	0,02	lokale verstoring
	Avond	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
21-5-2019								
Cluster 1/Maaiveld thv bouwlijn	Nacht	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	
	Dag	0,2	0,2	0,2	0,02	0,02	0,03	
	Avond	0,1	0,1	0,1	0,01	0,02	0,02	
Cluster 1/Oosterstraat 11	Nacht	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00	
	Dag	0,1	0,1	0,2	0,00	0,00	0,02	
	Avond	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
22-5-2019								
Cluster 1/Maaiveld thv bouwlijn	Nacht	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,01	
	Dag	0,2	0,3	0,3	0,02	0,02	0,03	
	Avond	0,1	0,2	0,2	0,01	0,02	0,02	
Cluster 1/Oosterstraat 11	Nacht	0,1	0,1	0,1	0,00	0,00	0,00	
	Dag	0,1	0,1	0,2	0,00	0,00	0,02	
	Avond	0,1	0,1	0,1	0,00	0,01	0,01	

Kader 2 Toetsing meetresultaten

3.5

Bespreking meetresultaten

Uit de trillingsdata volgt dat ter plaatse van de nieuwbouw in de betreffende periode op maaiveld veelal net (V_{max}) aan de streefwaarden uit de SBR richtlijn deel B voldaan wordt. De trillingen bij de woning Oosterstraat 11 zijn lager dan op maaiveld, maar ook hiervoor geldt dat ook soms net aan de streefwaarden (V_{max}) voldaan wordt. Er treedt een trillingsverzwakking op bij overdacht van maaiveld naar de woning. Ook de maatgevende frequentie neemt af. Uit de data volgt dat de trillingen bij circa 10 Hz tot 15 Hz maatgevend zijn.

De verwachting is dat de trillingen op het midden van de vloer in de woning hoger zijn dan aan de gevel gemeten en op de verdieping kan dit verschil nog groter zijn.

Geconcludeerd wordt -ervan uitgaand dat de funderingswijze van de nieuwbouw en de bestaande woning hetzelfde is- dat voor de nieuwbouw mogelijk niet aan de streefwaarden voldaan kan worden. Het ontwerp van de woning is bepalend voor trillingen in de nieuwbouw.

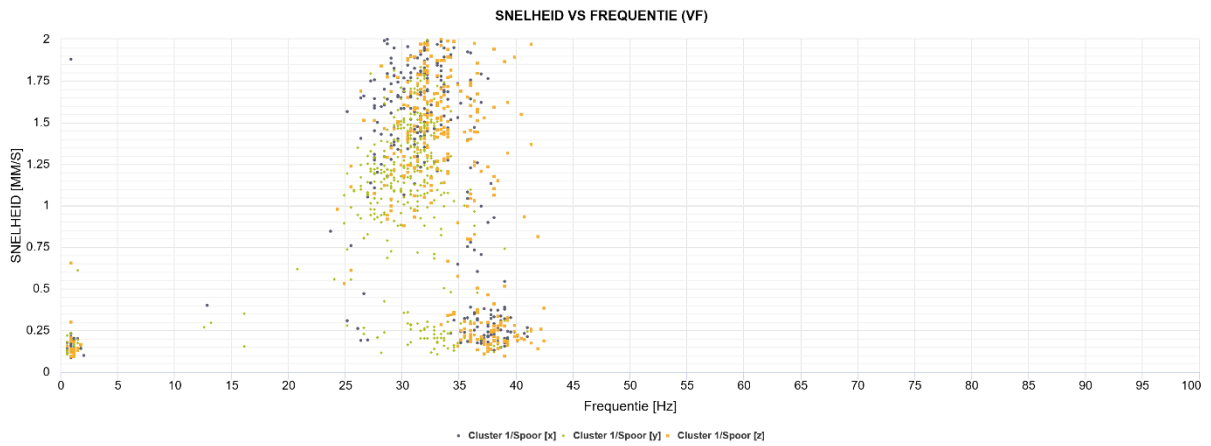
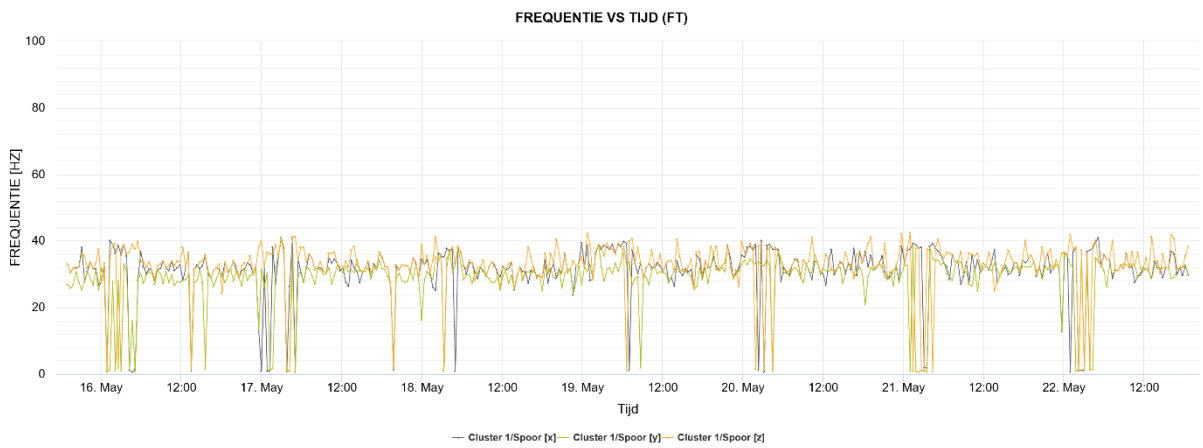
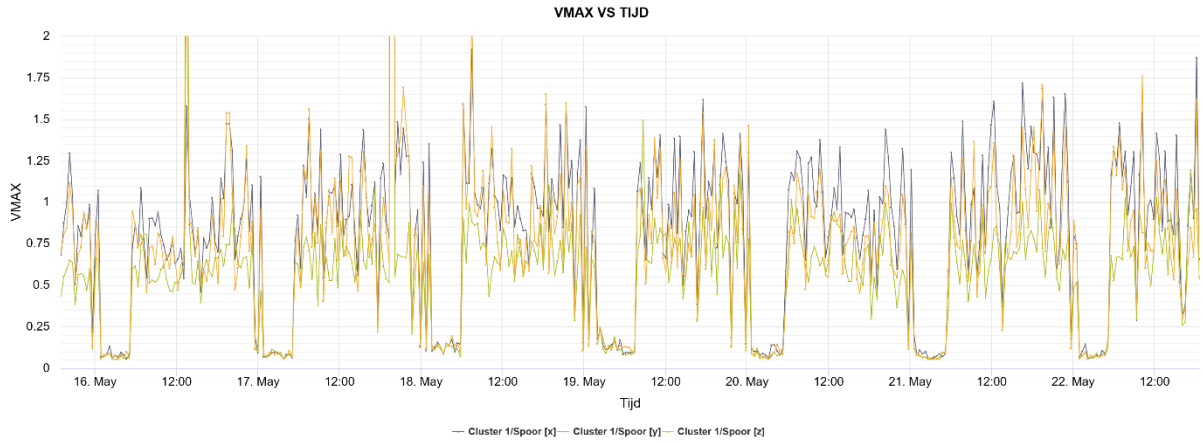
Het advies is om een aanvullend onderzoek uit te voeren waarbij het ontwerp van de nieuwbouw betrokken wordt, zodat basis van de reeds gemeten trillingen beoordeeld kan worden of er mogelijke hinder kan ontstaan, in welke mate er dan mogelijke hinder kan optreden en of dat er aanvullende maatregelen nodig/mogelijk zijn.

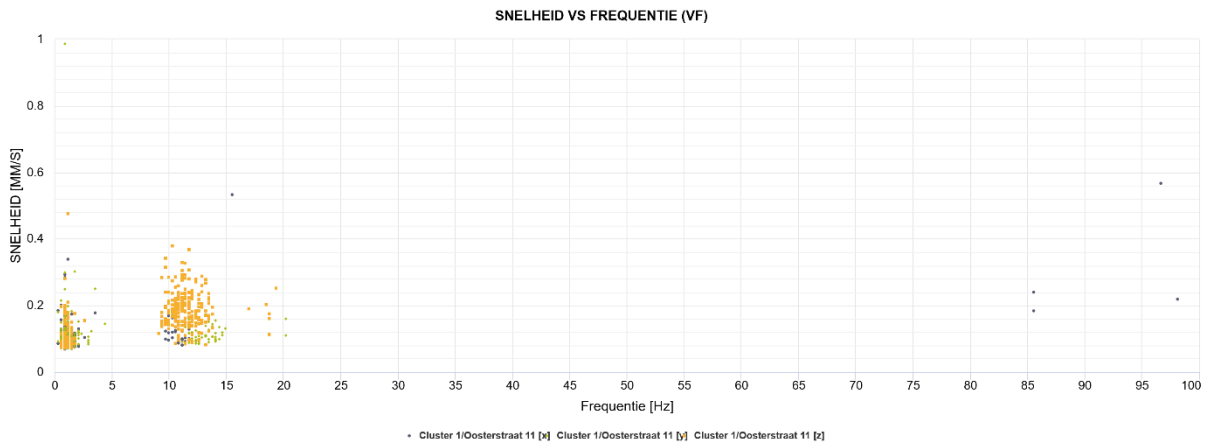
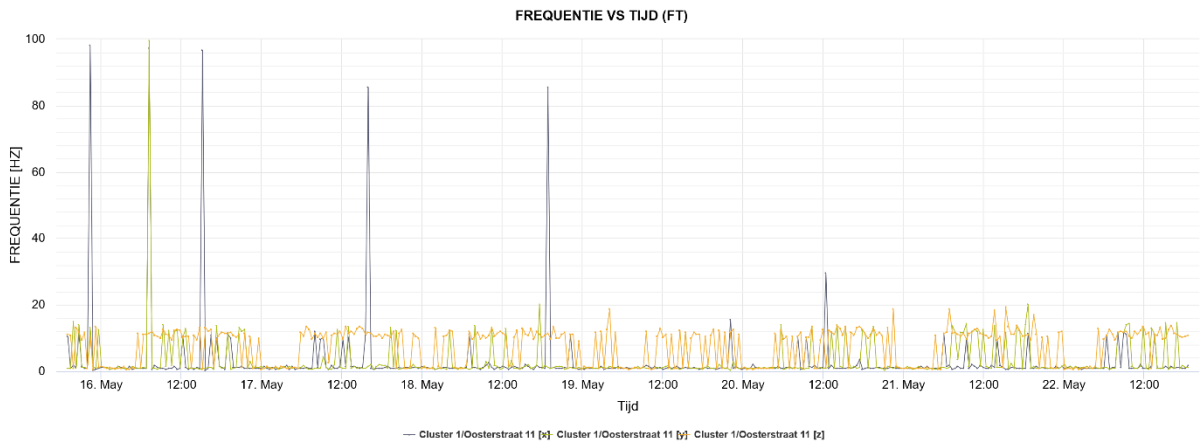
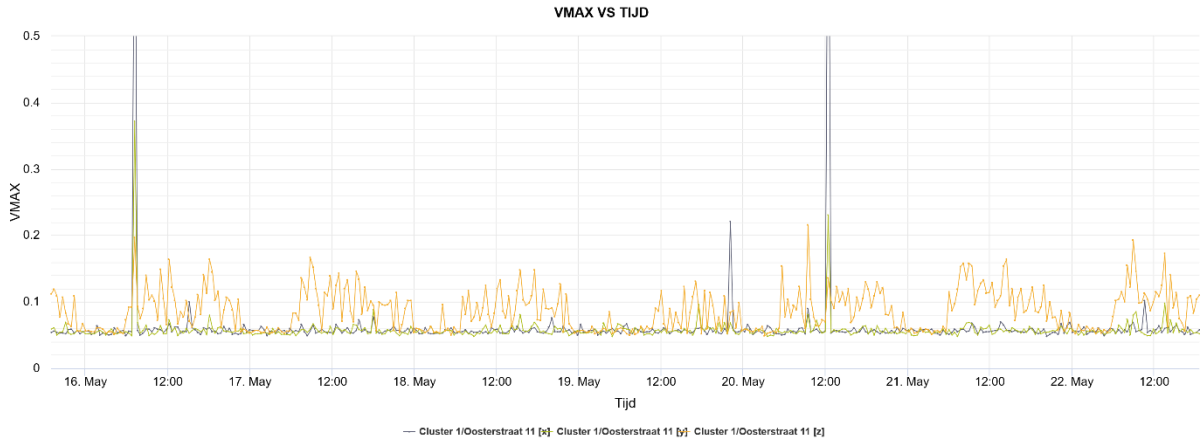
BIJLAGE 1

