

WEEBOOST



TRILLINGSONDERZOEK T.B.V. HERINRICHTING

KLOOSTERWEG BURGH-HAAMSTEDE

COLOFON

Auteur	Marjolein Hordijk marjolein@we-boost.nl
Controle en vrijgave	Pieter Boon pieter@we-boost.nl +31 6 10 03 94 54
Projectcode	WBD2023-050
Versienr	2.0
Datum	20 november 2023
Status	Definitief
Opdrachtgever	Juust



Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van metingen van



© We-Boost 2023

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van We-Boost.



DE KERN VAN DIT RAPPORT

De Kloosterweg in Burgh-Haamstede wordt aangepast. Onderdeel van deze herinrichting is het aanbrengen van nieuwe verharding en het aanbrengen van plateaus om de snelheid van het verkeer binnen de bebouwde kom terug te brengen naar 30 km/h. Op deze weg rijdt ook (zwaar) wegverkeer, zoals vrachtwagens en tractoren, waardoor trillingen een aandachtspunt zijn. Hoewel er geen wettelijke verplichting is om bij herinrichting van wegen trillingsonderzoek te doen, laat de gemeente Schouwen-Duiveland in dit geval onderzoek doen om te bezien wat de gevolgen zijn van de herinrichting voor de omwonenden van de Kloosterweg. Hierna wordt bezien of maatregelen nodig zijn om hinder te voorkomen.

Doel van het voorliggende onderzoek is om vast te stellen of de trillingen voldoen aan de streefwaarden uit het beoordelingskader voor trillingshinder, de SBR B-richtlijn (zie hoofdstuk 3 voor een toelichting op deze richtlijn). In het geval van overschrijdingen van die streefwaarden geven we aan hoe de trillingshinder voor omwonenden kan worden geminimaliseerd door optimalisaties in het ontwerp. In dit onderzoek wordt dit gedaan door middel van een combinatie van metingen en modelberekeningen.

CONCLUSIES

De belangrijkste conclusie van het onderzoek is dat er wordt voldaan aan de streefwaarden voor trillingshinder, mits sprake is van een goede (vlakke) wegligging en de taluds van de plateaus worden uitgevoerd in een 8 cm hoge sinusvorm (conform CROW 344-advies voor drempels en plateaus dichtbij bebouwing).

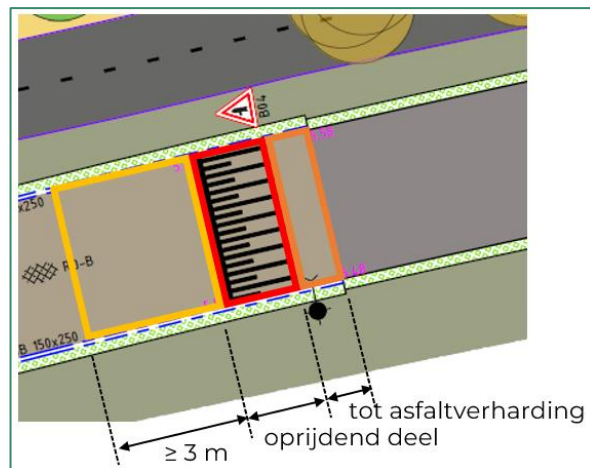
Wel geldt op 4 locaties (bij 7 adressen, locaties dichtbij plateaus) dat er overschrijdingen van het beoordelingskader kunnen optreden als de klinkerverharding na verloop van tijd degradeert (d.w.z. lokale verzakkingen van het wegdek). De trillingen in gebouwen met een woonfunctie blijven ook dan nog beperkt, tot maximaal een trillingssterkte V_{max} van 0,3, maar dat is hoger dan de streefwaarden én hoger dan de huidige trillingen. Het gaat om de volgende locaties:

1. Plateau bij de Maireweg (4 adressen)
2. Plateau bij het Groenewoudswegje (1 adres)
3. Plateau bij de Westerenbanweg (1 adres)
4. Plateau bij de Vroonweg (1 adres)

AANBEVELINGEN

Op basis van dit onderzoek geven we de volgende aanbevelingen om de trillingen voor omwonenden te minimaliseren:

1. Zorg voor een **stabiele wegfundering** onder en rond de taluds, om een blijvend vlakke wegligging te garanderen. Voor in de bestrating mee geklinkerde plateaus is het verstandig om de ondergrond (onder de taluds en 3 meter voor en na in rijrichting, of tot aan aansluiting met asfaltverharding) licht te stabiliseren (10 tot 12 cm dik, 40 tot 50 kg cement per m³ zand) alvorens de klinkerverharding aan te brengen, zie de figuur hiernaast. Hiermee wordt degradatie van de weg voorkomen, en daarmee ook hogere trillingen.



2. Besteed op risicolocaties (bij taluds en waar woningen dichtbij klinkerplateaus liggen) aandacht aan een blijvend vlakke wegligging. **Intensiever onderhoud** kan hier nodig zijn.

Tenslotte, in het algemeen kan gesteld worden dat trillingen bij asfaltverharding lager zijn dan bij klinkerverharding. Maar de door de gemeente beoogde klinkerverharding (keiformaat) is wel de beste optie en een beter formaat dan kleinere klinkers (zoals waalformaat).

Stille klinkers zorgen niet voor significant lagere trillingen. Weliswaar nemen de trillingen bij hoge frequenties wat af door de kleinere vellingkanten, maar die frequenties zijn niet maatgevend in de woningen. Bovendien zijn de trillingen vooral hoog rond de op- en afrijdende delen van de plateaus, waar de verharding geen significante invloed heeft.

Prefab plateaus hebben doorgaans een wat hogere vormvastheid, maar ook hier geldt dat de overgang met de gewone klinkerbestrating dan een aandachtspunt is, omdat deze gevoelig is voor lokale verzakkingen.

INHOUDSOPGAVE

I.	INLEIDING	7
1.1.	Aanleiding	7
1.2.	Doel	7
1.3.	Leeswijzer	7
2.	SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN	9
2.1.	Situatie	9
2.2.	Uitgangspunten	9
3.	BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE	12
3.1.	Trillingen en wetgeving	12
3.2.	Beoordelingskader trillingshinder	12
3.3.	Rekenmethode	13
4.	VERWACHTE TRILLINGEN	16
4.1.	Meetresultaten	16
4.2.	Trillingen in huidige situatie	18
4.3.	Trillingen in toekomstige situatie	18
4.4.	Optimalisaties in het ontwerp	21
4.5.	Onzekerheden in het onderzoek	21
I.	GRONDONDERZOEK	23
II.	REKENMODEL	25
III.	METINGEN	29
III.1	Gegevens metingen	29
III.2	Resultaten metingen	30

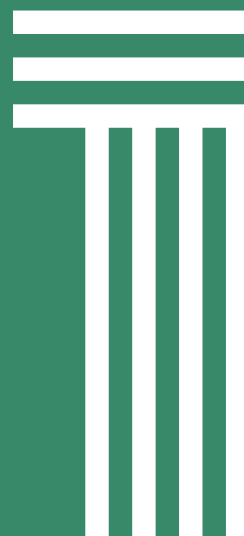




INLEIDING



In dit hoofdstuk geven we een korte omschrijving van de inhoud van dit onderzoek: de aanleiding, het doel van het onderzoek en een beknopte leeswijzer om informatie snel te kunnen vinden.



INLEIDING

1.1. AANLEIDING

De Kloosterweg in Burgh-Haamstede wordt aangepast. Onderdeel van deze herinrichting is het aanbrengen van nieuwe verharding en het aanbrengen van plateaus om de snelheid van het verkeer binnen de bebouwde kom terug te brengen naar 30 km/h. Op deze weg rijdt ook (zwaar) wegverkeer, zoals vrachtwagens en tractoren, waardoor trillingen een aandachtspunt zijn. Het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Onderzoeksgebied

1.2. DOEL

Dit onderzoek heeft als doel om te onderzoeken of er door de herinrichting sprake zal zijn van een toename van de trillingen in omliggende woningen.

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. Vervolgens berekenen we de trillingen in de omliggende woningen, en vergelijken die met het beoordelingskader en de trillingen in de huidige situatie. We doen dat op basis van de gemeten trillingen en de eigenschappen van de gebouwen. Het resultaat van deze stap wordt in hoofdstuk 4 beschreven. De bijlages bevatten technische informatie van het onderzoek, zoals een toelichting op de rekenmethodiek en grondonderzoek van nabijgelegen locaties.



SITUATIEBESCHRIJVING



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



SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN

2.1. SITUATIE

De Kloosterweg is nu grotendeels een 50 km-weg, en wordt ingericht als 30 km-weg, met uitzondering van het gedeelte buiten de bebouwde kom (tussen de Maireweg en de Badweg). Hier komt een 60 km-gedeelte. Om de lagere rijsnelheid van het verkeer af te dwingen wordt de weg heringericht, waarbij klinkerplateaus worden geplaatst op de kruisingen met zijwegen en op een aantal andere plaatsen.

Ten opzichte van de huidige situatie wijzigen de volgende onderdelen, zie Tabel 1.

Tabel 1 Onderdelen die veranderen in het gebied als gevolg van de herinrichting

Aspect	Huidig	Toekomst
Wegverharding	Asfalt, alleen kruising met Badweg en Vertonsweg hebben betonklinkers keiformaat.	Asfalt, betonklinkers keiformaat bij kruisingen en op plateaus
Obstakels	- Badweg: prefab taluds bij klinkerplateau - Kloosterweg tussen Badweg en Maireweg: sinusvormig plateau in asfalt - Vertonsweg: prefab taluds bij klinkerplateau - Kloosterweg bij Vroonweg: drempel in klinkers - Kloosterweg bij Kloostertuin: sinusvormig plateau in asfalt	Bij kruisingen plateaus in klinkers, 8 cm hoge sinusvormige taluds, taludlengte minimaal 1,00 m conform CROW 344-advies.
Rijsnelheid	50 km/h binnen bebouwde kom	30 km/h binnen bebouwde kom

De belangrijkste wijzigingen zijn een verlaging van de rijsnelheid, de wegconstructie (verharding) en types en locaties van drempels en plateaus. De afstand tussen de weg en de gebouwen wijzigt nauwelijks, net zo min als het verkeersaanbod (vooral personenauto's en vrachtverkeer, af en toe agrarisch verkeer).

2.2. UITGANGSPUNTEN

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een aantal uitgangspunten, deze worden in de volgende subparagrafen beschreven.

2.2.1. GEGEVENS VAN DE TRILLINGSBRON

In dit onderzoek is gefocust op vrachtverkeer en ander zwaar wegverkeer, personenauto's zorgen namelijk voor veel lagere trillingen. Ook uit de metingen blijkt dat dit zware wegverkeer maatgevend is. De trillingen zijn gemeten op verschillende locaties, bij een bestaande klinkerdrempel, klinkerverharding en asfaltverharding. De metingen zijn uitgevoerd op 7 november 2023, op 5 punten in het plangebied, zie Figuur 2, zie ook Bijlage III. Deze locatie is geselecteerd omdat er op korte afstand van elkaar zowel een doorgaande asfaltweg, klinkerverharding als een drempel ligt. Doel van de metingen was zowel het vastleggen van de



huidige situatie, als de invloed van diverse types verharding en taluds vastleggen. De metingen zijn uitgevoerd gedurende 4 uur, om voldoende passages van zwaar vrachtverkeer vast te leggen.



Figuur 2 Meetpunten

De invloed van verschillende types wegconstructies is bepaald uit eerdere metingen en op basis van modelberekeningen en literatuurgegevens.

