

ZUIDMATEN OOST – DEN HAM

Trillingsonderzoek Landbouwverkeer



Colofon

Auteur	T.J. van Swinderen MSc tom@we-boost.nl
Controle en vrijgave	ir. P.M. Boon pieter@we-boost.nl +31 6 10 03 94 54
Projectcode	WBD2017
Versienr	1.0
Datum	21 juli 2020
Status	Vrijgegeven
Opdrachtgever	Gemeente Twenterand



© We-Boost Data 2020

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.

Managementsamenvatting

In de wijk Zuidmaten Oost in Den Ham wordt nieuwbouw gerealiseerd in de vorm van grondgebonden woningen. Een deel van de geplande woningen ligt in de nabijheid van het aan de Schapendijk 3 gelegen loonbedrijf Reimink, dat met zwaar landbouwverkeer gebruik maakt van de Schapendijk. Dit zware landbouwverkeer kan onder meer leiden tot trillingshinder in de nabij gelegen, geplande woningen. Naar aanleiding van het ontwerpbestemmingsplan is een zienswijze ingebracht door het loonbedrijf, waarin ze verzoeken om nader onderzoek te doen naar onder meer trillingen in de geplande woningen als gevolg van zwaar landbouwverkeer op de Schapendijk. Doel van het voorliggende onderzoek is daarom om vast te stellen of er sprake zal zijn van onacceptabele trillingshinder in de geplande bebouwing.

De belangrijkste bevinding van dit onderzoek is dat alleen zwaar landbouwverkeer (rupstractoren) tot overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder leidt in twee gebouwen in het plangebied. Normaal landbouwverkeer voldoet aan het beoordelingskader in alle geplande bouwvlakken. De maximale contourafstanden (de werkelijke contourafstanden zijn afhankelijk van het type woning) zijn weergegeven in de figuur hiernaast.

Omdat niet voor alle types voertuigen die kunnen passeren wordt voldaan aan het beoordelingskader, is gekeken naar mogelijke maatregelen om de trillingen te reduceren uitgevoerd. De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn:



1. Maatregelen aan de bron, in dit geval de wegconstructie van de Schapendijk (zoals een zwaardere fundering toepassen) zijn slechts beperkt effectief, hebben hoge kosten en vallen buiten het plangebied.
2. Maatregelen in de bodem, zoals een sloot of trillingsscherm langs de weg, kunnen de trillingen met maximaal 50% reduceren. Hiermee kunnen de contourafstanden met een factor 2 tot 4 worden verkleind. Deze maatregelen zijn echter beperkt toekomstvast en brengen hoge kosten met zich mee.
3. Voor maatregelen aan de bebouwing geldt dat alleen het afveren van de woningen (door een dubbele fundering toe te passen) echt effectief is. Deze maatregel brengt hoge kosten met zich mee.

Het is dus mogelijk om met maatregelen te voldoen aan het beoordelingskader voor trillingshinder in alle woningen in het plangebied. Bij de uiteindelijke afweging om wel of geen maatregelen te nemen, adviseren wij om, conform bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, de volgende overwegingen mee te nemen:

1. De beoordeling van de trillingen is gebaseerd op zwaar landbouwverkeer in de vorm van rupstractoren. Overige zwaar landbouwverkeer veroorzaakt geen overschrijdingen in het plangebied.
2. Het zware type voertuigen (rupstractoren) waarop de beoordeling is gebaseerd, wordt niet voor normale transporten gebruikt, en zal dus naar verwachting slechts incidenteel passeren.
3. Er is al sprake van vrijstaande bebouwing op korte afstand tot de Schapendijk. De trillingshinder in de toekomstige bebouwing zal, bij gelijke of grotere afstand tot de Schapendijk, daarom vergelijkbaar zijn aan de trillingen in deze bestaande bebouwing. Daarom kan, indien nodig, voor de nieuwbouw een lagere beschermingsgraad worden gehanteerd, door deze te beoordelen als bestaande situatie (die soepeler zijn omdat hierin een zeker gewinningseffect is meegenomen). Hierbij komen de trillingscontouren iets minder dan een factor 2 dicht bij de weg te liggen.