MEETRESULTATEN

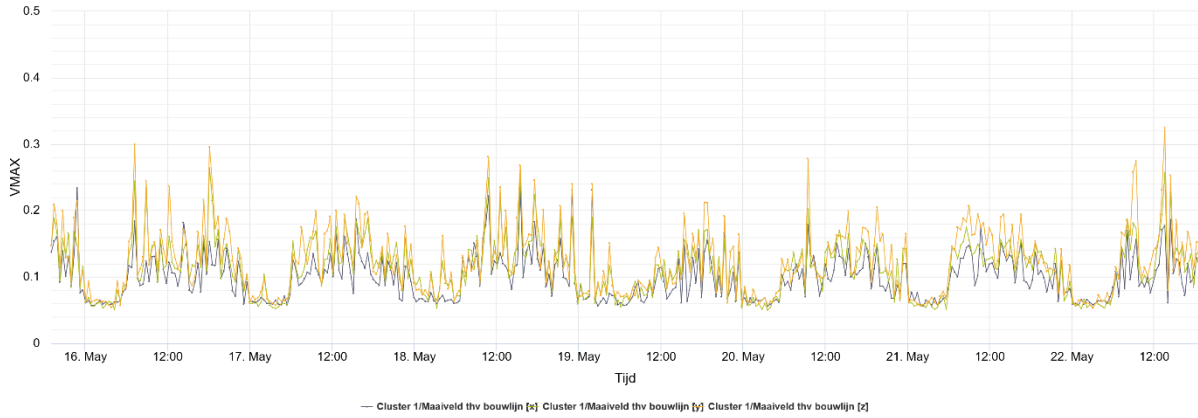
ALCEDO;

GEEN GEDOE.
GRAAG GEDAAN.

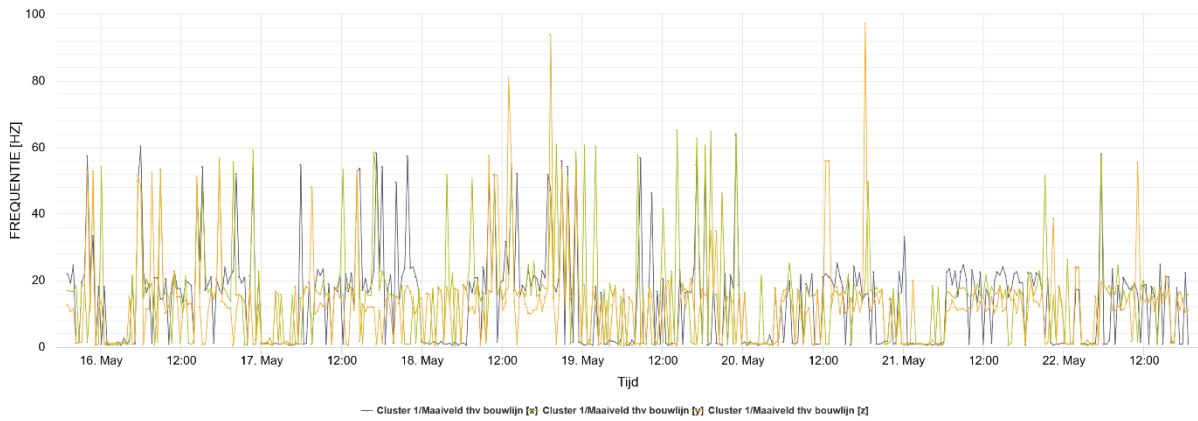




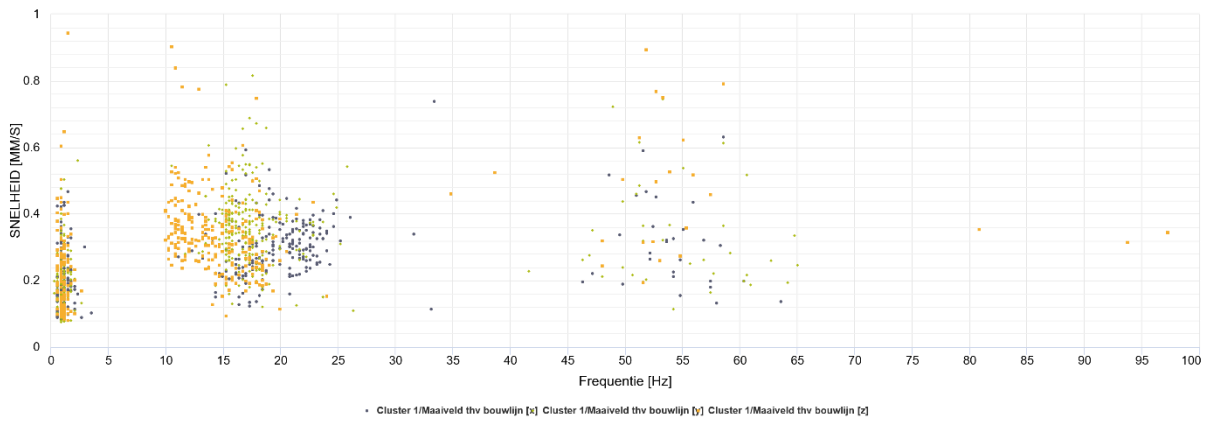
VMAX VS TIJD



FREQUENTIE VS TIJD (FT)



SNELHEID VS FREQUENTIE (VF)



ALCEDO ;

GEEN GEDOE.
GRAAG GEDAAN.

ADVIES VOOR BOUW, OMGEVING EN GEBOUWEN

LAARES ENSCHEDE

Trillingsonderzoek



WBD1902
Trillingsonderzoek Laares
Enschede
ir. P.M. Boon
22 juli 2019
versie 2.0

Managementsamenvatting

WOM De Laares realiseert grondgebonden woningen in de wijk De Laares in Enschede, langs de Oosterstraat en de Korenbloemstraat. De woningen worden op relatief korte afstand van het spoor (spoorlijn Enschede-Gronau) gerealiseerd. Conclusie vanuit metingen van Alcedo in het plangebied is dat aanvullend onderzoek nodig is om vast te stellen of er wel of geen trillingshinder in de toekomstige woningen optreedt.

Dit rapport bevat het aanvullende onderzoek. Uit het onderzoek volgt dat in 11 van de 30 geplande woningen (de eerstelijnsbebouwing) in De Laares overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder worden verwacht.

Vervolgens is een onderzoek naar maatregelen uitgevoerd, om vast te stellen of er effectieve maatregelen realiseerbaar zijn, waarmee tegen acceptabele kosten een prettig woon- en leefklimaat kan worden gegarandeerd. Hierbij geldt het volgende:

1. Er is sprake van een beperkt aantal overschrijdingen in de bouwblokken (minder dan 1 per dag). Vanuit dat perspectief zijn maatregelen weliswaar wenselijk, maar ontstaat er ook zonder maatregelen geen onacceptabel woon- en leefklimaat.
2. Maatregelen aan het spoor of de treinen zijn in het kader van dit onderzoek niet nader beschouwd. Deze vallen buiten de planologische grenzen van het onderzoeksgebied en zijn doorgaans zeer kostbaar.
3. Maatregelen in de bodem (zoals trillingsschermen) hebben zeer hoge kosten (€ 250.000 per woning), en zijn daarom niet doelmatig.
4. Met maatregelen aan de bebouwing kan in alle bouwblokken worden voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn deel B. De meest kosteneffectieve maatregel is het vervangen van de huidige kanaalplaatvloer op de verdiepingen door een meer dempende breedplaatvloer in de 11 woningen dichtbij het spoor.

Met het toepassen van een breedplaatvloer als verdiepingsvloer in de 11 woningen dichtbij het spoor, kan in het hele plangebied worden voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn deel B. Wij adviseren om de constructeur te laten onderzoeken of deze maatregel inpasbaar is in het ontwerp.

Tenslotte, er is gemeten in een droge en relatief warme periode. De ervaring leert dat de trillingen daardoor tot 20 procent hoger kunnen zijn dan in een klimatologisch als normaal te duiden periode. Verder zijn de maximaal optredende trillingen in de gebouwen minder dan 10 procent hoger dan de streefwaarden, en treden deze hoge trillingen slechts 1 tot 2 keer per week op. Op basis van deze nuance bij de resultaten kan, wanneer aanpassingen aan het ontwerp niet (meer) mogelijk zijn, op basis van een motivatie van het beperkte aantal overschrijdingen, de hoge kosten van effectieve maatregelen en het niet inpasbaar zijn van bouwkundige aanpassingen, worden gekozen voor het niet treffen van maatregelen. In het kader van bijlage 5 van de SBR-richtlijn deel B ontstaat daarmee, mits goed gemotiveerd, geen onacceptabele situatie.

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	4
1.1. Aanleiding.....	4
1.2. Doel.....	4
1.3. Leeswijzer.....	4
2. Situatie en uitgangspunten.....	5
2.1. Situatie.....	5
2.2. Uitgangspunten.....	6
3. Beoordelingskader en methode.....	7
3.1. Beoordelingskader.....	7
3.2. Rekenmethode.....	8
4. Verwachte trillingen in de woningen.....	10
4.1. Meetresultaten.....	10
4.2. Trillingen in bouwblokken.....	11
4.3. Maatregelen.....	12
5. Conclusies en aanbevelingen.....	18
I. Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek.....	19
II. Bijlage Rekenmodel Buildyn.....	20
Fundering.....	21
Draagconstructie.....	21
Vloeren.....	22
Resultaten.....	22

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

WOM De Laares realiseert grondgebonden woningen in de wijk De Laares in Enschede, langs de Oosterstraat en de Korenbloemstraat. De woningen worden op relatief korte afstand van het spoor (spoorlijn Enschede-Gronau) gerealiseerd, zie Figuur 1. Gezien deze afstand tot het spoor kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet *op voorhand* worden uitgesloten.



Figuur 1 Plangebied De Laares

Naar aanleiding van een zienswijze van ProRail op het ontwerpbestemmingsplan heeft Alcedo trillingsmetingen uitgevoerd in het plangebied. Conclusie vanuit deze metingen is dat aanvullend onderzoek nodig is om vast te stellen of er wel of geen trillingshinder in de toekomstige woningen optreedt.

1.2. Doel

Doel van het voorliggende onderzoek is om een nauwkeurige predictie te maken van de trillingen in de geplande bebouwing. Deze trillingen worden getoetst aan het van toepassing zijnde beoordelingskader (de SBR B-richtlijn). Als er overschrijdingen van het beoordelingskader worden verwacht, dan wordt aangegeven met welke constructieve aanpassingen of maatregelen wel kan worden voldaan aan het beoordelingskader.

1.3. Leeswijzer

Wij beschrijven de situatie in het onderzoeksgebied en de uitgangspunten in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 lichten we het beoordelingskader en de gevolgde rekenmethodiek toe. Met behulp van de uitgangspunten berekenen we de trillingen in de woningen op basis van de gemeten trillingen en de eigenschappen van de gebouwen. Het resultaat van deze stap wordt in hoofdstuk 4 beschreven. In hoofdstuk 5 geven we de conclusies en aanbevelingen.