2.2.2. GEGEVENS ONDERGROND

Voor gegevens van de ondergrond is gebruik gemaakt van beschikbare boringen en sonderingen uit Dinoloket in de omgeving van het plangebied (zie Bijlage I). Deze gegevens zijn gebruikt om de bodemopbouw te modelleren. De bodemopbouw heeft invloed op hoe de trillingen uitdempnen met de afstand, en op hoe de gebouwen reageren op trillingen. De uitdemping van de trillingen met de afstand is ook vastgesteld met behulp van de metingen in het plangebied.

2.2.3. GEGEVENS BEBOUWING

Voor de eigenschappen van de bebouwing is gebruik gemaakt van openbare gegevens: BAG3D voor gebouwafmetingen, gebouwfuncties en bouwjaren en de BRO voor de opbouw van de ondergrond om de funderingseigenschappen te bepalen. Voor alle woningen van voor 1970 is uitgegaan van woningen met houten vloeren, daarna van betonnen vloeren. Verder is nog relevant dat, in lijn met de Omgevingswet, woonwagens en woningen voor tijdelijk verblijf (zoals vakantiewoningen) niet zijn beschouwd, omdat deze niet als trillingsgevoelig worden gezien (Bkl art. 5.80 lid 3). Langs de Kloosterweg is op een aantal locaties wel sprake van dit soort gebouwen.



BEOORDELINGSKADER



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



BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE

3.1. TRILLINGEN EN WETGEVING

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 o.b.v. de Wet Ruimtelijke Ordening (Wro) kan worden verzocht om trillingen mee te nemen bij bijvoorbeeld de wijziging van bestemmingsplannen waar trillingen een rol kunnen spelen. In het voorliggende onderzoek gaat het om een situatie waar de wegconstructie wijzigt. Er is geen wettelijke verplichting om in dat soort gevallen trillingsonderzoek te doen, ook in de Omgevingswet (die per 1 januari 2024 van kracht wordt), komt die verplichting er niet voor wegverkeer.

De gemeente Schouwen-Duiveland laat in dit geval onderzoek doen om te bezien wat de gevolgen zijn van de herinrichting voor de omwonenden van de Kloosterweg. Hierna wordt bezien of maatregelen nodig zijn om hinder te voorkomen.

3.2. BEOORDELINGSKADER TRILLINGSHINDER

Op basis van jurisprudentie wordt al enkele decennia gebruik gemaakt van de SBR-richtlijn om trillingen in gebouwen te beoordelen.

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 tot de weg is dermate groot dat er geen schade aan de gebouwen zal ontstaan, en verstoring van gevoelige apparatuur als gevolg van de herinrichting is ook niet aan de orde.

In de 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 het voertuig dat gedurende de meetperiode de hoogste trillingen veroorzaakt) als het tijdsgemiddelde van de trillingen (gemiddelde trillingssterkte V_{per} , deze grootheid is in tegenstelling tot V_{max} dus ook afhankelijk van het aantal voertuigen).
2. De richtlijn maakt in de beoordeling onderscheid tussen verschillende situaties, en toetst daarbij strenger in:
 - a. Nieuwbouwsituaties (nieuwe gebouwen, nieuwe weg). 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. Bij gewijzigde situaties is al sprake van trillingen, maar is sprake van wijziging van de trillingsniveaus door bijvoorbeeld een nieuwe wegconstructie (zoals in het voorliggende onderzoek).
 - b. Gebouwen met een overnachtingsfunctie (woningen, ziekenhuizen). De meeste hinder wordt vaak in rust ervaren. Bij gebouwen met een niet-overnachtingsfunctie (kantoren, scholen, bijeenkomsten) gelden minder strenge streefwaarden. Winkels, sport- en industriepanden vallen buiten de richtlijn. In dit plan gaat het om gebouwen met verschillende functies.

- 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. Het zware verkeer passeert ook in de nachtperiode (23:00 – 7:00 uur), daarom zijn deze streefwaarden gehanteerd in de beoordeling.

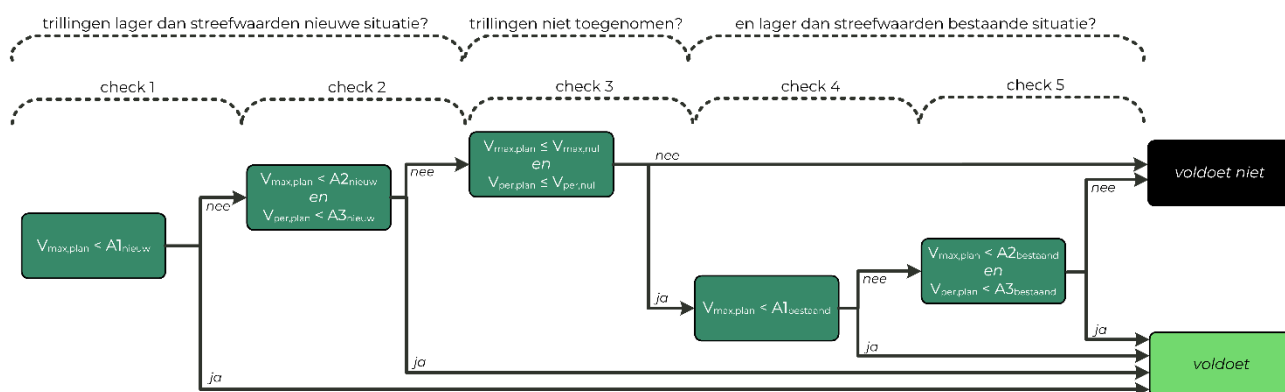
Bij een gewijzigde situatie, zoals bij deze herinrichting, werkt de toetsing als volgt (zie ook Figuur 3):

1. Eerst wordt gekeken of de trillingen in de plansituatie, dus na realisatie van het project, voldoen aan de (strengere) streefwaarden voor een nieuwe situatie. Als dat zo is, wordt voldaan aan het beoordelingskader.
2. Als daar niet aan wordt voldaan, is er nog een tweede mogelijkheid om te voldoen, namelijk wanneer de trillingen niet zijn toegenomen, **en** de trillingen tegelijkertijd voldoen aan de (soepeler) streefwaarden voor een bestaande situatie.

Een gebouw kan op twee manieren voldoen aan de streefwaarden: de trillingssterkte V_{max} moet lager zijn dan de onderste streefwaarde A1 (zie Tabel 3), óf V_{max} moet lager zijn 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 2 Streefwaarden in de SBR-richtlijn deel B voor gebouwen met bestemming wonen, gezondheidszorg, kantoor, bijeenkomsten en onderwijs

		Dag en avond			Nacht		
Functie	Situatie	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Wonen of gezondheidszorg	Nieuw	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
Wonen of gezondheidszorg	Bestaand	0.2	0.8	0.10	0.2	0.4	0.10
Onderwijs, kantoor of bijeenkomsten	Nieuw	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
Onderwijs, kantoor of bijeenkomsten	Bestaand	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15



Figuur 3 Schema beoordeling SBR B-richtlijn bij gewijzigde situaties

3.3. REKENMETHODE

In de SBR-richtlijn deel B worden de trillingen beoordeeld op de vloeren van gebouwen. Binnen dit project zijn metingen op maaiveld uitgevoerd, er zijn geen metingen in gebouwen uitgevoerd. Om de trillingen in gebouwen te berekenen, maken we gebruik van een rekenmodel.

De trillingen zijn afhankelijk van de constructieve eigenschappen van de geplande bebouwing, maar ook van de bodem, de afstand tot de weg, wegconstructie, taluds en putten 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.

3.3.1. TRILLINGEN – VAN TRILLINGSBRON NAAR GEBOUW

Trillingen ontstaan doordat een bewegend object (een trein, tram, bus 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.

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

3.3.2. DE TRILLINGSBRON

In dit onderzoek is zwaar wegverkeer de bron van de trillingen. De trillingen van dit verkeer zijn gemeten door Alcedo op meerdere punten op maaiveld in het onderzoeksgebied, zie paragraaf 2.2.1 en Bijlage III. De beoordeling van de trillingen in de geplande bebouwing heeft plaatsgevonden op basis van deze metingen.

3.3.3. DE BODEM

De bodem in het onderzoeksgebied bestaat vooral uit zandlagen, zie bijlage I. Verder bij de kust vandaan komen ook meer kleiachtige lagen voor. De uitdemping van de trillingen met de afstand is bepaald met een rekenmodel op basis van deze bodemopbouw, en gekalibreerd met de praktijkmetingen voor een zo betrouwbaar mogelijke predictie van de trillingen.

3.3.4. 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 de gebruikte materialen van de gebouwen. Hiervoor maken we gebruik van het rekenmodel Buildyn, een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin het gebouw gemodelleerd en doorgerekend wordt. De resultaten van dit model zijn geijkt met praktijkresultaten uit meer dan 600 metingen. Een toelichting op het rekenmodel Buildyn is gegeven in bijlage II.





TRILLINGEN IN GEBOUWEN



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

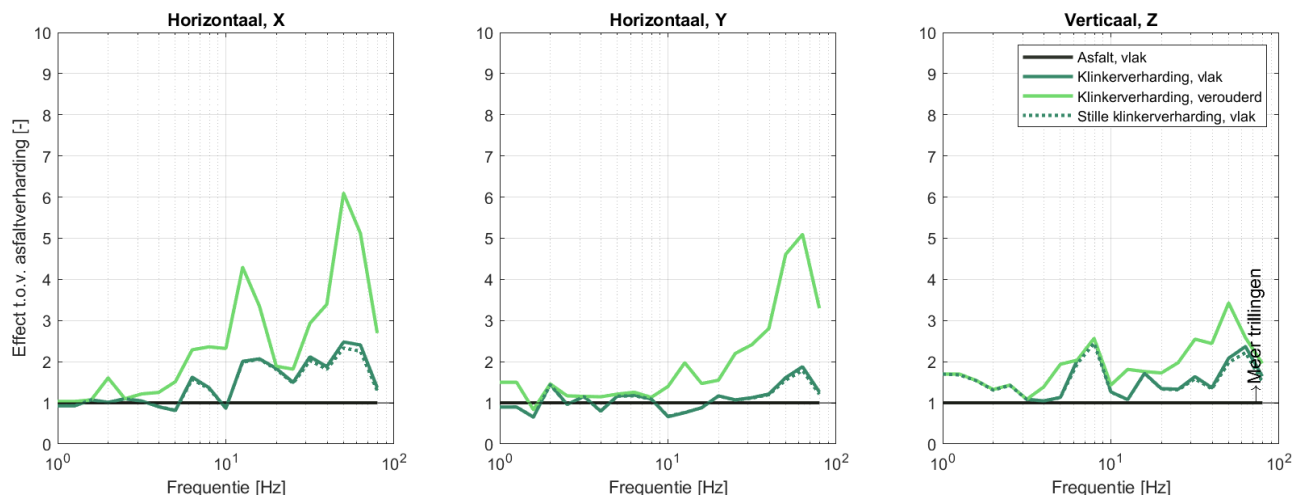


VERWACHTE TRILLINGEN

4.1. MEETRESULTATEN

Alcedo heeft metingen uitgevoerd op maaiveld. De trillingen op de verschillende meetpunten hebben we weergegeven in bijlage III. Uit de metingen en eerdere onderzoeken zijn de volgende conclusies te trekken:

1. De **wegconstructie** heeft veel invloed op de trillingen, zie Figuur 4, waarin het frequentieafhankelijke effect van de wegconstructie is weergegeven:
 - a. Een vlakke asfaltverharding zorgt voor de laagste trillingen. Door degradatie over de tijd nemen de trillingen echter wel toe.
 - b. Een vlakke klinkerverharding zorgt voor ca. 1,5 keer hogere trillingen. Hierbij geldt dat er op basis van metingen weinig verschil is tussen verschillende types klinkers (gebakken of beton). Voor trillingen is vooral de vlakheid van de weg maatgevend, de vellingkanten, formaten en de vlakheid van de stenen hebben vooral bij hogere frequenties effect (denk aan geluid), deze trillingen worden door de fundering van een gebouw sterk gedempt. Er is modelmatig en op basis van literatuurgegevens gekeken naar de invloed van stille klinkers. Voor stille klinkers geldt dat deze vooral bij hogere frequenties zorgen voor iets lagere trillingen, maar deze trillingen dempen snel uit met de afstand en worden door de fundering van gebouwen niet goed doorgegeven. Het effect van stille klinkers is daardoor naar verwachting minimaal. Verder is met modellen gekeken naar de invloed van kleinere klinkerformaten. Algemeen geldt: hoe kleiner de klinker, hoe groter de kans op degradatie van het wegdek en afwijkingen in vlakheid. En dat zorgt voor meer trillingen.
 - c. Een verouderde, minder vlakke klinkerverharding zorgt voor ca. 2 keer hogere trillingen. Met name bij hogere trillingsfrequenties is hiervan effect zichtbaar.