Bij het niet treffen van maatregelen in het plan dient een motivatie te worden opgesteld waarbij, op basis van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, betoogd wordt dat geen maatregelen tegen trillingen worden genomen gezien het incidentele karakter van de overschrijdingen en het gegeven dat de kosten van maatregelen niet in verhouding staan tot het effect daarvan, of dat er sprake is van zeer sterke negatieve neveneffecten (zoals ruimtebeslag, hinder tijdens realisatie, beperkte toekomstvastheid). Verder dient dan te worden betoogd dat, gezien het beperkte aantal zware voertuigpassages, in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn ook zonder maatregelen tegen trillingen geen onacceptabele situatie ontstaat in de geplande bebouwing.

Tenslotte volgt uit het onderzoek dat de trillingen van zwaar landbouwverkeer lager zijn dan de grenswaarden voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn in het plangebied. De trillingen van het landbouwverkeer zullen daarmee niet leiden tot schade aan de bebouwing.

Inhoudsopgave

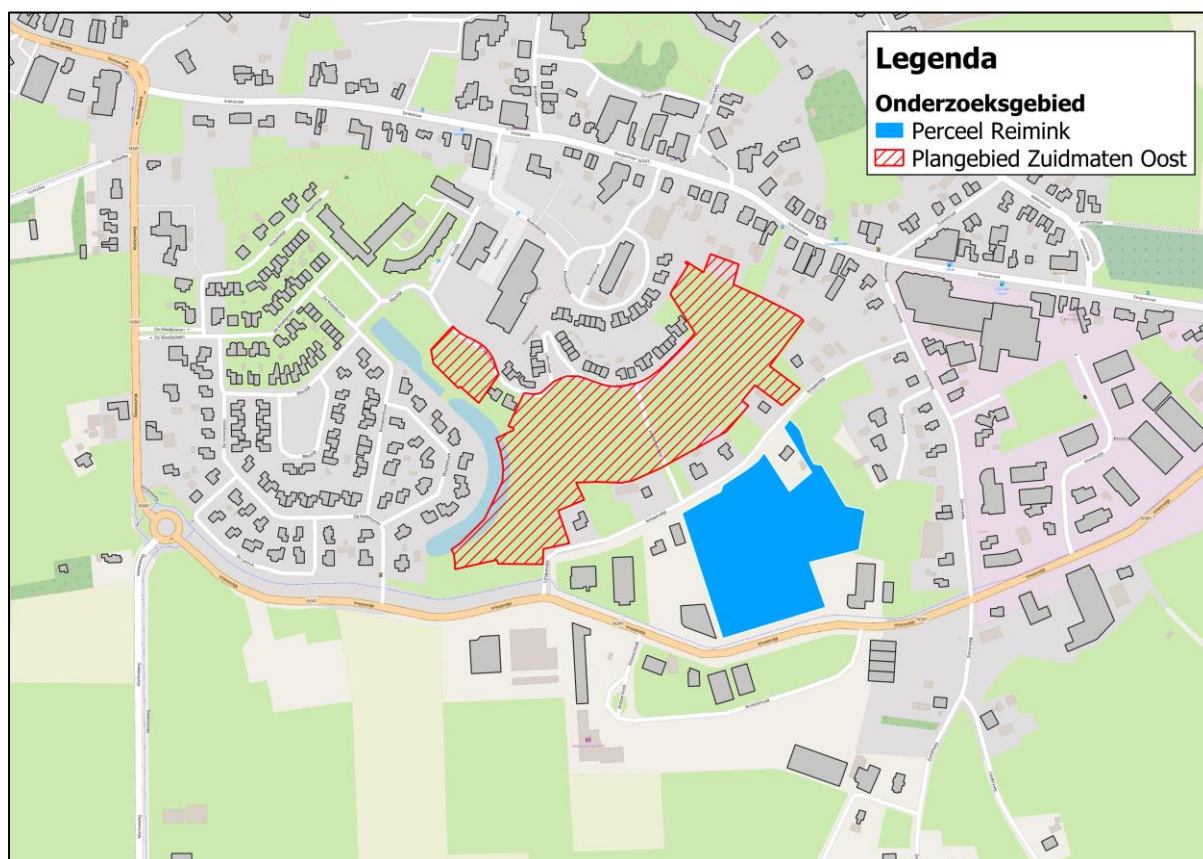
1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel	6
1.3	Leeswijzer	7
2	Situatie en uitgangspunten	8
2.1	Situatie	8
2.2	Uitgangspunten	9
3	Beoordelingskader	11
3.1	Beoordelingskader	11
3.2	Rekenmethode	12
4	Verwachte trillingen in de woningen	14
4.1	Meetresultaten	14
4.2	Trillingshinder in geplande nieuwbouw	16
4.3	Maatregelen tegen trillingshinder	17
4.4	Trillingsschade	22
5	Conclusies en aanbevelingen	23
5.1	Conclusies	23
5.2	Aanbevelingen	23
I	Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek	25
II	Bijlage Rekenmodel Buildyn	27
	Fundering	28
	Draagconstructie	28
	Vloeren	29
	Resultaten	29
III	Meetresultaten	31