De bijlages bevatten technische informatie van het onderzoek, zoals een toelichting op de rekenmethodiek en grondonderzoek van nabijgelegen locaties.

2. Situatie en uitgangspunten

In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op de beoogde toekomstige situatie ter plaatse van de woningen, en worden de uitgangspunten van het onderzoek weergegeven.

2.1. Situatie

De locaties van de geplande nieuwbouw zijn weergegeven in Figuur 2. Het betreft 30 grondgebonden woningen.



Figuur 2 Geplande locaties nieuwbouw

De gebouwen bevinden zich in een zone van ca. 30 tot 100 meter van de doorgaande spoorlijn Enschede-Gronau. De rijsnelheid van het treinverkeer en het aantal treinen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 1. Deze gegevens zijn gebaseerd op gegevens uit het Geluidsregister Spoor. Er rijden alleen stoptreinen op dit traject, incidenteel kan sprake zijn van goederenvervoer.

Tabel 1 Treinen, rijsnelheid en aantal treinen per uur per richting (gemiddeld, beide richtingen samen)

Type trein	Rijsnelheid	dag (7:00 – 19:00)	avond (19:00 – 23:00)	nacht (23:00 – 7:00)
Stoptrein	85 – 110 km/h	2.00	2.00	0.75

Andere trillingsbronnen, zoals lokaal verkeer, zullen gezien de lage rijsnelheid niet voor trillingshinder in de gebouwen zorgen bij een vlakke opbouw van de wegen.

2.2. Uitgangspunten

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een aantal uitgangspunten. In het volgende hoofdstuk (onder methode) wordt toegelicht hoe deze uitgangspunten zijn verwerkt in de berekeningen.

2.2.1. Gegevens bebouwing

In het plangebied worden grondgebonden woningen gerealiseerd. De constructiegegevens zijn afgeleid van bouwtekeningen met nrs. A-20-01 t/m A-20-17 (projectcode 1711) van 3 april 2019. Op basis van deze tekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd voor de gebouwen, zie Tabel 2 en Figuur 2. Alleen type V wijkt trillingstechnisch gezien meer af van de andere types. Het rekenmodel voor de bebouwing is gebaseerd op Tabel 2.

Tabel 2 Eigenschappen bebouwing

Parameter	Blok I	Blok V	Blok L	Blok S
Vloertype	Ribbenvloer (BG) en kanaalplaatvloer	Ribbenvloer (BG) en kanaalplaatvloer	Ribbenvloer (BG) en kanaalplaatvloer	Ribbenvloer (BG) en kanaalplaatvloer
Diepte	10.56 m	11.16 m	10.96 m	10.56 m
Hoogte	10.49 m	10.49 m	10.49 m	10.49 m
Lengte vloerveld	5.70 m	5.70 m	5.70 m	5.70 m
Breedte vloerveld	9.82 m	10.42 m	10.22 m	9.82 m
Constructietype	Wanden-vloer	Wanden-vloer	Wanden-vloer	Wanden-vloer
Fundering	Op palen	Op palen	Op palen	Op palen
Stijfheid gebouw	Prefab+metselwerk zie tekening	Prefab+metselwerk zie tekening	Prefab+metselwerk zie tekening	Prefab+metselwerk zie tekening

2.2.2. Gegevens ondergrond

Voor gegevens van de ondergrond is gebruik gemaakt van beschikbare boringen en sonderingen uit Dinoloket, zie Bijlage 1. Er is gebruik gemaakt van sonderingen van Mos Grondmechanica in het plangebied (*Grondonderzoek en funderingsadvies voor de bouw van 30 woningen in de Laares te ENSCHEDE*, beschikbaar onder nummer R1900305-03 van 2 mei 2019), verder is gebruik gemaakt van representatieve nabijgelegen boringen om de grondopbouw te karakteriseren. Deze gegevens zijn gebruikt om de bodemopbouw te modelleren. De bodemopbouw heeft invloed op hoe de trillingen uitdempen met de afstand, en op hoe de gebouwen reageren op trillingen.

2.2.3. Meetresultaten

Door Alcedo zijn metingen uitgevoerd in het onderzoeksgebied op meerdere punten. Er zijn twee metingen uitgevoerd:

1. Een meting met meerdere meetpunten op maaiveld en een meetpunt aan de fundering van Oosterstraat 11, van 15 tot en met 22 mei 2019. Dit rapport is beschikbaar onder nummer 20197089.R01.V01 van 3 juni 2019. De meetresultaten uit dit onderzoek worden kort herhaald in hoofdstuk 4.
2. Een meting met twee meetpunten (1 op maaiveld en 1 aan de fundering van Oosterstraat 11) op 5 juli 2019. Tijdens deze kortere meting zijn de trillingen gedetailleerder vastgelegd ten behoeve van de nauwkeurige predicties die in dit rapport zijn beschreven. De meetresultaten van dit aanvullende onderzoek worden toegelicht in hoofdstuk 4.

3. Beoordelingskader en methode

In dit hoofdstuk geven wij een toelichting op het beoordelingskader en de gebruikte rekenmethode.

3.1. Beoordelingskader

Er bestaat in Nederland geen wettelijk kader voor de beoordeling van trillingshinder in gebouwen. Wel geldt dat in het kader van een goede ruimtelijke ordening kan worden verzocht om trillingen mee te nemen bij de wijziging van bestemmingsplannen waar trillingen een rol kunnen spelen. Op basis van jurisprudentie wordt al enkele decennia gebruik gemaakt van de SBR-richtlijn om trillingen in gebouwen te beoordelen.¹

Deze SBR-richtlijn bestaat uit drie delen (deel A – schade in gebouwen, deel B – hinder voor personen in gebouwen en deel C – verstoring van gevoelige apparatuur) waarvan alleen deel B voor dit onderzoek relevant is. De afstand tussen het spoor en de woningen is dermate groot dat er geen schade aan de gebouwen zal ontstaan, en verstoring van gevoelige apparatuur als gevolg van de realisatie van dit plan is ook niet aan de orde.

In deze SBR-richtlijn deel B zijn een aantal aspecten relevant, deze worden hieronder kort toegelicht:

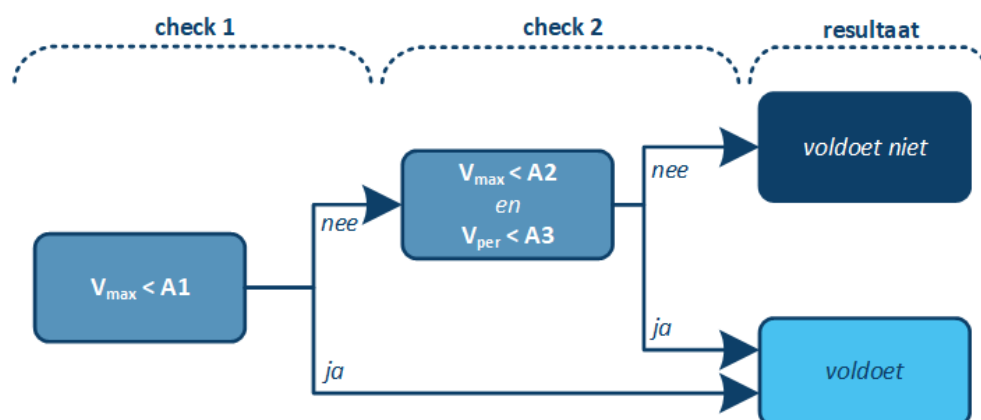
1. De richtlijn toetst zowel een maximaal optredende trillingssterkte (V_{max} , treedt op bij de trein die gedurende de meetperiode de hoogste trillingen veroorzaakt) als het tijdsgemiddelde van de trillingen (V_{per} , deze grootte is in tegenstelling tot V_{max} dus ook afhankelijk van het aantal treinen).
2. De richtlijn maakt in de beoordeling onderscheid tussen verschillende situaties, en toetst daarbij strenger in:
 - a. Nieuwbouwsituaties (nieuwe gebouwen, nieuw spoor, aanleg van wissels). Bij bestaande situaties zijn de streefwaarden minder streng, er wordt dan uitgegaan van een zekere mate van gewenning en er zijn minder mogelijkheden om de trillingen te reduceren.
 - b. Gebouwen met een overnachtingsfunctie (woningen, ziekenhuizen). De meeste hinder wordt vaak in rust ervaren. Bij gebouwen met een niet-overnachtingsfunctie (kantoren, scholen) gelden minder strenge streefwaarden. Winkels, sport- en industriepanden vallen buiten de richtlijn.
 - c. De nacht, omdat de meeste hinder vaak in rust wordt ervaren. De streefwaarden voor overdag zijn ca. een factor 2 minder streng dan 's nachts.
3. Een woning kan op twee manieren voldoen aan de richtlijn: de trillingssterkte V_{max} moet lager zijn dan de onderste streefwaarde A1 (zie Tabel 3), óf V_{max} moet lager zijn

¹ Voor spoorprojecten wordt door ProRail sinds 2012 ook wel gebruik gemaakt van de Bts, deze is afgeleid van de SBR-richtlijn en op aspecten aangescherpt (waaronder een doelmatigheidsafweging en een andere manier om de trillingen vast te stellen). Deze richtlijn wordt echter doorgaans niet gebruikt om de trillingen in nieuw te bouwen woningen langs het spoor te beoordelen.

dan de bovenste streefwaarde A2, waarbij tegelijkertijd de trillingsintensiteit V_{per} lager is dan de streefwaarde A3. Zie ook het schema in Figuur 3.

Tabel 3 Streefwaarden in de SBR-richtlijn deel B voor gebouwen met bestemming wonen

Situatie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Nieuwe situatie	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
Bestaande situatie	0.2	0.8	0.10	0.2	0.4	0.10