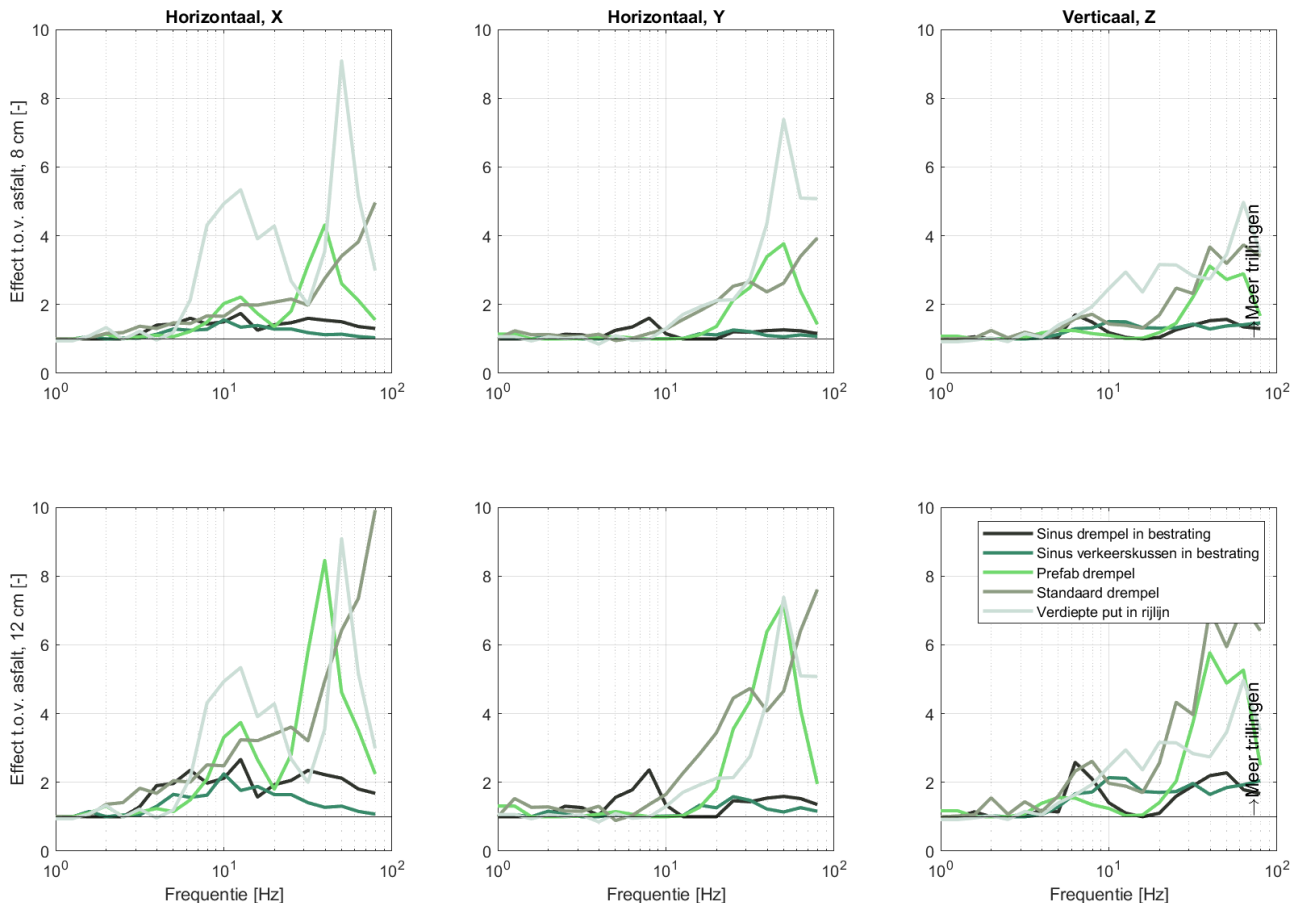
Figuur 4 Frequentie-afhankelijke invloed van type verharding, op basis van metingen en modellen

2. Het type **drempel/talud** en de geometrie heeft invloed op de trillingen, zie Figuur 5. Op basis van de metingen en modelberekeningen die in het kader van dit onderzoek zijn uitgevoerd, zijn de volgende conclusies te trekken:
 - a. Sinusvormige taluds zorgen voor aanzienlijk lagere trillingen dan standaard (trapeziumvormige) taluds.
 - b. Prefab taluds hebben vooral bij hogere frequenties meer invloed op de trillingen dan geasfalteerde of mee geklinkerde taluds. Door de prefab constructie is de overgang



van wegdek naar drempel vaak wat abrupter en ongelijkmatiger, vaak door lokale zettingen rond de overgangen.

- c. De trillingen nemen toe bij een hogere drempel (12 cm i.p.v. 8 cm), zeker als de hellingshoek van de drempel niet wordt aangepast.
- d. Verkeerskussens hebben bij de meeste frequenties de minste invloed op de trillingen. Dat is verklaarbaar omdat zwaar wegverkeer deze kussens vaak niet of minder raakt door de grotere wielafstand bij zwaar wegverkeer.



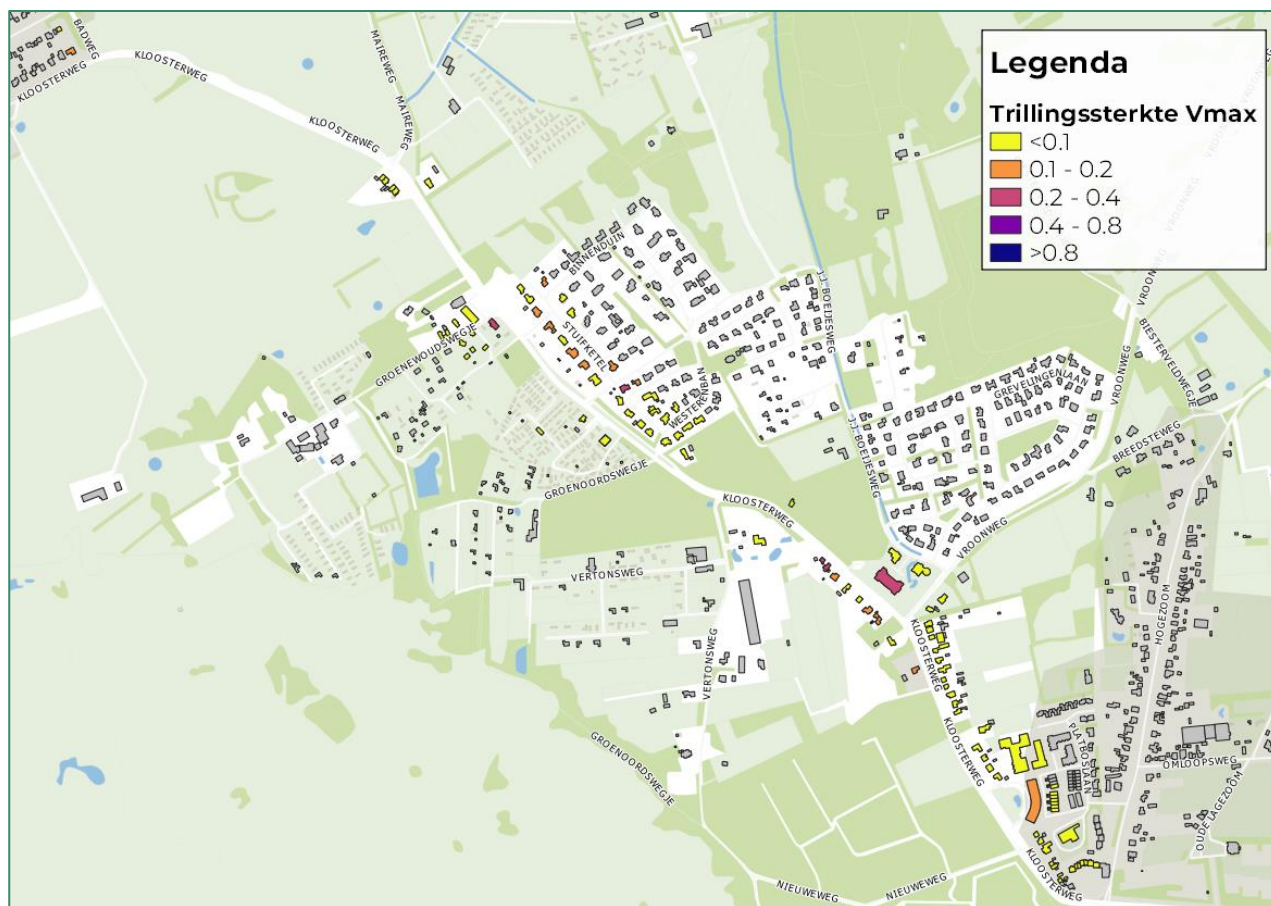
Figuur 5 Frequentie-afhankelijke invloed van taluds en drempels en verdiepte putdeksels op basis van metingen en modelberekeningen. Boven voor 8 cm hoge taluds, onder voor 12 cm hoge taluds

- 3. Verdiept liggende **putten** in de rijlijnen zorgen voor een forse toename van de trillingen, in lijn met een prefab talud van 12 cm hoog, en zelfs nog iets meer dan dat.
- 4. De trillingen van zwaar wegverkeer zijn op alle punten maatgevend, personenauto's zorgen voor lagere trillingen.

Met behulp van de metingen en het rekenmodel (zie vorige hoofdstuk en bijlage II) zijn de trillingen in de huidige en toekomstige situatie berekend. Deze resultaten zijn beschreven in de volgende paragrafen.

4.2. TRILLINGEN IN HUIDIGE SITUATIE

De bovengrens van de trillingssterkte V_{max} per gebouw in de huidige situatie is weergegeven in Figuur 6. Vooral in woningen dichtbij de weg, en bij plateaus, treden hogere trillingen op.