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de wijk Zuidmaten Oost in Den Ham wordt nieuwbouw gerealiseerd in de vorm van grondgebonden woningen, zie Figuur 1. Een deel van de geplande woningen ligt in de nabijheid van het aan de Schapendijk 3 gelegen loonbedrijf Reimink, dat met zwaar landbouwverkeer gebruik maakt van de Schapendijk. Dit zware landbouwverkeer kan onder meer leiden tot trillingshinder in de nabij gelegen, geplande woningen. Op basis van vooroverleg met Reimink is besloten om in eerste instantie 3 kavels dichtbij de Schapendijk niet mee te nemen in de bestemmingsplanwijziging.

Naar aanleiding van het vervolgens opgestelde ontwerpbestemmingsplan is een zienswijze ingebracht door het loonbedrijf, waarin ze verzoeken om nader onderzoek te doen naar onder meer trillingen in de geplande woningen als gevolg van zwaar landbouwverkeer op de Schapendijk.



Figuur 1 Plangebied

1.2 Doel

Doel van dit onderzoek is om vast te stellen of er sprake zal zijn van trillingshinder in de geplande bebouwing, en zo ja, met welke maatregelen deze hinder is te voorkomen. Hiervoor maken wij een nauwkeurige predictie van de trillingen in de geplande bebouwing. Deze trillingen toetsen we aan het van toepassing zijnde beoordelingskader (de SBR B-

richtlijn). Als er overschrijdingen van het beoordelingskader worden verwacht, dan geven we aan met welke maatregelen wel wordt voldaan aan het beoordelingskader.

Ook gaan we in dit rapport in op de kans op trillingsschade aan de geplande woningen als gevolg van de passage van zwaar landbouwverkeer.

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 bebouwing 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.