Figuur 3 Schema beoordeling SBR B-richtlijn

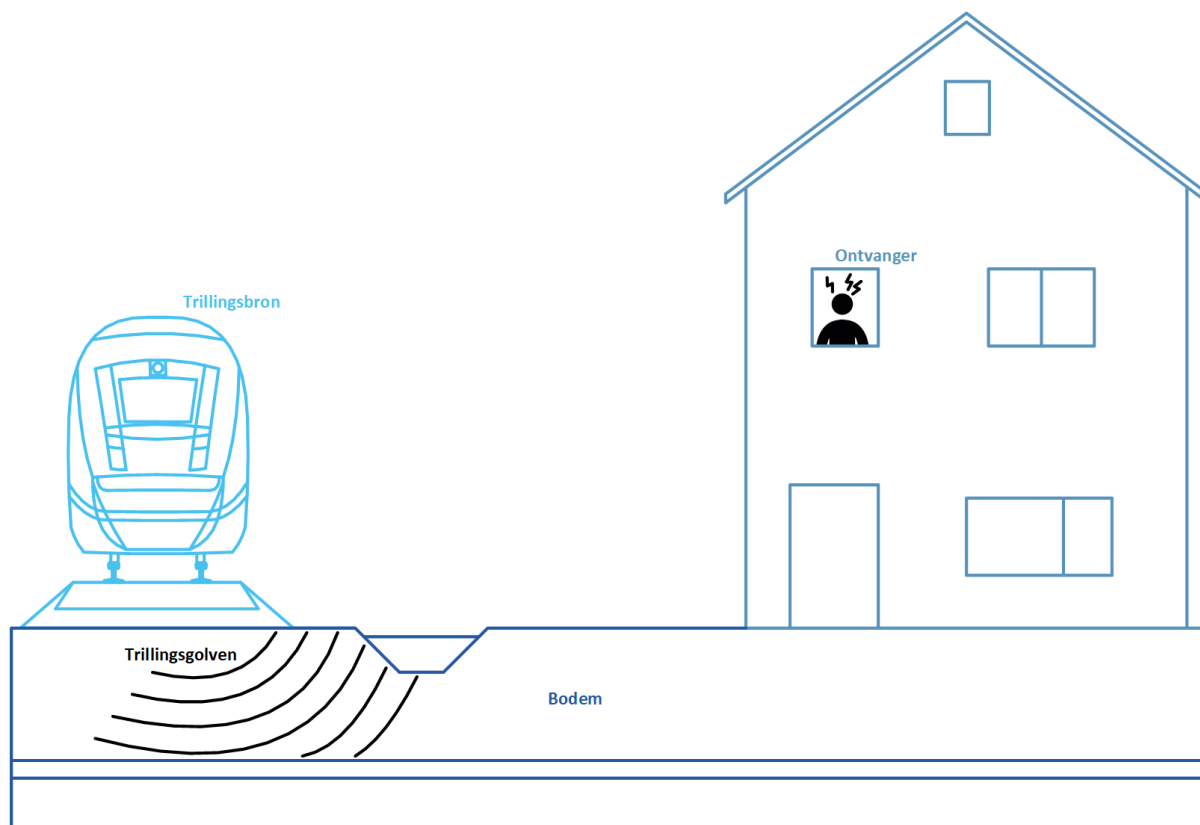
3.2. Rekenmethode

In de SBR-richtlijn deel B worden de trillingen beoordeeld in gebouwen. Omdat het bij dit project gaat om nog niet gerealiseerde gebouwen, wordt op basis van metingen op maaiveld en aan bestaande funderingsstroken een berekening gemaakt van de verwachte trillingen in de gebouwen. Deze verwachte trillingen zijn afhankelijk van de constructieve eigenschappen van de gebouwen, maar ook van de bodem, de afstand tot het spoor en natuurlijk de gemeten trillingen. Hieronder wordt een korte uitleg gegeven over hoe trillingen zich voortplanten van de trillingsbron tot in het gebouw, en hoe dat is vertaald naar een rekenmodel.

3.2.1. Trillingen – van trillingsbron naar gebouw

Trillingen ontstaan doordat een bewegend object (een trein, tram of vrachtwagen bijvoorbeeld) over een niet-efen ondergrond rijdt. Door de massa en beweging van het voertuig, variaties in de ondergrond (die per definitie niet perfect vlak is) en variaties in de rondheid van de wielen van het voertuig ontstaan spanningen in de bodem die zich door de bodem verplaatsen. Afhankelijk van de opbouw van de bodem en de aanwezigheid van obstakels (zoals sloten en damwanden) verplaatsen de trillingen zich diep of juist ondiep door de bodem. Gebouwen worden daardoor in trilling gebracht. Afhankelijk van hoe het gebouw is geconstrueerd, worden bepaalde trillingen meer of minder versterkt in het gebouw. Deze trillingen kunnen als hinderlijk worden ervaren door personen in gebouwen. Dit hele systeem van trillingsbron (hier de trein), overdrachtsmedium (de bodem, waardoor de trillingen zich verplaatsen) en ontvanger (het gebouw met daarin de personen die de hinder ervaren) is schematisch weergegeven in Figuur 4.

In de subparagrafen hieronder wordt toegelicht hoe in dit onderzoek hiermee wordt omgegaan.



Figuur 4 Trillingen – het system van trillingsbron, de bodem als doorgeefmedium en het gebouw als ontvanger

3.2.2. De trillingsbron

In dit onderzoek zijn treinen de bron van de trillingen. De trillingen van het treinverkeer zijn gemeten door Alcedo op meerdere punten in het onderzoeksgebied. De beoordeling van de trillingen in de woningen heeft plaatsgevonden op basis van deze metingen.

3.2.3. De bodem

De bodem op deze locatie bestaat uit leem- en zandlagen met verschillende stijfheden, zie bijlage 1. De uitdemping van de trillingen met de afstand is bepaald met een rekenmodel op basis van deze bodemopbouw en geijkt aan de hand van de metingen van Alcedo op de meetlocatie voor een zo betrouwbaar mogelijke predictie van de trillingen.

3.2.4. Het gebouw

De trillingen gaan via de fundering een gebouw binnen. Afhankelijk van het type fundering, de bodem, de massa en afmetingen van het gebouw zal de fundering de trillingen meer of minder uitdempen. Vervolgens worden de trillingen in het gebouw weer versterkt door bewegingen van het gebouw en de vloeren. Het gebouwgedrag is in dit onderzoek bepaald op basis van de bodemopbouw, de constructieve eigenschappen en gebruikte materialen van de gebouwen met behulp van het rekenmodel Buildyn, een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin het gebouw gemodelleerd en doorgerekend wordt. De resultaten van het model worden geijkt met praktijkresultaten uit metingen. Een toelichting op het rekenmodel Buildyn is gegeven in bijlage 2.

4. Verwachte trillingen in de woningen

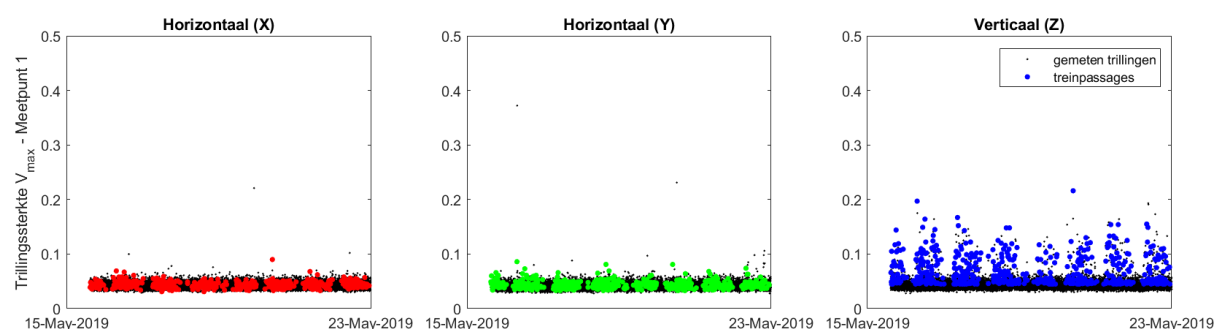
In dit hoofdstuk wordt eerst een korte toelichting gegeven op de meetresultaten, daarna worden de verwachte trillingen in de toekomstige bouwblokken gegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van de beoordelingsmethode en de rekenmethodiek zoals toegelicht in het voorgaande hoofdstuk.

4.1. Meetresultaten

Alcedo heeft op verschillende tijdstippen metingen uitgevoerd aan de gevel van Oosterstraat 11 (representatief voor een meetpunt aan de fundering) en op maaiveld in het toekomstige bouwvlak. De meetresultaten aan de fundering van Oosterstraat 11 zijn het meest stabiel en representatief, en worden daarom in dit onderzoek gebruikt voor de predicties van de meetresultaten in de toekomstige bouwblokken. De andere meetpunten zijn gebruikt om de variatie in de trillingen over het onderzoeksgebied te bepalen.

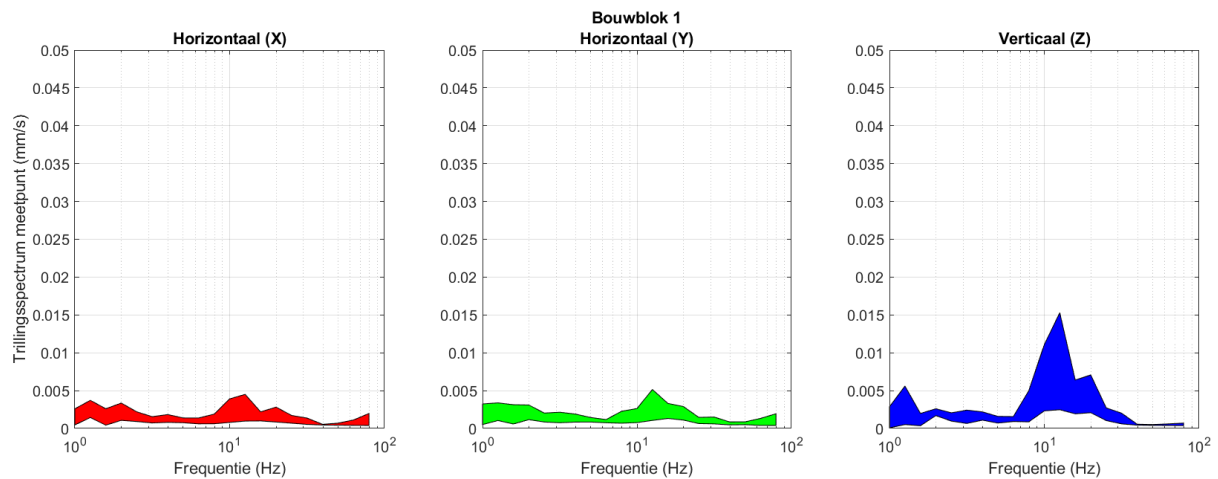
De trillingen van het meetpunt aan de fundering zijn weergegeven in Figuur 5. In deze figuur vallen een aantal zaken op:

1. De trillingen zijn het hoogst in verticale richting. Lokale stoortrillingen (wellicht zwaar vrachtverkeer op de Oosterstraat) zorgt nu en dan ook voor hoge trillingen.
2. Een aantal treinen geeft significant hogere trillingen dan de andere treinen. Mogelijk zijn dit goederentreinen.



Figuur 5 Gemeten trillingen aan de fundering van Oosterstraat 11

Vervolgens is een tweede meting aan de fundering van Oosterstraat 11 uitgevoerd. Hierbij is specifiek gekeken naar welke trillingsfrequenties maatgevend zijn, deze input is gebruikt om de trillingen in de gebouwen te bepalen. Spectrogrammen van de trillingen (weergegeven als 1/3-octaaftandspectrum of tertsbandspectrum) zijn weergegeven in Figuur 6. In deze figuur is goed zichtbaar dat de dominante frequentie van de trillingen rond 15 Hz ligt, en dat de trillingen in verticale richting maatgevend zijn.



Figuur 6 Tertsbandspectra bij meetpunt aan de fundering van Oosterstraat 11

4.2. Trillingen in bouwblokken

De bouwblokken zijn in Buildyn gemodelleerd op basis van de tekeningen. Het (frequentieafhankelijke) gedrag van de gebouwen is weergegeven in Bijlage 2. Met deze resultaten is per bouwblok bepaald in welke mate de trillingen worden versterkt tussen het meetpunt op de fundering (meetpunt 1) en het betreffende bouwblok. Hierbij is rekening gehouden met de uitdemping van de trillingen met de afstand. Deze resultaten (samen met de versterking van de trillingen in het bouwblok zelf, dus van de fundering van dat bouwblok naar de vloer waar de hoogste trillingen optreden) zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Versterking van de trillingen per bouwblok (weergegeven als bandbreedte)

Bouwblok	fundering naar vloer	meetpunt 1 naar vloer
Blok 1	1.8-2.4	0.5-0.7
Blok 2	1.8-2.4	0.5-0.7
Blok 3	1.8-2.4	0.5-0.7
Blok 4	1.7-2.4	0.6-0.7
Blok 5	2.0-2.4	0.8-1.0
Blok 6	2.0-2.4	0.8-1.0
Blok 7	2.0-2.4	0.8-1.0
Blok 8	2.0-2.4	0.8-1.0
Blok 9	2.0-2.4	0.9-1.0
Blok 10	2.0-2.4	0.9-1.0
Blok 11	2.0-2.4	0.8-1.0
Blok 12	2.3-2.5	2.2-2.3
Blok 13	2.3-2.5	2.2-2.4
Blok 14	2.3-2.5	2.2-2.3
Blok 15	2.3-2.5	2.1-2.3
Blok 16	2.3-2.5	2.1-2.3
Blok 17	2.3-2.5	2.2-2.3

Met deze overdrachten is op basis van de langeduurmeting bepaald wat de trillingen in de bouwblokken in de toekomst zullen zijn. Deze resultaten zijn weergegeven in Tabel 5, samen met een beoordeling van de trillingen. Overschrijdingen van de streefwaarden zijn oranje gearceerd.