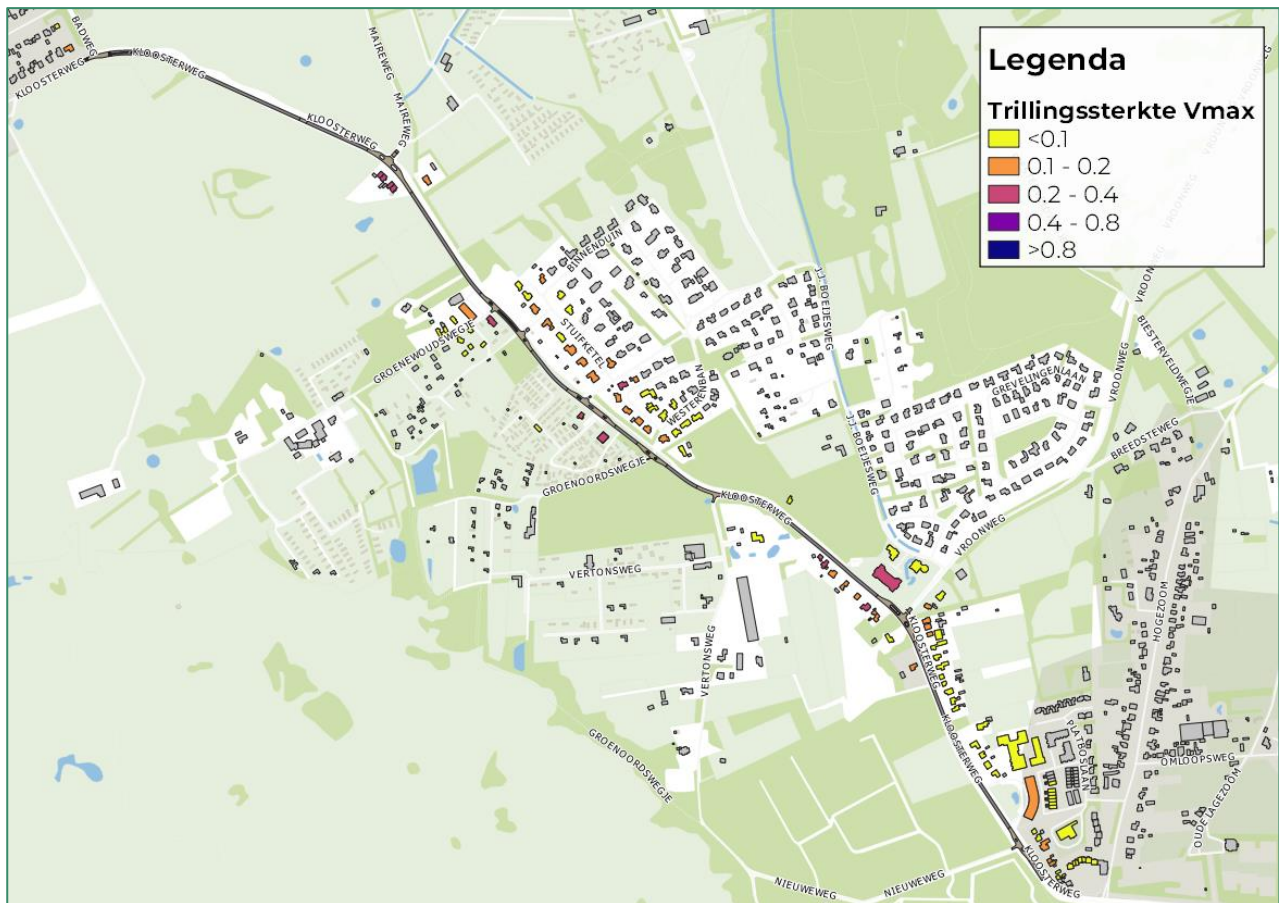
Figuur 6 Bovengrens van de trillingssterkte V_{max} in huidige situatie

4.3. TRILLINGEN IN TOEKOMSTIGE SITUATIE

De bovengrens van de trillingssterkte V_{max} per gebouw in de toekomstige situatie (conform het referentie-ontwerp) is weergegeven in Figuur 7. De hier weergegeven resultaten betreffen een bovengrens van de trillingen: omdat gebruik wordt gemaakt van klinkerverharding die zich na verloop van tijd kan zetten, zal met name rond plateaus sprake zijn van degradatie van het wegdek. Hierdoor nemen de trillingen toe. In een optimale situatie, met een nieuw wegdek en plateaus, zullen de trillingen lager zijn.

De trillingen nemen toe in woningen in de buurt van plateaus, en dan met name de taluds aan de voor- en achterzijde van de plateaus.

De gemiddelde trillingssterkte V_{per} is niet getoond, deze is overal lager dan de streefwaarde omdat er geen sprake is van intensief zwaar verkeer in het plangebied.



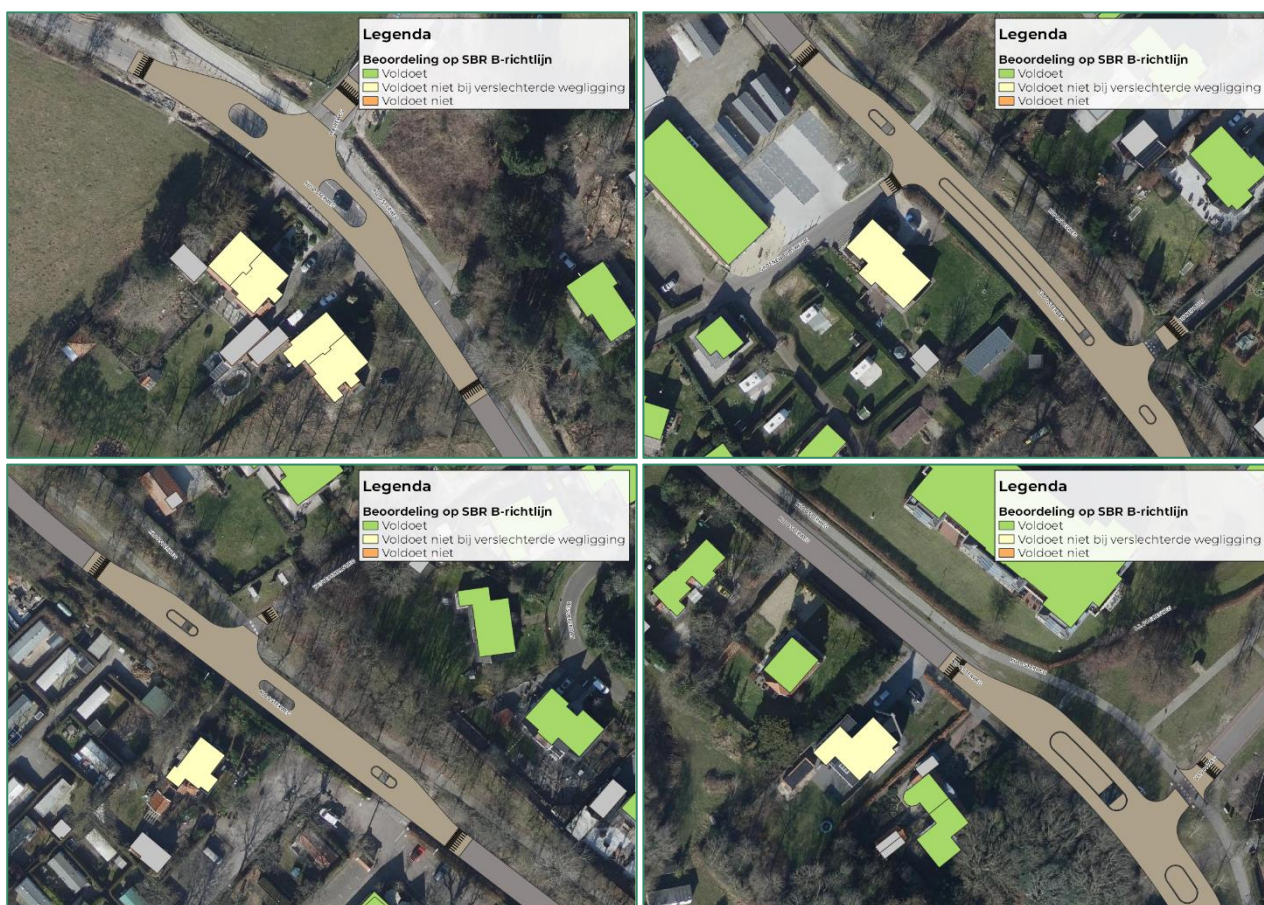
Figuur 7 Bovengrens van de trillingssterkte V_{max} in toekomstige situatie



Figuur 8 Beoordeling referentie-ontwerp op trillingen (gewijzigde situatie)

Vervolgens zijn de trillingen beoordeeld conform het beoordelingskader, zie paragraaf 3.2. De resultaten van deze beoordeling zijn weergegeven in Figuur 8. Hier is het volgende te zien:

1. Bij een nieuwe, vlakke wegligging met nieuwe plateaus verwachten we geen overschrijdingen van het beoordelingskader. Door de relatief flauwe helling van de in de bestrating meegeklinkerde taluds en de goede wegligging, in combinatie met de wat grotere afstand tot de weg, zullen de trillingen van het wegverkeer onder de streefwaarde uit de SBR B-richtlijn blijven, of anders niet toenemen ten opzichte van de huidige situatie.
2. Als er na verloop van tijd sprake is van degradatie van het wegdek (wat vooral bij taluds sneller kan optreden) kan bij sommige adressen sprake zijn van een toename van de trillingen en kunnen er overschrijdingen zijn van het beoordelingskader, de SBR B-richtlijn. Het gaat om de volgende 4 locaties (7 adressen), zie ook Figuur 9:



Figuur 9 Locaties met een overschrijding van de streefwaarden bij gedegradieerd wegdek. Linksboven plateau met Maireweg (oorzaak: klinkerverharding i.c.m. korte afstand tot weg), rechtsboven plateau met Groenewoudswegje (oorzaak: klinkerverharding en talud in Groenewoudswegje i.c.m. korte afstand tot weg), linksonder plateau met Westernenbanweg (oorzaak: klinkerverharding i.c.m. korte afstand tot weg) en rechtsonder plateau met Vroonweg (oorzaak: talud)

- a. 4 adressen bij de kruising met de Maireweg, waar de trillingen bij een gedegradieerde klinkerverharding toenemen tot boven de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn.
- b. 1 adres bij de kruising met het Groenewoudswegje. Hier zijn de trillingen in de huidige situatie naar verwachting al hoger dan de streefwaarde uit de SBR B-richtlijn, en nemen ze toe bij een slechtere klinkerverharding waardoor er niet langer wordt voldaan aan de SBR B-richtlijn.
- c. 1 adres bij de kruising met de Westernenbanweg, waar de trillingen bij een gedegradieerde klinkerverharding toenemen tot boven de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn.

- d. 1 adres bij het noordwestelijke talud in de Kloosterweg, kruising Vroonweg. Ook hier geldt dat de trillingen bij een gedegradeerde klinkerverharding toenemen tot boven de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn.

4.4. OPTIMALISATIES IN HET ONTWERP

In het referentie-ontwerp is sprake van gebakken klinkerverharding met 8 cm hoge taluds. We hebben enkele optimalisaties onderzocht die passen binnen het huidige referentie-ontwerp:

1. Toepassen van **stille klinkerverharding**. Dit heeft geen significant effect op de trillingen, omdat stille klinkerverharding vooral bij hoge frequenties zorgt voor lagere trillingen, en die frequenties zijn in de woningen niet maatgevend. Bovendien ontstaan vooral rond de taluds hogere trillingen ontstaan, hier heeft niet de verharding maar het type plateau invloed op de trillingen. Met stille klinkers is nog steeds sprake van 7 adressen met een overschrijding van de streefwaarden.
2. Toepassen van niet-sinusvormige taluds, bijv. **trapeziumvormige taluds van 8 cm** hoog, in plaats van in de bestrating uitgevoerde sinusvormige taluds. Standaard trapeziumvormige taluds leiden vaak tot iets hogere trillingen omdat de overgang van wegdek naar plateau wat minder geleidelijk verloopt. In deze situatie is sprake van meer adressen met een overschrijding.
3. Toepassen van **ander formaat klinkerverharding**. Kleinere formaten zoals dik- of waalformaat zorgen vaak voor hogere trillingen omdat de ligging van de weg minder stabiel blijft. Hierdoor ontstaan er bij een kleiner klinkerformaat meer overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder.

Op basis van bovenstaande analyse is duidelijk dat eventuele optimalisaties niet zozeer zitten in het referentie-ontwerp, maar dienen te worden gezocht in het garanderen van een blijvend goede wegligging of onderhoud na aanleg, zeker op locaties waar woningen dichtbij de klinkerplateaus liggen, bij taluds of bij de overgang van de klinkerplateaus naar asfalt.