Tabel 5 Trillingen per bouwblok (soms weergegeven als bandbreedte)

Bouwblok	V_{max}	V_{per}	Beoordeling
Blok 1	0.1	<0.01	Voldoet
Blok 2	0.1	<0.01	Voldoet
Blok 3	0.1	<0.01	Voldoet
Blok 4	0.1	<0.01	Voldoet
Blok 5	0.2	0.01	Voldoet
Blok 6	0.2	0.01	Voldoet
Blok 7	0.2	0.01	Voldoet
Blok 8	0.2	0.01	Voldoet
Blok 9	0.2	0.01	Voldoet
Blok 10	0.2	0.01	Voldoet
Blok 11	0.2	0.01	Voldoet
Blok 12	0.5	0.03 - 0.04	Voldoet niet, minder dan 1 overschrijding per dag
Blok 13	0.5	0.03 - 0.04	Voldoet niet, minder dan 1 overschrijding per dag
Blok 14	0.5	0.03 - 0.04	Voldoet niet, minder dan 1 overschrijding per dag
Blok 15	0.5	0.03	Voldoet niet, minder dan 1 overschrijding per dag
Blok 16	0.5	0.03	Voldoet niet, minder dan 1 overschrijding per dag
Blok 17	0.5	0.03 - 0.04	Voldoet niet, minder dan 1 overschrijding per dag

Uit Tabel 5 volgt dat in alle bouwblokken in de tweede en derde bebouwingslijn vanaf het spoor (bouwblokken 1 t/m 11) wordt voldaan aan het beoordelingskader. In de bouwblokken dichtbij het spoor (bouwblokken 12 t/m 17) wordt zonder maatregelen niet voldaan aan het beoordelingskader. Wel is het aantal overschrijdingen beperkt tot minder dan 1 per dag, overschrijdingen treden ook alleen in de dagperiode op ('s nachts voldoen de trillingen aan de streefwaarden). Omdat niet altijd wordt voldaan aan het beoordelingskader, wordt in de volgende paragraaf ingegaan op mogelijke maatregelen.

4.3. Maatregelen

Door incidenteel passerende treinen met een afwijkende trillingssterkte wordt niet in alle gebouwen voldaan aan het beoordelingskader voor trillingshinder.

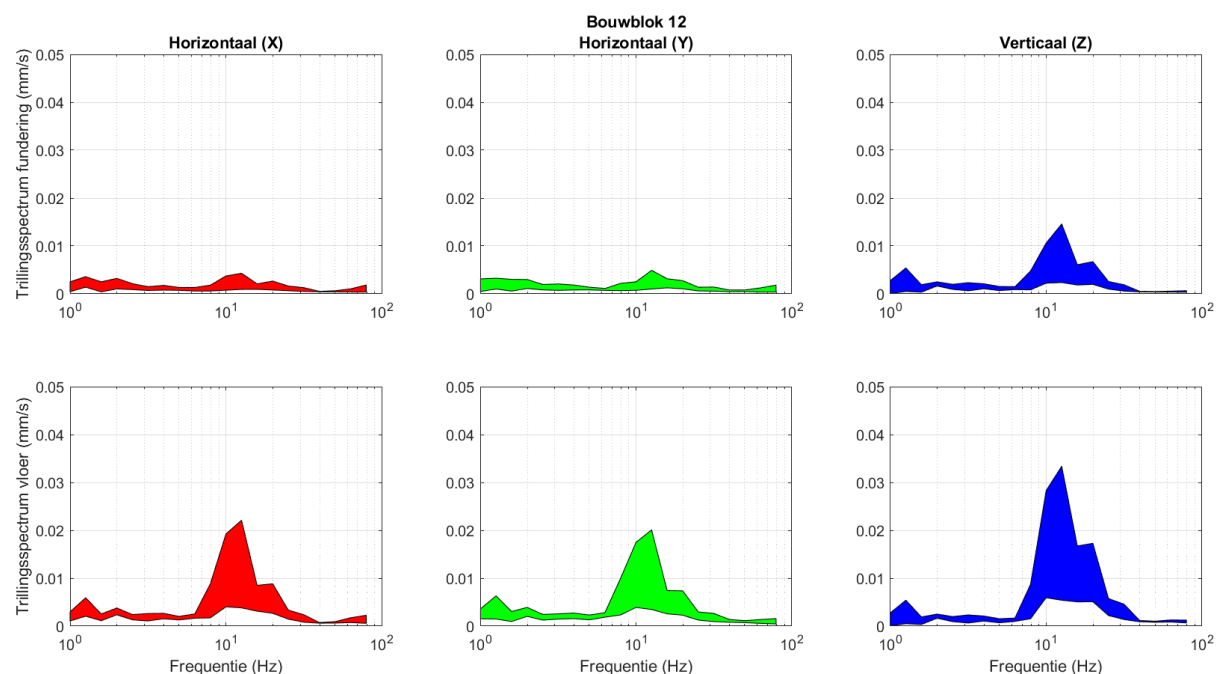
Voor de afweging van maatregelen geeft bijlage 5 van de SBR B-richtlijn handvatten. Deze bijlage classificeert de trillingen in het plangebied als matige hinder. Vervolgens geeft deze bijlage aan dat matige hinder kan worden geaccepteerd onder een aantal voorwaarden:

1. De mate waarin de trillingssterkte voorkomt. Hiervoor geldt dat de trillingsintensiteit V_{per} een goede indicatie is. Daarnaast is in Tabel 5 het aantal overschrijdingen per dag weergegeven. In alle bouwblokken op de eerste lijn is sprake van een beperkt aantal overschrijdingen (minder dan 1 per dag), en voldoet de trillingsintensiteit V_{per} aan de streefwaarden.
2. De aanwezigheid van achtergrondtrillingen die de trillingen van het treinverkeer kunnen maskeren. Daar is hier geen sprake van.
3. De mogelijkheid tot het treffen van reducerende maatregelen. Het is conform bestaande jurisprudentie gebruikelijk om hierbij een afweging te maken tussen de kosten en het effect van de maatregelen, maar ook aspecten als duurzaamheid en impact op de omgeving kunnen worden meegenomen in deze afweging.

Voorwaarde 2 is hier niet van toepassing. Daarom gaan we hierna in op maatregelen om de trillingen te reduceren. Om effectieve maatregelen te treffen, doen we eerst een nadere analyse van de verwachte trillingen. Zo stellen we vast bij welke trillingsfrequenties vooral hoge trillingen optreden. Daarna gaan we in op maatregelen die mogelijk zijn aan de trillingsbron (de trein of het spoor), maatregelen in de bodem en maatregelen aan de gebouwen.

4.3.1. Analyse resultaten

Om te bepalen welke trillingsrichting en trillingsfrequenties in de gebouwen maatgevend zijn, is een nadere analyse uitgevoerd van de verwachte trillingen. Voor het maatgevende bouwblok 12 is het trillingspectrum in de X-, Y- en Z-richting op zowel de fundering als bovenin het gebouw weergegeven in Figuur 7. Hier is zichtbaar dat de trillingen in verticale richting maatgevend zijn, en dat de maatgevende frequentie rond 15 Hz ligt. Dit komt doordat de trillingen op de fundering dominant zijn rond 15 Hz, en de eerste eigenfrequentie van de vloeren ook in dit gebied ligt. Dit geldt ook voor de andere bouwblokken. Maatregelen zullen dus in ieder geval de verticale trillingen moeten reduceren, en vooral effectief zijn rond 15 Hz.



Figuur 7 Trillingspectra in bouwblok 12. Boven de trillingen op de fundering, onder op de hoogste vloer

In de volgende subparagrafen wordt ingegaan op mogelijke maatregelen aan de trillingsbron, in de bodem of aan de gebouwen.

4.3.2. Maatregelen aan de trillingsbron

De meest effectieve manier om de trillingen te reduceren, is het nemen van maatregelen aan de trillingsbron (het spoor of de treinen), bijvoorbeeld door het toepassen van ballastmatten, het aanpassen van de rijnsnelheid van de treinen of het hanteren van strengere vlakheidseisen voor het spoor. Deze maatregelen vallen echter buiten de scope van dit onderzoek, omdat deze maatregelen allemaal buiten het plangebied moeten worden getroffen. Bovendien zijn de kosten van deze maatregelen hoger dan maatregelen aan de gebouwen.

4.3.3. Maatregelen in de bodem

Bij maatregelen in de bodem kan gedacht worden aan het toevoegen van obstakels in de bodem, die ervoor zorgen dat de gebouwen worden afgeschermd. Voorbeelden zijn het toevoegen van een spoorloot, een trillingsscherm van piepschuim (EPS), beton, jet-grout (soil-mix methode voor beton) of een damwand. Nadeel van deze maatregelen is dat deze vooral effectief zijn dicht op de trillingsbron (het spoor) of dicht op de bebouwing. Omdat de gevels van de eerstelijnsbebouwing grenzen aan de randen van het plangebied, kan een trillingsscherm alleen gerealiseerd worden buiten het plangebied, bijvoorbeeld onder het trottoir langs de Oosterstraat of direct naast het spoor. Een locatie onder het trottoir is planologisch gezien wellicht eerder haalbaar, omdat afstemming met ProRail in dat geval niet nodig is. De kosten bij een scherm bij het spoor zullen ook hoger zijn door meer afstemming en een grotere benodigde lengte om de vereiste afscherming te halen.

Het effect en de kosten van maatregelen in de bodem zijn weergegeven in Tabel 6. Hierbij is uitgegaan van een trillingsscherm direct naast de bebouwing (dicht bij het spoor is de benodigde lengte groter) over een lengte van ca. 130 meter. Bij elke maatregel is aangegeven of met deze maatregel wordt voldaan aan de streefwaarden.

Uit deze analyse volgt dat alleen een betonnen trillingsscherm, bekleed met rubber, mogelijk voldoende effectief is. Deze maatregel brengt echter zeer hoge kosten met zich mee (€ 2.6 tot 3.2 mln.). Voor 11 woningen komt dat neer op ca. € 250.000 per woning, ruim meer dan het bedrag wat door het ministerie van IernW bij spoorprojecten wordt gebruikt als richtbedrag (€ 47.000). Gezien de hoge kosten, de lange realisatietijd (en dus hinder voor de omgeving) en het feit dat een maatregel in de bodem slecht aanpasbaar is aan toekomstige situaties, kan worden gesteld dat deze maatregelen niet doelmatig zijn.

Tabel 6 Mogelijke maatregelen in de bodem

Maatregel	Effect	Kosten	Toepasbaarheid
Betonnen wand	20 – 40%	€ 1.8 – 2.4 mln	Onvoldoende effectief
Jet-grout wand	15 – 25%	€ 1.4 – 2.0 mln	Onvoldoende effectief
Damwand	10 – 20%	€ 1.0 – 1.7 mln	Onvoldoende effectief
Beton met rubber	30 – 50%	€ 2.6 – 3.2 mln	Mogelijk voldoende effectief
Damwand met EPS	20 – 40%	€ 1.5 – 2.2 mln	Onvoldoende effectief
Damwand met sleuf	20 – 40%	€ 1.9 – 2.5 mln	Onvoldoende effectief

4.3.4. Maatregelen aan de gebouwen

Bij maatregelen aan de gebouwen is een breed scala aan maatregelen mogelijk. Die variëren van het stijver uitvoeren van de gebouwen (bijvoorbeeld door te kiezen voor een tunnelbouwmethode of een ander vloertype), het toepassen van meer dempende materialen (zoals hout en metselwerk in plaats van beton, of breedplaatvloeren in plaats van kanaalplaatvloeren) tot het ontkoppelen van de fundering of de vloeren door middel van rubber of stalen veren. Het effect en de kosten van maatregelen aan gebouwen zijn weergegeven in Tabel 7.

Samengevat geldt dat het volledig ontkoppelen van de fundering (dubbele fundering met daartussen stalen veerdozen bij alle bouwblokken naar verwachting voldoende effect heeft. Andere mogelijkheden om de trillingen significant te reduceren zijn:

1. Aanpassen van de vloeren (vloeren met een eigenfrequentie die niet samenvalt met de dominante trillingsfrequentie van de treinen, bijvoorbeeld door de vloeren slapper of juist stijver uit te voeren).

- Toepassen van vloeren met een hogere demping (een breedplaatvloer heeft bijvoorbeeld meer demping dan de voorgestelde ribben- en kanaalplaatvloeren, maar heeft vaak ook een wat hogere eigenfrequentie en gewicht).
- Inpakken van de fundering of onderheien. Echter, omdat het effect van deze maatregelen minder is dan het volledig ontkoppelen van de fundering, en de kosten vergelijkbaar, worden deze maatregelen niet nader beschouwd.

Tabel 7 Mogelijke maatregelen aan de gebouwen

Maatregel	Effect	Kosten ²	Toepasbaarheid
Stijvere constructie	0 – 10%	< 3% SK	Onvoldoende effectief binnen concept van grondgebonden woningen
Ander vloertype	15 – 25%	< 3% SK	Mogelijk voldoende effectief i.c.m. andere maatregel
Toepassen van dempende materialen	5 – 15%	< 2% SK	Mogelijk voldoende effectief i.c.m. andere maatregel
Ontkoppelen van de vloeren	0 – 10%	2 – 4% SK	Onvoldoende effectief
Ontkoppelen van de fundering	50 – 80%	4 – 8% SK	Mogelijk voldoende effectief
Inpakken van de fundering	10 – 30%	2 – 5% SK	Mogelijk voldoende effectief i.c.m. andere maatregel
Zwaardere fundering (onderheien)	10 – 30%	4 – 7% SK	Mogelijk voldoende effectief i.c.m. andere maatregel

De maatregelen die mogelijk effectief zijn (ontkoppelen van de fundering, toepassen van een slappere kanaalplaatvloer met 220 mm totale vloerdikte en het toepassen van een meer dempende breedplaatvloer met 220, 270 (als huidig ontwerp) en 420 mm totale vloerdikte³) zijn gedetailleerd doorgerekend met Buildyn. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Effect van nader onderzochte maatregelen. Aangegeven is of de trillingen met maatregel voldoen aan de streefwaarden

Bouwblok	Ontkoppelen fundering	Kanaalplaat 220 mm	Breedplaat 220 mm	Breedplaat 270 mm	Breedplaat 420 mm
Blok 12	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
Blok 13	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
Blok 14	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
Blok 15	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
Blok 16	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet
Blok 17	Voldoet	Voldoet niet	Voldoet	Voldoet	Voldoet

² SK = Stichtingskosten

³ Er is geen constructieve toets gedaan of deze dunnere vloeren constructief nog voldoen voor alle te beschouwen belastinggevallen bij deze specifieke woningen. Conform de opgave van de fabrikanten van kanaal- en breedplaatvloeren is een overspanning van 5.7 meter haalbaar voor vloeren met een dikte van 150 mm. Wij adviseren wel om hier een constructieve toets op te laten uitvoeren, mochten deze maatregelen worden opgenomen in het ontwerp.

Samengevat geldt:

- Het ontkoppelen van de fundering (dubbele fundering met daartussen stalen veerdozen) is effectief bij alle bouwblokken. De kosten van deze maatregel bedragen echter wel zo'n 4 tot 8 % van de stichtingskosten van het gebouw. Gezien de incidentele overschrijdingen wordt een dergelijke maatregel niet doelmatig geacht in het licht van bijlage 5 van de SBR-richtlijn deel B.
- Het slapper uitvoeren van de vloeren (door de totale vloerdikte met 50 mm te reduceren) heeft onvoldoende effect. Hierdoor neemt de eigenfrequentie van de vloer af, zodat deze niet meer samenvalt met de dominante trillingsfrequenties van de treinen, maar de trillingen nemen hierdoor slechts met zo'n 10 procent af.
- Het toepassen van een meer dempende vloer (breedplaatvloer i.p.v. kanaalplaatvloer) zorgt voor 20 tot 30 procent lagere trillingen dan een kanaalplaatvloer, waarbij een stijvere vloer (420 mm incl. dekvloer) meer effect heeft dan een breedplaatvloer met dezelfde opbouwdikte als de huidige vloerdikte (270 mm incl. dekvloer).

4.3.5. Afweging van maatregelen

Gezien de overschrijdingen in de bouwblokken die het dichtst bij het spoor zijn geplaatst adviseren wij om maatregelen te treffen in deze woonblokken. Bij het zoeken naar maatregelen zijn alle technisch uitontwikkelde en effectieve maatregelen beschouwd die binnen het plangebied zijn te treffen. Op basis van een afweging van effectiviteit versus kosten, waarbij wij ook het aantal overschrijdingen per dag meenemen in de afweging, adviseren wij om de volgende maatregelen te treffen, zie Tabel 9.

Tabel 9 Geadviseerde maatregel per bouwblok en trillingssituatie na deze maatregelen

Bouwblok	Geadviseerde maatregel	V_{max}	V_{per}
Blok 12	Breedplaatvloer 270 mm totale vloerdikte	0.4	0.02-0.03
Blok 13	Breedplaatvloer 270 mm totale vloerdikte	0.4	0.02-0.03
Blok 14	Breedplaatvloer 270 mm totale vloerdikte	0.4	0.02-0.03
Blok 15	Breedplaatvloer 270 mm totale vloerdikte	0.4	0.02-0.03
Blok 16	Breedplaatvloer 270 mm totale vloerdikte	0.4	0.02-0.03
Blok 17	Breedplaatvloer 270 mm totale vloerdikte	0.4	0.02-0.03

Met deze maatregel zijn er geen overschrijdingen meer van de streefwaarden in het gehele plangebied: alle treinpassages met trillingen boven de streefwaarde van de nacht (0.2) passeren overdag (dan is de streefwaarde 0.4).

Wij adviseren om de constructeur te laten onderzoeken of deze maatregel inpasbaar is in het ontwerp. Wanneer dat niet mogelijk is, dan kan op basis van een motivatie van het beperkte aantal overschrijdingen, de hoge kosten van effectieve maatregelen en het niet inpasbaar zijn van bouwkundige aanpassingen, worden gekozen voor het niet treffen van maatregelen. In het kader van bijlage 5 van de SBR-richtlijn deel B ontstaat daarmee, mits goed gemotiveerd, geen onacceptabele situatie.

4.3.6. Onzekerheden in het onderzoek

Zoals eerder benoemd kent dit onderzoek een aantal onzekerheden, hiervoor geldt het volgende:

1. Ten aanzien van de trillingsbron: de natuurlijke variatie als gevolg van spooronderhoud en de temperatuur kunnen zorgen voor zo'n 30% variatie in de trillingen. Er is gemeten in een relatief warme periode, dit zorgt voor relatief hoge trillingen. De status van het

spoor is onbekend. Op basis van bovenstaande verwachten we dat de huidige berekeningen mogelijk iets hogere trillingen geven dan bijvoorbeeld in de winterperiode.

2. Ten aanzien van de bodem geldt dat in een relatief droge periode is gemeten, waardoor de demping van de bodem lager is. Met name leem- en kleilagen kunnen indrogen waardoor de trillingen hoger zijn. Vooral op kortere afstanden tot het spoor (zoals bij de eerstelijnsbebouwing) kan dit ervoor zorgen dat de huidige berekeningen ca. 15% hogere trillingen geven dan in een klimatologisch normale periode. De invloed van lokale variaties in de bodem is beperkt, het gaat om een bouwgebied met een relatief beperkte omvang.
3. Ten aanzien van de gebouwen geldt dat er altijd verschillen zijn tussen het beoogde ontwerp en het gerealiseerde ontwerp (verschillen tussen as-built en definitief ontwerp). Bovendien is het dynamische gedrag van bijvoorbeeld beton afhankelijk van de mate van gescheurdheid van het beton en zijn er natuurlijke variaties in materiaalgedrag (van bijvoorbeeld hout, metselwerk en beton). In de berekeningen is gerekend met een verwachtingswaarde van de trillingen op basis van een aan de hand van praktijkmetingen geijkt rekenmodel. Hiermee wordt een resultaat verkregen dat representatief is voor de toekomstige situatie.

In de uiteindelijke afweging van de maatregelen kunnen bovenstaande punten aanleiding geven om minder zware maatregelen te treffen, zeker gezien de beperkte overschrijdingen: de verwachte trillingen in de gebouwen zijn namelijk minder dan 10 procent hoger dan de streefwaarden, en deze trillingen treden slechts 1 tot 2 keer per week op.

5. Conclusies en aanbevelingen

Uit het voorliggende onderzoek volgt dat in 11 van de 30 geplande woningen (de eerstelijnsbebouwing) in De Laares overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder worden verwacht.

Op basis van bijlage 5 van de SBR-richtlijn is een afweging van maatregelen uitgevoerd. Hierbij is afgewogen in hoeverre de overschrijdingen acceptabel zijn. Het accepteren van overschrijdingen kan, volgens deze bijlage, als er sprake is van een beperkt aantal overschrijdingen en maatregelen bijvoorbeeld zeer ingrijpend, beperkt effectief of zeer kostbaar zijn. Hierbij geldt:

1. Er is sprake van een beperkt aantal overschrijdingen in de bouwblokken (minder dan 1 per dag). Vanuit dat perspectief zijn maatregelen weliswaar wenselijk, maar ontstaat er ook zonder maatregelen geen onacceptabel woon- en leefklimaat.
2. Maatregelen aan het spoor of de treinen zijn in het kader van dit onderzoek niet nader beschouwd. Deze vallen buiten de planologische grenzen van het onderzoeksgebied en zijn doorgaans zeer kostbaar.
3. Maatregelen in de bodem (zoals trillingsschermen) hebben zeer hoge kosten (€ 250.000 per woning), en zijn daarom niet doelmatig.
4. Met maatregelen aan de bebouwing kan in alle bouwblokken worden voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn deel B. De meest kosteneffectieve maatregel is het vervangen van de huidige kanaalplaatvloer op de verdiepingen door de meer dempende breedplaatvloer in de 11 woningen dichtbij het spoor.

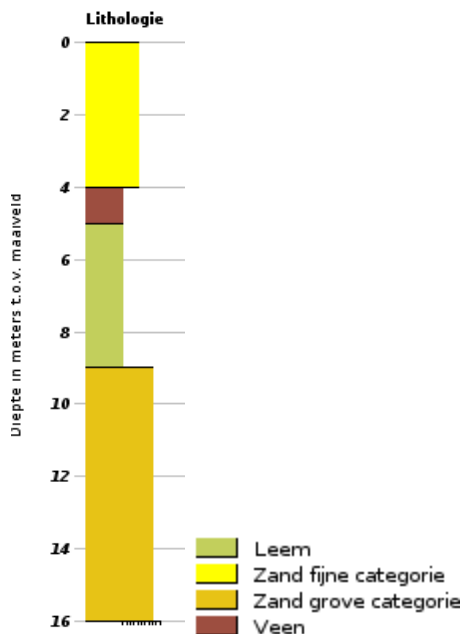
Met het toepassen van een breedplaatvloer als verdiepingsvloer in de 11 woningen dichtbij het spoor, kan in het hele plangebied worden voldaan aan de streefwaarden uit de SBR-richtlijn deel B. Wij adviseren om de constructeur te laten onderzoeken of deze maatregel inpasbaar is in het ontwerp.