4.5. ONZEKERHEDEN IN HET ONDERZOEK

Dit onderzoek kent een aantal onzekerheden, hiervoor geldt het volgende:

- » Ten aanzien van de trillingsbron: de natuurlijke variatie als gevolg van de staat van het wegdek kan vooral bij klinkerverharding groot zijn, maar ook bij gedegraderd asfalt geldt dat de trillingen fors hoger kunnen zijn dan bij net aangebracht asfalt, hoewel degradatie doorgaans minder snel gaat. De trillingen in de huidige situatie zijn uitgebreid gemeten, en daarmee betrouwbaar vastgesteld. In het onderzoek is ook gekeken naar een verder gedegradeerde klinkerverharding. Dit zorgt voor hogere trillingen, er zijn dan overschrijdingen op 7 adressen, zie Figuur 8.
- » Ten aanzien van de bodem geldt dat met name op korte afstand van de weg variaties in de trillingen mogelijk zijn door lokale variaties in de bodem. Door op meerdere punten te meten is de invloed van deze variaties meegenomen in de berekeningen. De invloed van de onzekerheid in de bodem is daarmee meegenomen in de analyse, de impact op de resultaten is daardoor beperkt.
- » Ten aanzien van de gebouwen geldt dat er altijd verschillen zijn tussen woningen onderling, onder meer door verschillen in inrichting van de woningen. Bovendien zijn voor dit onderzoek de eigenschappen van de gebouwen ingeschat op basis van openbaar bekende kenmerken (zoals bouwjaar en afmetingen). Hierdoor kan het zijn dat voor specifieke gevallen sprake is van afwijkende eigenschappen, en dus afwijkend trillingsgedrag. In die gevallen kunnen de



trillingen zowel over- als onderschat worden. Het gebruikte model is uitvoerig in de praktijk getest, en kent daarmee een hoge betrouwbaarheid. In de berekeningen is gerekend met een verwachtingswaarde van de trillingen op basis van een aan de hand van praktijkmetingen geijkt rekenmodel. Hiermee worden zo representatief mogelijke resultaten verkregen voor de verschillende woningen. Omdat bovendien hetzelfde model is gebruikt voor zowel de huidige als de toekomstige situatie, is de invloed van onzekerheden in de modellering naar verwachting beperkt.

Bovenstaande onzekerheden hebben daarom geen significante invloed op de conclusies van dit onderzoek.



GRONDONDERZOEK

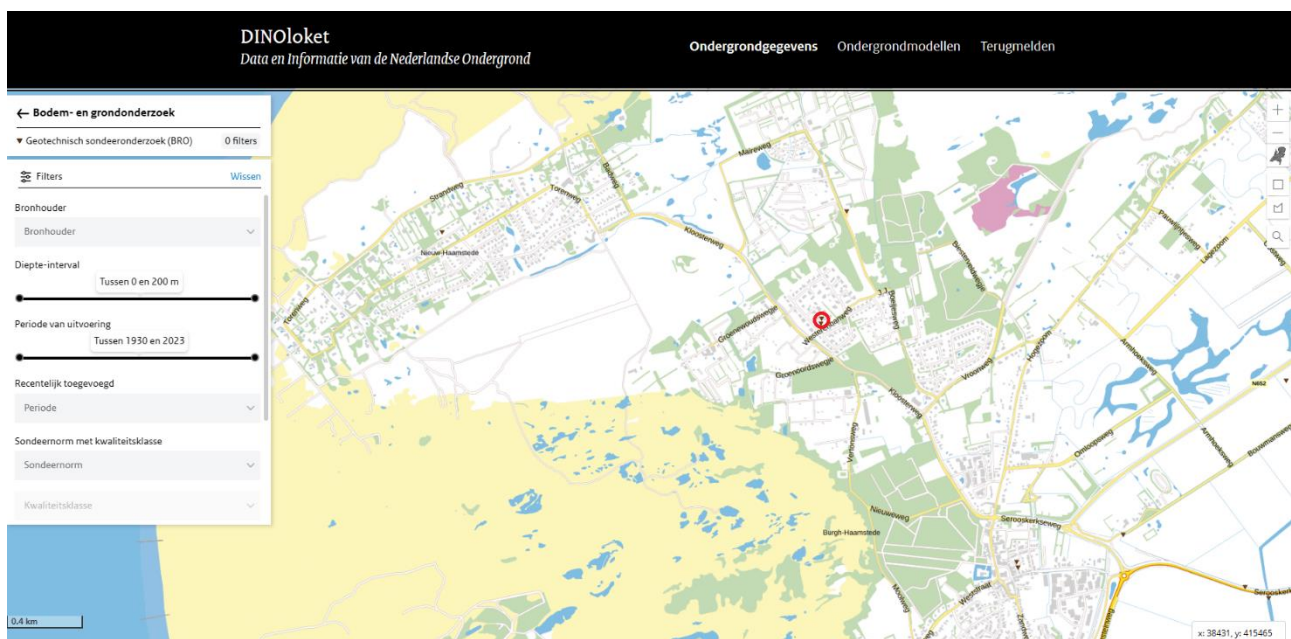
Deze bijlage bevat geotechnische achtergrondinformatie. Deze informatie is gebruikt om bijvoorbeeld de uitdamping van de trillingen met de afstand te bepalen. Daarnaast is deze informatie gebruikt in het rekenmodel waarmee de dynamische eigenschappen van de bebouwing worden bepaald.

De opbouw van de bodem is weergegeven in Figuur 10. De bodem is vooral opgebouwd uit zand, op wat grotere diepte komen ook wel klei- en leemlagen voor.

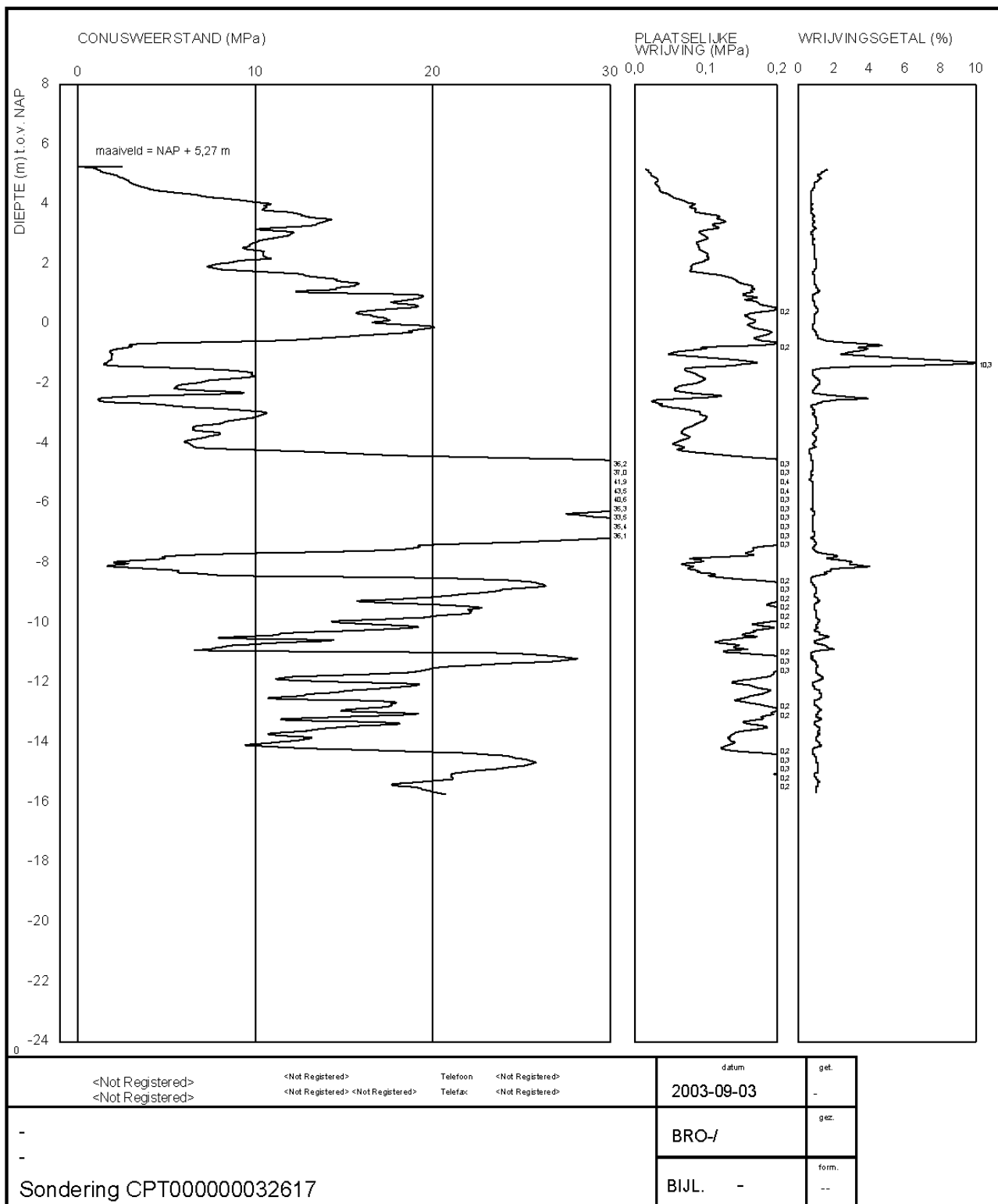


Figuur 10 Meest waarschijnlijke bodemlagen, k = klei, v = veen, zf = fijn zand, zm = middelgrof zand, gz = grof zand. Vanaf Serooskerkseweg (links) tot aan Badweg (rechts)

Een representatieve sondering uit de omgeving van het onderzoeksgebied (zie Figuur 11), waarin onder meer de conusweerstand te zien is, is weergegeven in Figuur 12. Ook hier is de gelaagde bodemopbouw te zien.



Figuur 11 Locatie gebruikte sonderingen



Figuur 12 Sondering nabij het onderzoeksgebied

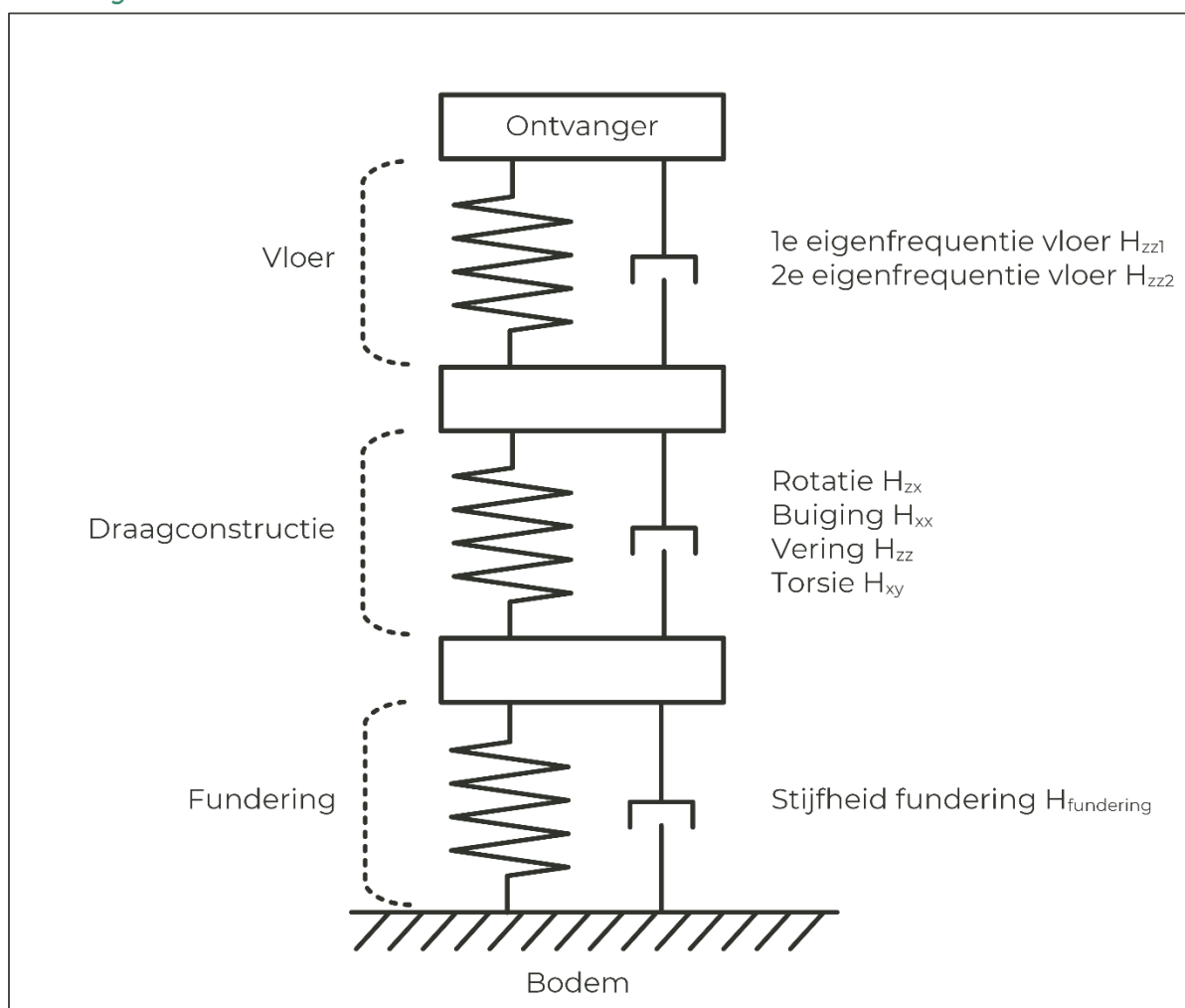


REKENMODEL

In dit rapport is gebruik gemaakt van het rekenmodel Buildyn om de trillingen in de bebouwing te berekenen. Buildyn is een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin een gebouw gemodelleerd en doorerekend wordt. Dit model is gekalibreerd met meer dan 600 praktijkmetingen, met behulp van een slim algoritme. Door die combinatie van een slim algoritme en een grote hoeveelheid praktijkdata, verkrijgen we een nauwkeurigheid die doorgaans significant beter is dan een Eindige Elementenmodel, omdat de resultaten sterk leunen op de praktijk (terwijl een Eindige Elementenmodel zeer gevoelig is voor de gebruikte input t.a.v. bijv. demping en stijfheden).

In Buildyn wordt een gebouw gemodelleerd door middel van gekoppelde massa-veersystemen, zie Figuur 13. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 13, worden in deze bijlage nader toegelicht. Afhankelijk van de constructie van het gebouw wordt de draagconstructie als één (lage bebouwing, starre bebouwing), of als meerdere elementen (hoge bebouwing, slappere bebouwing) gemodelleerd.

Buildyn



Figuur 13 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) en afmetingen daarvan
- » Afmetingen en gewicht van het gebouw
- » Bodem waarop het gebouw staat

Vooraf boven de 10 Hz worden trillingen uitgedempt door de fundering, bij slappe bodems en grote gebouwen kan ook al bij lagere frequenties demping optreden.

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 het gedrag van 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), doorbuiging en vering van het gebouw op zijn fundatie een rol spelen. Bij hogere of slappere gebouwen speelt ook doorbuiging en torsie (rotatie om een verticale as in het gebouw) een rol.

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

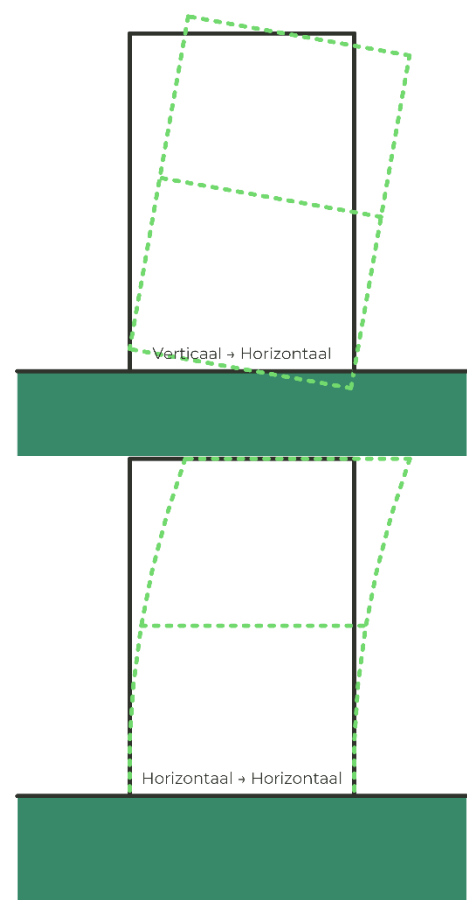
Dit effect noemen we H_{zx} , en is afhankelijk van:

- » 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 noemen we H_{xx} , en is afhankelijk van:

- » Afmetingen van het gebouw
- » Constructietype (stijfheid, starheid van verbindingen, open ruimtes)
- » Gebruikte materialen

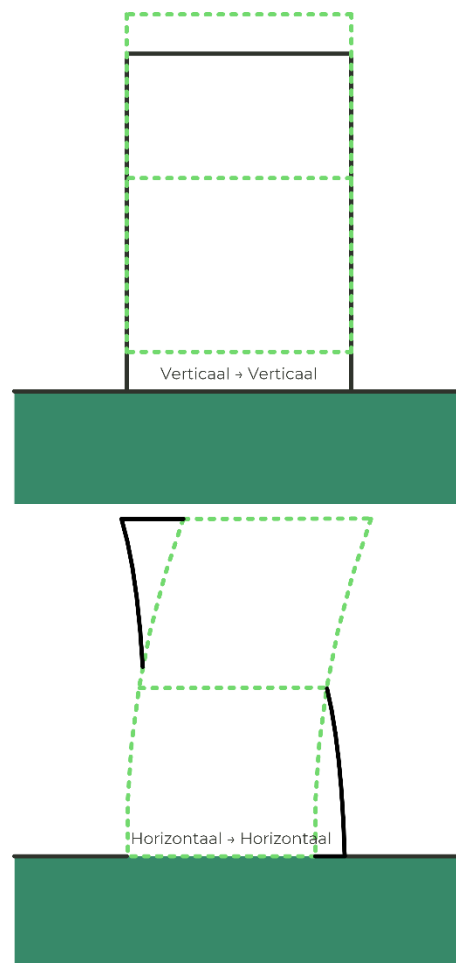


Het derde principe, dat van vering van het gebouw op zijn fundatie, is rechts weergegeven. Dit principe speelt vooral een rol bij wat hogere gebouwen, of bij gebouwen met een slappe onderlaag of lokaal slappere elementen (denk aan kolommen en balkenstructuren). Dit effect noemen we H_{zz} , en is afhankelijk van:

- » Hoogte van het gebouw
- » Constructietype (stijfheid, starheid van verbindingen, open ruimtes)

Het vierde principe, dat van torsie van het gebouw, is rechts weergegeven. Dit principe speelt vooral een rol bij wat hogere gebouwen, of bij gebouwen met een slappere constructie. Dit effect noemen we H_{xy} , en is afhankelijk van:

- » Hoogte van het gebouw
- » Constructietype (stijfheid, starheid van verbindingen, open ruimtes)
- » Afmetingen van het gebouw (symmetrie)



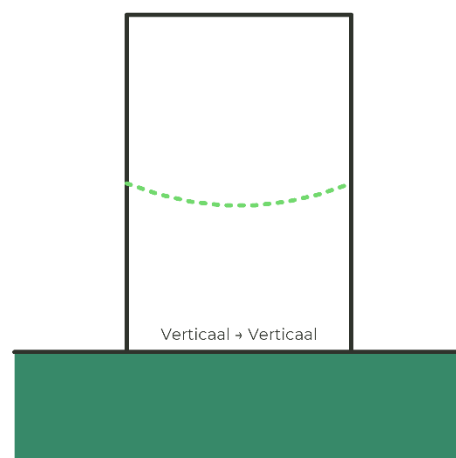
VLOEREN

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 noemen we H_{zz1} , en is afhankelijk van:

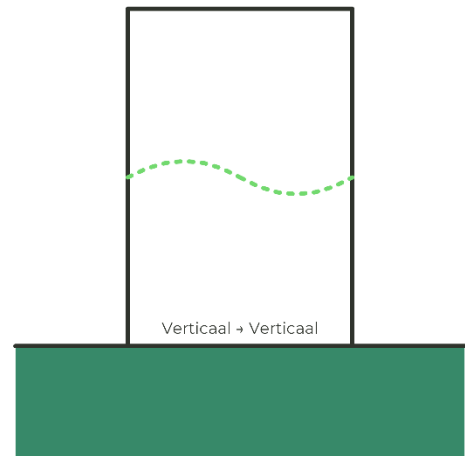
- » Type vloer (doorsnede, materiaal, en bij beton: gescheurd of ongescheurd)
- » Afmetingen van de vloer
- » Type oplegging



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 noemen we H_{zz2} , en is afhankelijk van dezelfde parameters als H_{zz1} .

Uiteindelijk zorgen alle gebouwbewegingen samen voor een versterking van de trillingen tussen de fundering en de vloer. In de hierna volgende figuren zijn deze totale overdrachten in de X-, Y- en Z-richting van het gebouw weergegeven. Voor de vloeren wordt onderscheid gemaakt tussen de H_{zz1} en de H_{zz2} -beweging, omdat beide niet op hetzelfde punt kunnen optreden (H_{zz1} is maximaal in het midden van de vloer, H_{zz2} op een kwart van de randen).



METINGEN

Deze bijlage bevat gegevens over de metingen.

III.1 GEGEVENS METINGEN

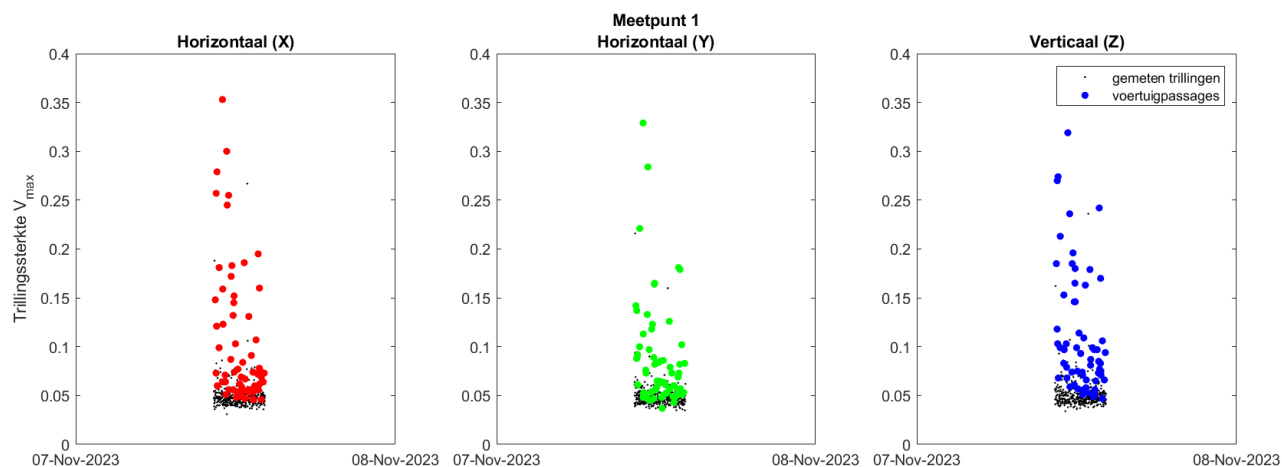
Hieronder is een overzicht opgenomen met relevante gegevens van de metingen, conform de eisen in hoofdstuk 11 uit de SBR B-richtlijn.