Tenslotte, er is gemeten in een droge en relatief warme periode. De ervaring leert dat de trillingen daardoor tot 20 procent hoger kunnen zijn dan in een klimatologisch als normaal te duiden periode. Verder zijn de maximaal optredende trillingen in de gebouwen minder dan 10 procent hoger dan de streefwaarden, en treden deze hoge trillingen slechts 1 tot 2 keer per week op. Op basis van deze nuance bij de resultaten kan, wanneer aanpassingen aan het ontwerp niet (meer) mogelijk zijn, op basis van een motivatie van het beperkte aantal overschrijdingen, de hoge kosten van effectieve maatregelen en het niet inpasbaar zijn van bouwkundige aanpassingen, worden gekozen voor het niet treffen van maatregelen. In het kader van bijlage 5 van de SBR-richtlijn deel B ontstaat daarmee, mits goed gemotiveerd, geen onacceptabele situatie.

I. Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek

Deze bijlage bevat geotechnische achtergrondinformatie. Deze informatie is gebruikt om bijvoorbeeld de uitdemping van de trillingen met de afstand te bepalen. Daarnaast is deze informatie gebruikt in het rekenmodel Buildyn waarmee de dynamische eigenschappen van de gebouwen worden bepaald.

Een boring in het onderzoeksgebied (nr. B34F0410) is weergegeven in Figuur 8. Hier is te zien dat de bodem is opgebouwd uit zand- en leemlagen met verschillende structuren. Dat betekent dat de trillingen slecht uitdempen met de afstand.



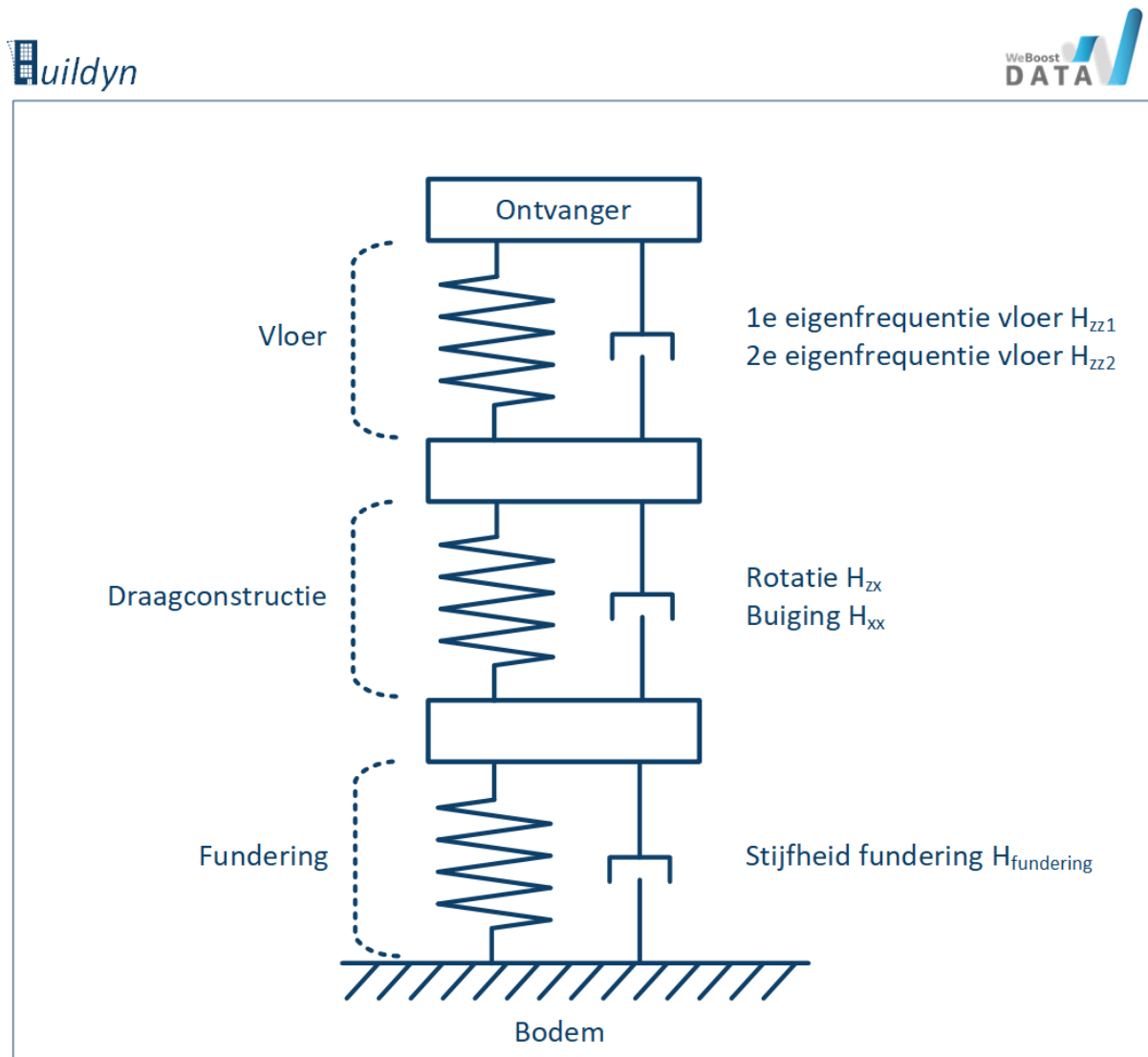
Figuur 8 Boring nabij het onderzoeksgebied, B34F0410

Mos Grondmechanica heeft sonderingen uitgevoerd in het plangebied (*Grondonderzoek en funderingsadvies voor de bouw van 30 woningen in de Laares te ENSCHEDE*, beschikbaar onder nummer R1900305-03 van 2 mei 2019). Uit dit grondonderzoek volgt dat Er is vrij veel variatie in de opbouw van de bodem (leem- en zandlagen, maar positie en eigenschappen wisselen lokaal sterk).

II. Bijlage Rekenmodel Buildyn

In dit rapport is gebruik gemaakt van het door We-Boost Data ontwikkelde rekenmodel Buildyn om de trillingen in de geplande bebouwing te berekenen. Buildyn is een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin het gebouw gemodelleerd en doorgerekend wordt. De resultaten van het model zijn geïkt met praktijkresultaten uit ruim 200 metingen in gebouwen. Dit model bestaat uit een aantal modules, deze worden in deze bijlage kort toegelicht.

In Buildyn wordt een gebouw gemodelleerd door middel van gekoppelde massa-veersystemen, zie Figuur 9. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 9, worden in deze bijlage nader toegelicht.



Figuur 9 Principe van Buildyn met een gebouw als gekoppeld massaveersysteem. Rechts de verschillende componenten van het rekenmodel

Fundering

De fundering van een gebouw kan de trillingen uitdempen. De invloed van de fundering op de trillingen is afhankelijk van een aantal parameters:

- Type fundering (op staal, op palen, oude strokenfundering)
- Afmetingen en gewicht van het gebouw
- Bodem waarop het gebouw staat

Met name boven de 10 Hz kunnen trillingen worden uitgedempt door de fundering.

In Buildyn wordt de invloed van de stijfheid van het gebouw als geheel (de zogenaamde rigid-body-mode) verdisconteerd in de stijfheid van de fundering. Overige stijfheidseffecten worden meegenomen in de draagconstructie

Draagconstructie

De trillingen worden door de draagconstructie vaak versterkt. Hierbij zijn meerdere effecten te onderscheiden, waarbij met name rotatie van het gebouw als geheel (op de ondergrond) en doorbuiging een rol spelen.

Het principe van rotatie is rechts weergegeven. Verticale trillingsgolven zorgen voor rotatie van het gebouw, waardoor met name in hogere gebouwen horizontale trillingen ontstaan.

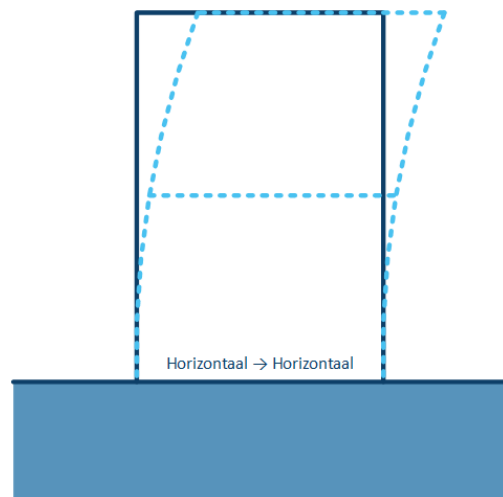
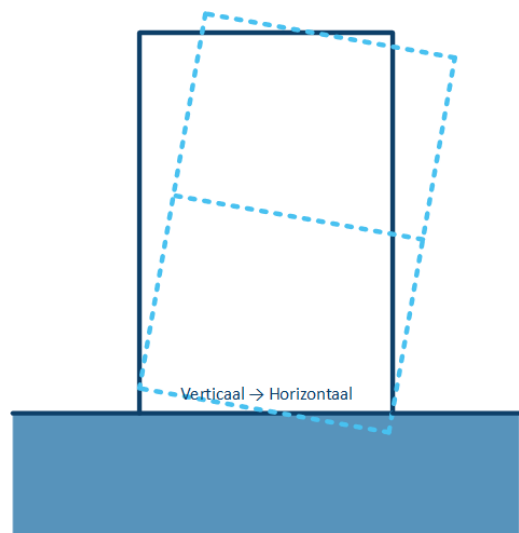
Dit effect wordt in Buildyn weergegeven als H_{zx} , en is afhankelijk van:

- Afmetingen van het gebouw (breedte, lengte, hoogte)
- Gewicht van het gebouw
- Type en gewicht van de fundering
- Stijfheid van de ondergrond

Het tweede principe, dat van doorbuiging van het gebouw, is rechts weergegeven. Hierbij zijn met name de horizontale trillingsgolven maatgevend, die bij slappere gebouwen zorgen voor doorbuiging van het gebouw, en daarmee voor horizontale trillingen hoger in het gebouw.

Dit effect wordt in Buildyn weergegeven als H_{xx} , en is afhankelijk van:

- Afmetingen van het gebouw (breedte, lengte, hoogte)
- Constructietype (stijfheid, starheid van verbindingen, open ruimtes)



- Gebruikte materialen

Vloeren

Trillingen worden doorgaans als maatgevend ervaren in het midden van de vloeren, waar de doorbuiging het grootst is en de laagste eigenfrequentie optreedt. In specifieke gevallen, met name op stijve zandgronden en bij hoge trillingsfrequenties, kan ook de zogenaamde tweede buigmodus van een vloer een rol spelen. In Buildyn worden daarom beide effecten gemodelleerd.

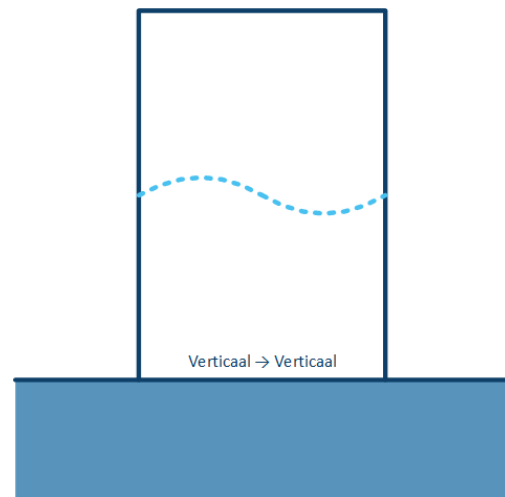
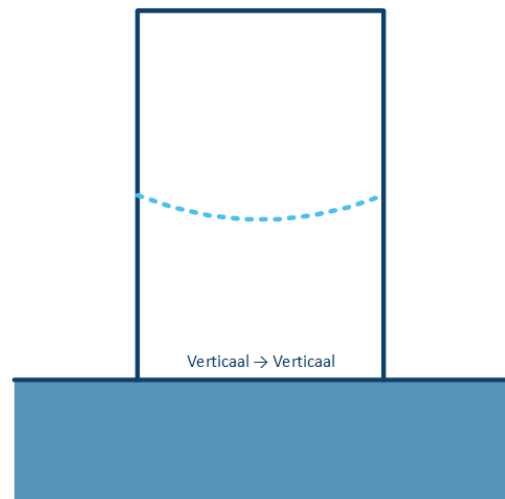
De eerste buigmodus van de vloer (bij de eerste eigenfrequentie) is simpele doorbuiging, zoals weergegeven in de principeschets rechts. Met name de eigenfrequentie (de frequentie waarvoor de vloer gevoelig is) en de demping bepalen in hoeverre de trillingen worden opgeslingerd. De trillingen zijn het hoogst in het midden van de vloer.

Dit effect wordt in Buildyn weergegeven als H_{zz1} , en is afhankelijk van:

- Type vloer (doorsnede, materiaal, en bij beton: gescheurd of ongescheurd)
- Afmetingen van de vloer
- Type oplegging

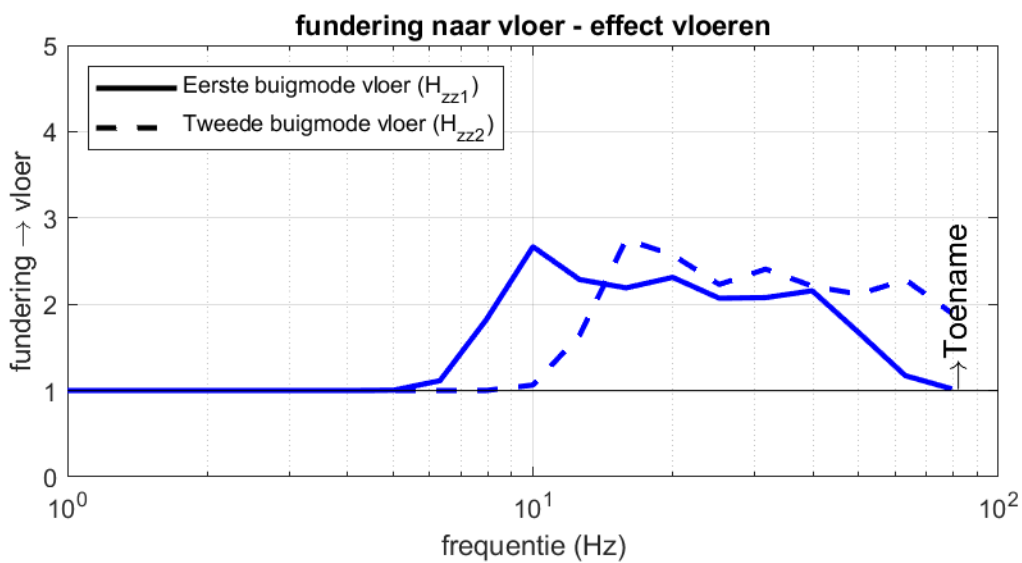
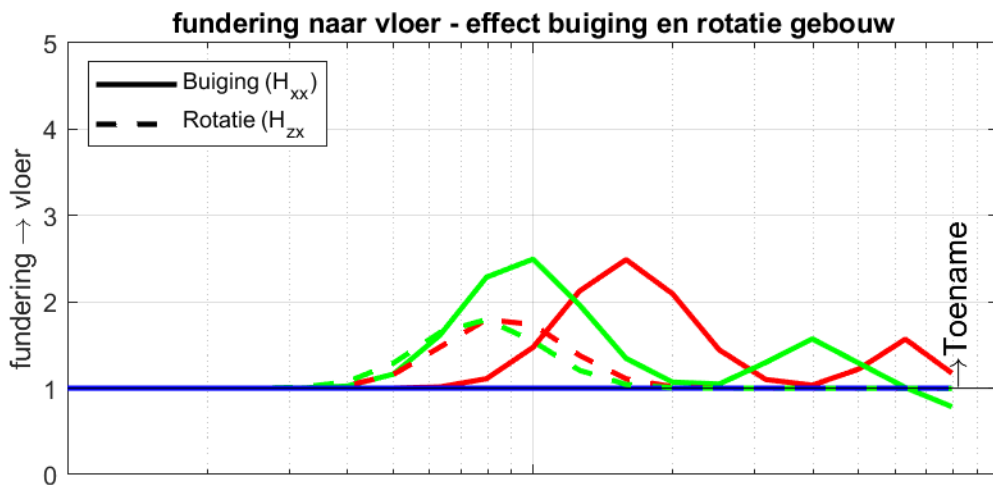
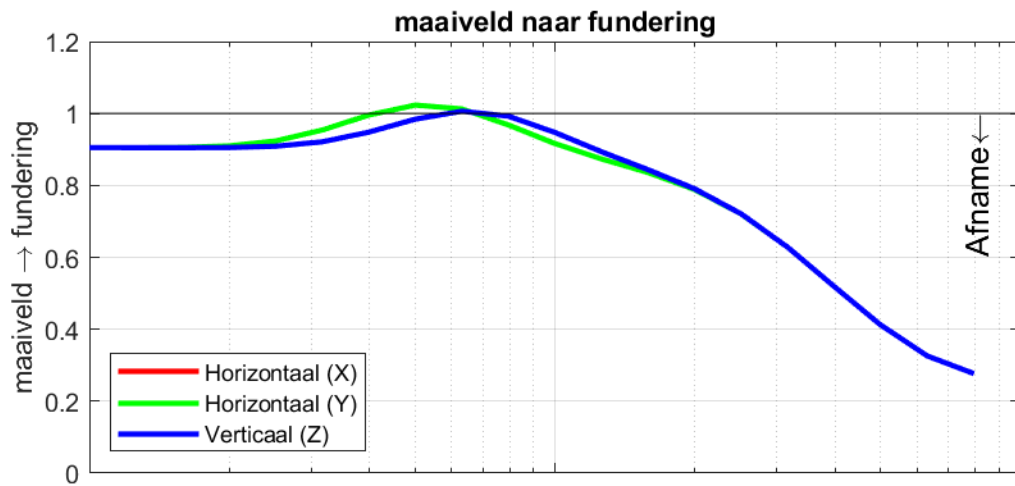
Bij de tweede buigmodus van de vloer (bij de tweede eigenfrequentie) zijn de trillingen maximaal op ongeveer $\frac{1}{4}$ van het vloerveld, zie de principeschets rechts.

Dit effect wordt in Buildyn weergegeven als H_{zz2} , en is afhankelijk van dezelfde parameters als H_{zz1} .

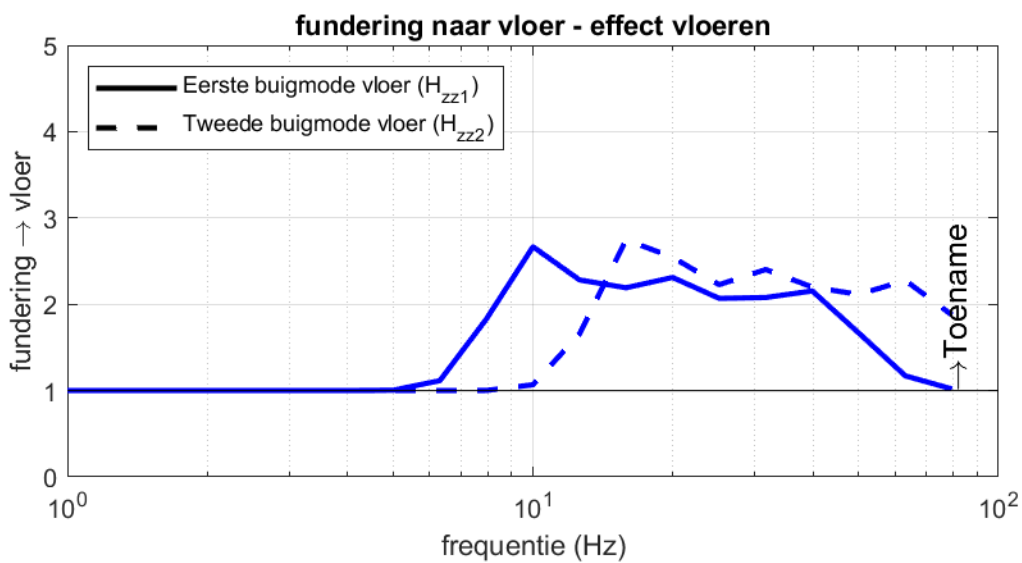
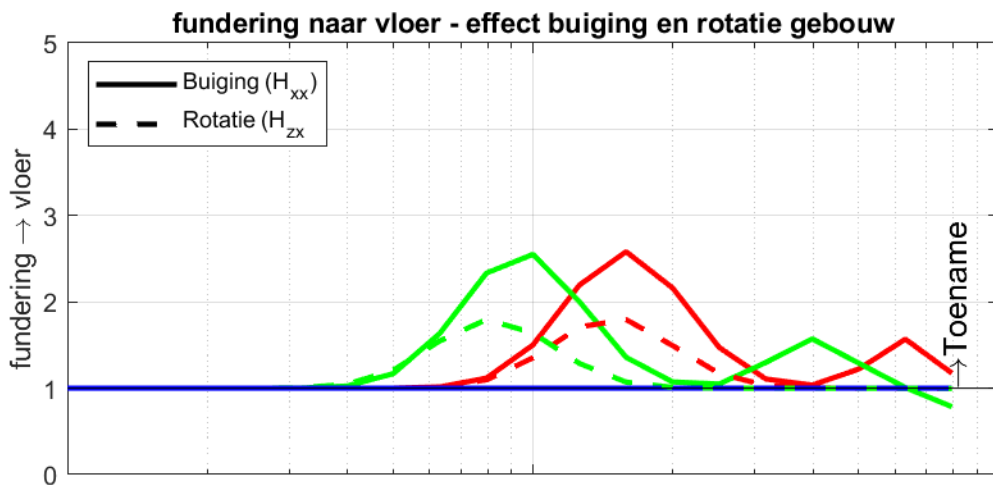
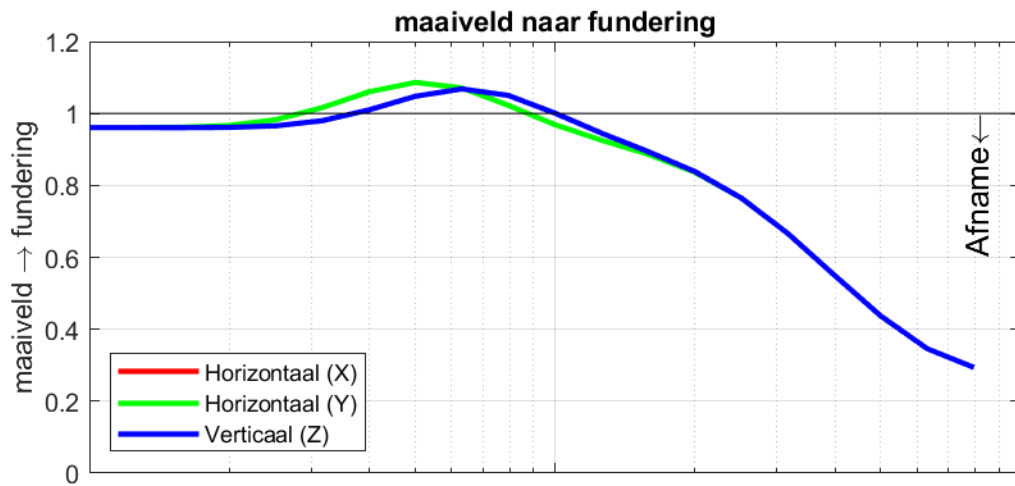


Resultaten

De resultaten uit de Buildyn-berekeningen voor twee representatieve bouwblokken (blok 1 is representatief voor bouwblokken I, S en L, blok 4 voor bouwblokken V) zijn weergegeven in Figuur 10 (blok 1) en Figuur 11 (blok 4).



Figuur 10 Buildyn-resultaten voor bouwblok 1 (representatief voor bouwblokken I, S en L)



Figuur 11 Buildyn-resultaten voor bouwblok 4 (representatief voor bouwblokken V)