1	<i>Uitvoerende partij</i>	Alcedo B.V. Ondernemersweg 3 7451PK Holten
	<i>Verantwoordelijke</i>	Daan Borgonje
2	<i>Meting uitgevoerd door</i>	Leon Spikker
3	<i>Datum en tijd metingen</i>	7 november 2023
4	<i>Trillingsbron</i>	Wegverkeer
5	<i>Classificatie gebouw</i>	Zie paragraaf 3.2
6	<i>Locatie metingen</i>	Zie Figuur 3
7	<i>Geotechnische gegevens</i>	Zie bijlage I
8	<i>Locaties meetpunten en meetrichtingen</i>	Zie Figuur 3, tenzij anders vermeld: X-richting loodrecht op de trillingsbron Y-richting parallel aan trillingsbron Z-richting verticaal
9	<i>Gebruikte apparatuur</i>	FrogWatch opnemers. Zie een uitgebreide toelichting van de specificaties op https://www.frog.watch/facts/ .
10	<i>Gemeten trillingen</i>	Zie bijlage III.2
11	<i>Motivatie classificatie gebouw</i>	Op basis van gegevens BAG
12	<i>Overige relevante omstandigheden</i>	Niet van toepassing

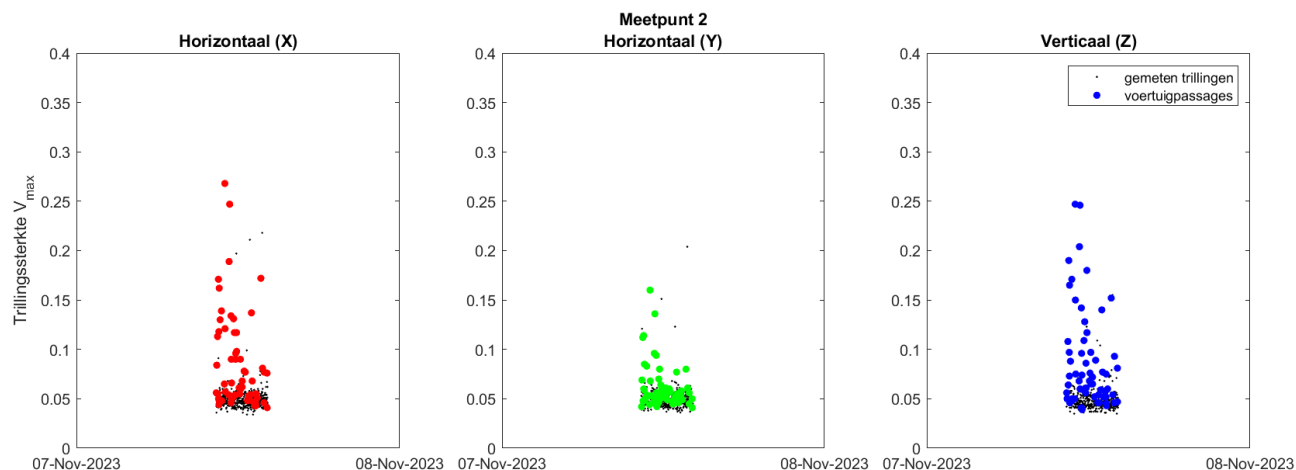


III.2 RESULTATEN METINGEN

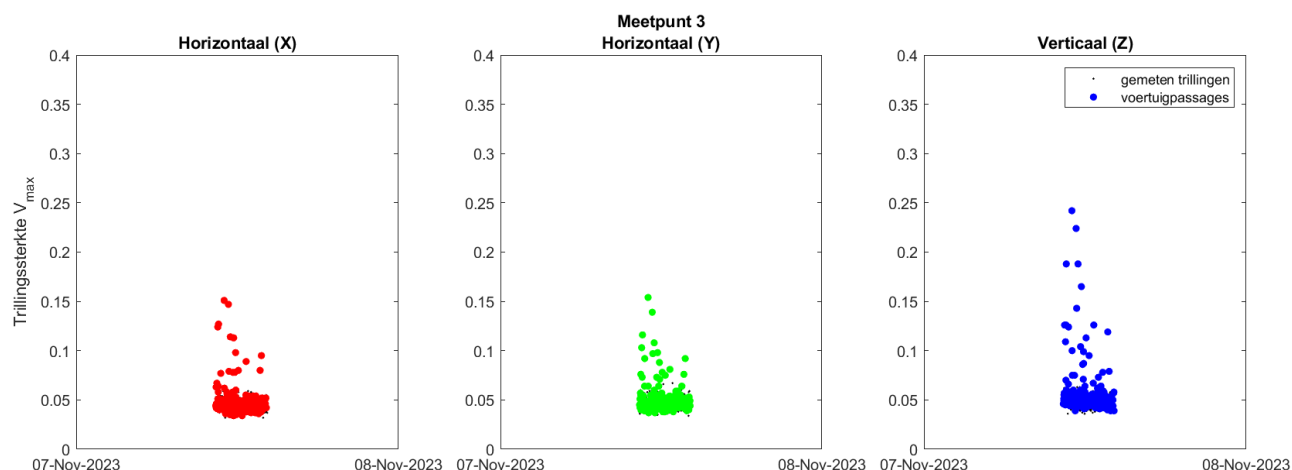
Deze bijlage bevat de resultaten van de metingen van Alcedo. Per meetpunt zijn de gemeten trillingen weergegeven, en daarna de tertsbandspectra per voertuigpassage.



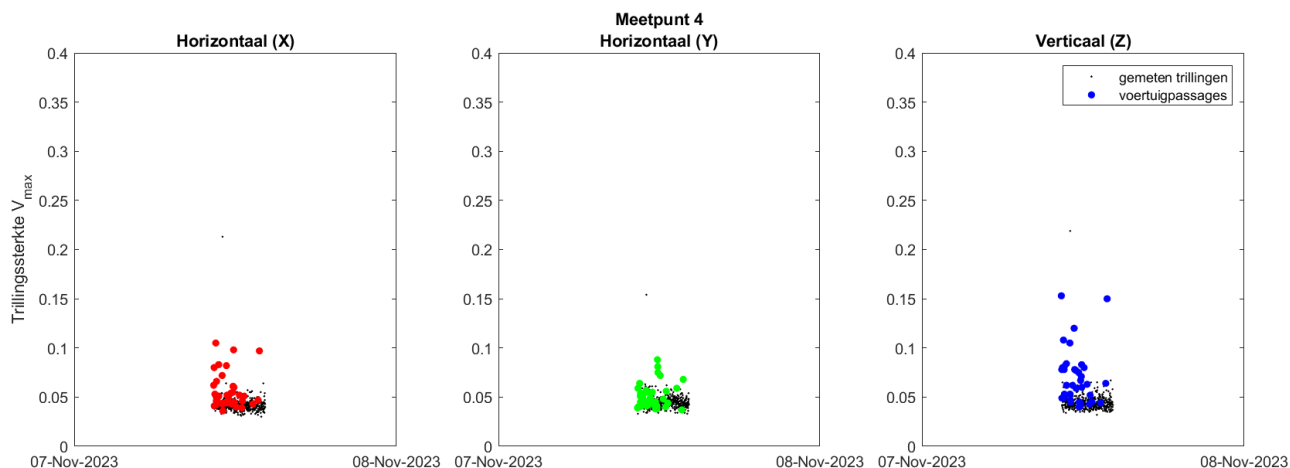
Figuur 14 Gemeten trillingen meetpunt 1 (dichtbij drempel)



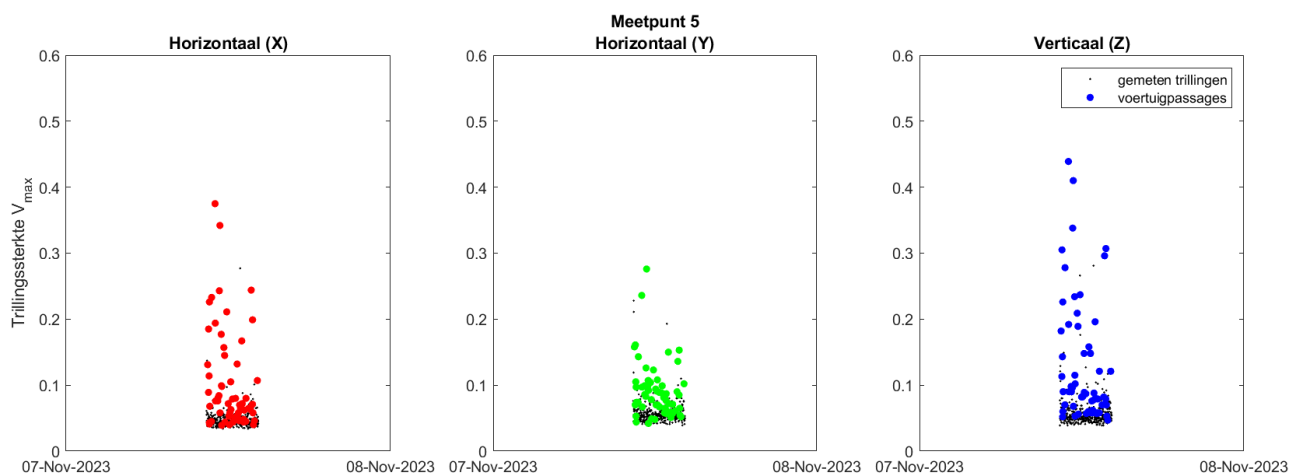
Figuur 15 Gemeten trillingen meetpunt 2 (verder bij weg vandaan)



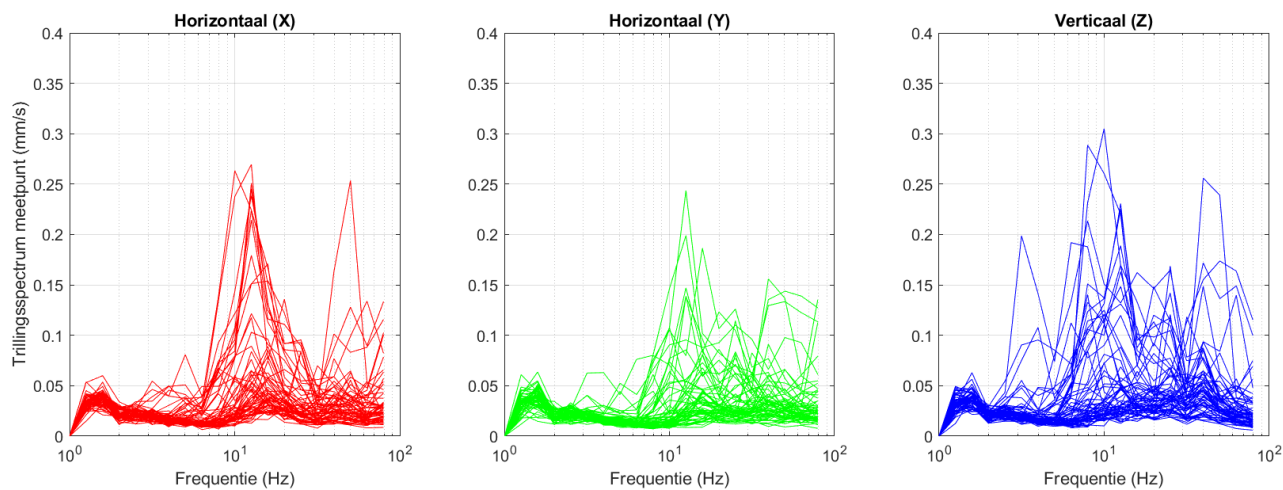
Figuur 16 Gemeten trillingen meetpunt 3 (asfalt en klinkers)



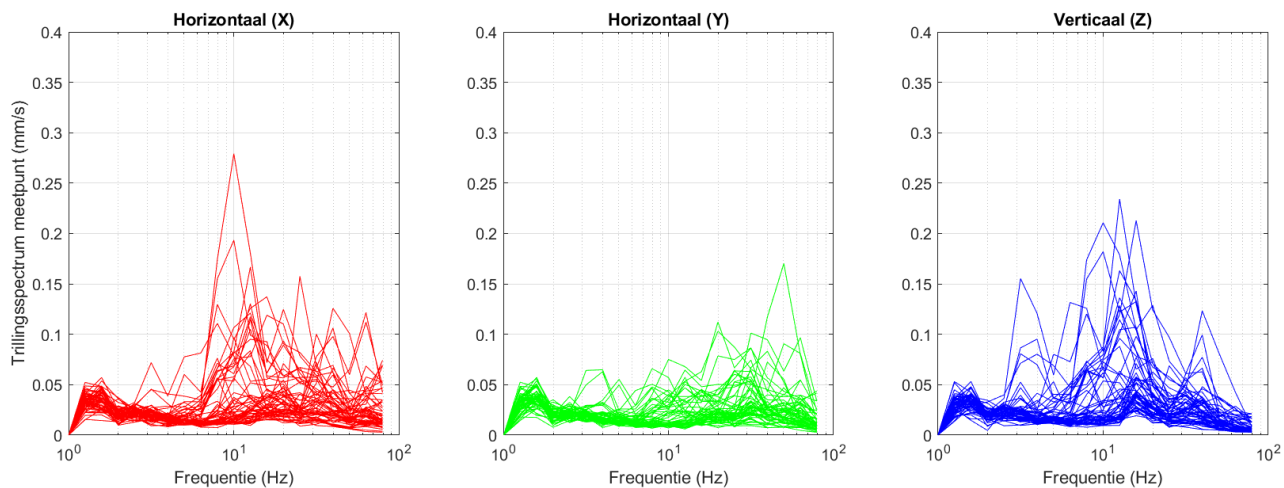
Figuur 17 Gemeten trillingen meetpunt 4 (asfalt)



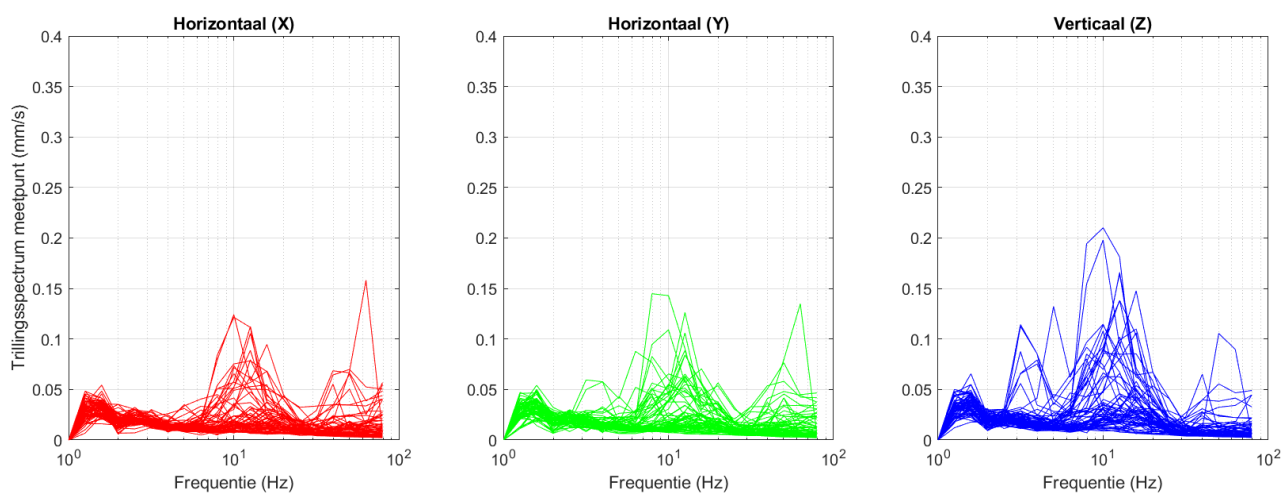
Figuur 18 Gemeten trillingen meetpunt 5 (drempel)



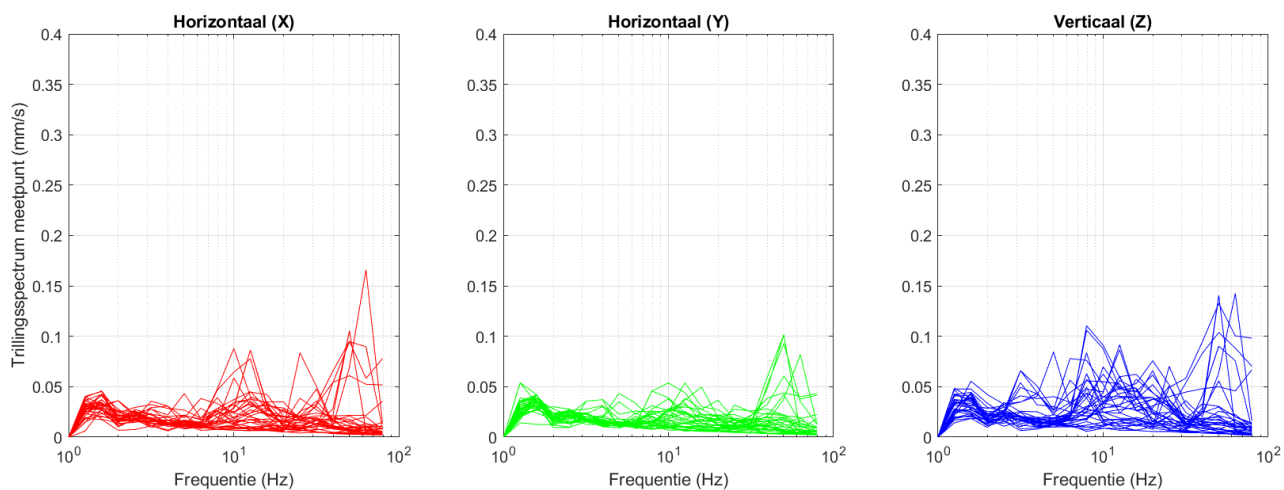
Figuur 19 Tertsbandspectra meetpunt 1



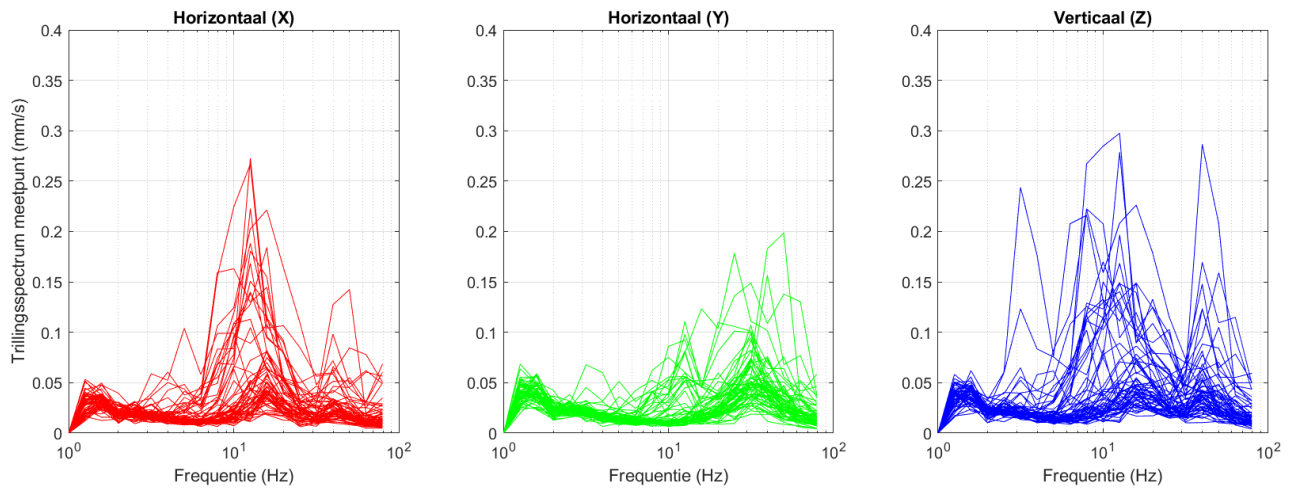
Figuur 20 Tertsbandspectra meetpunt 2



Figuur 21 Tertsbandspectra meetpunt 3



Figuur 22 Tertsbandspectra meetpunt 4

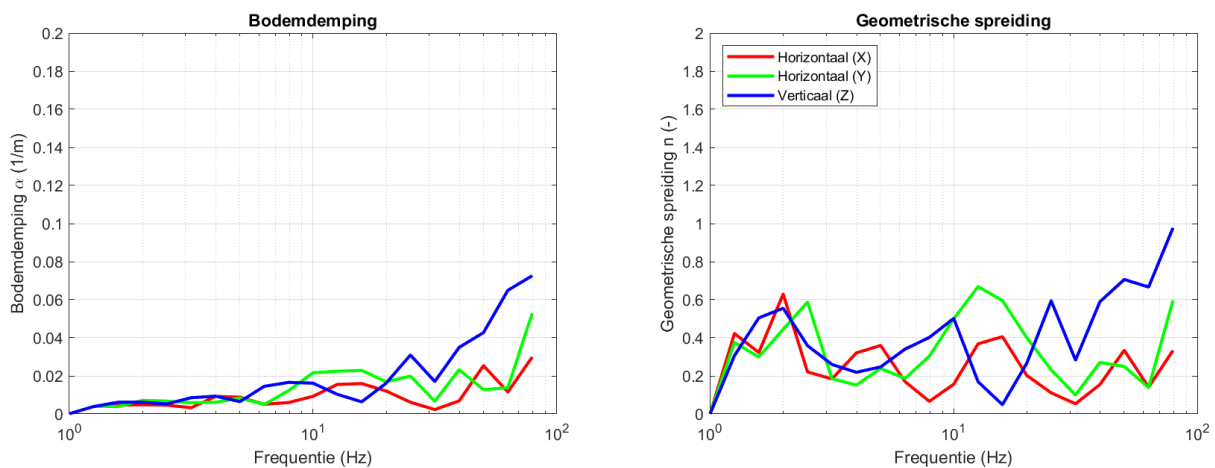


Figuur 23 Tertsbandspectra meetpunt 5

De uitdemping van de trillingen als functie van de afstand is bepaald met de empirische Barkan-vergelijking, zoals weergegeven in vergelijking 1.

$$V(f, r) = V_0(f, r_0) \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^{n(f)} \cdot e^{-\alpha \cdot (r-r_0)} \quad (1)$$

In deze vergelijking staat V voor de trillingssnelheid, f voor de frequentie, r voor de afstand tot de trillingsbron, r_0 voor de referentieafstand (hier 20 m), n voor de geometrische spreidingsfactor en α voor de bodemdemping. De geometrische spreiding en bodemdemping zijn weergegeven in Figuur 24. Deze gemeten parameters zijn gebruikt om de op basis van de bodemopbouw gemodelleerde bodemparameters te kalibreren.



Figuur 24 Bodemdemping α (links) en geometrische spreiding n (rechts) als functie van de frequentie