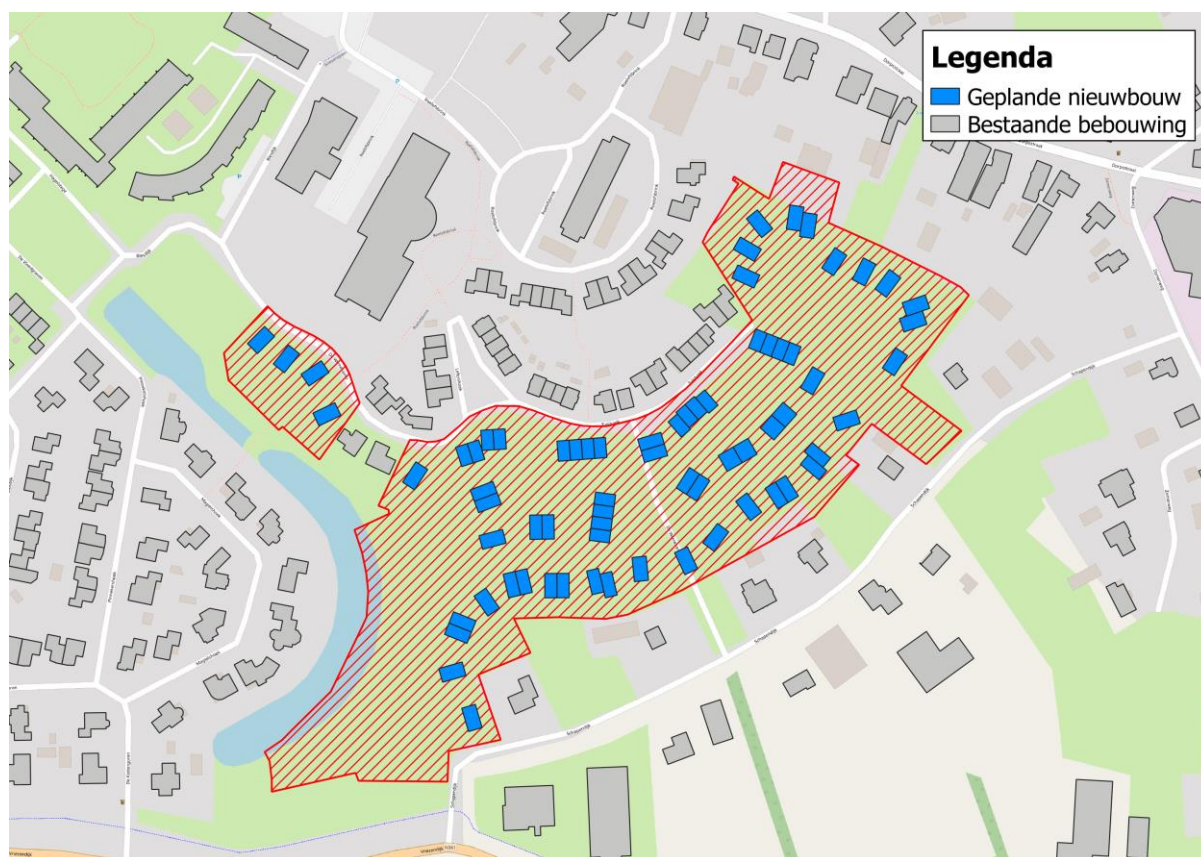
De bijlages bevatten technische informatie van het onderzoek, zoals een toelichting op de rekenmethodiek en grondonderzoek van nabijgelegen locaties.

2 Situatie en uitgangspunten

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

2.1 Situatie

De planlocatie bestaat uit een aantal percelen waarop nieuwbouw in de vorm van grondgebonden woningen is gepland. Het gaat om rijwoningen, 2-onder-1-kap woningen en vrijstaande woningen, zie Figuur 2.



Figuur 2 Bestaande en toekomstige bebouwing

De nieuwbouw bevindt zich op een afstand van zo'n 10 tot 230 meter van de Schapendijk, waarover zwaar landbouwverkeer van loonbedrijf Reimink passeert. Op kortere afstand van loonbedrijf Reimink bevindt zich al bebouwing met een woonfunctie, in de vorm van vrijstaande woningen.

Naast landbouwverkeer kunnen ook andere trillingsbronnen, zoals zwaar vrachtverkeer, voor waarneembare trillingen zorgen in het plangebied. Op basis van ervaringen in andere projecten is dat echter vooral het geval op zeer korte afstand tot de weg (binnen 10 meter) of wanneer er geen sprake is van een vlakke wegoopbouw (zoals bijv. door drempels of bij een klinkerweg). In het bestemmingsplangebied geldt dat de afstand tot de (geasfalteerde) Schapendijk dusdanig is dat zwaar vrachtverkeer op de Schapendijk niet tot waarneembare trillingen in de geplande woningen zal leiden. Alleen lokaal

bestemmingsverkeer in de vorm van zwaar vrachtverkeer op de wegen in het plangebied kunnen voor voelbare trillingen zorgen in het geval van klinkerwegen. Het gaat dan echter om incidentele trillingen.

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. Op basis van constructieve informatie van een aantal panden zijn berekeningen gemaakt voor een aantal bebouwingsvarianten, zie Tabel 1. Het rekenmodel voor de bebouwing is gebaseerd op deze informatie.

Tabel 1 Eigenschappen nieuwe bebouwing

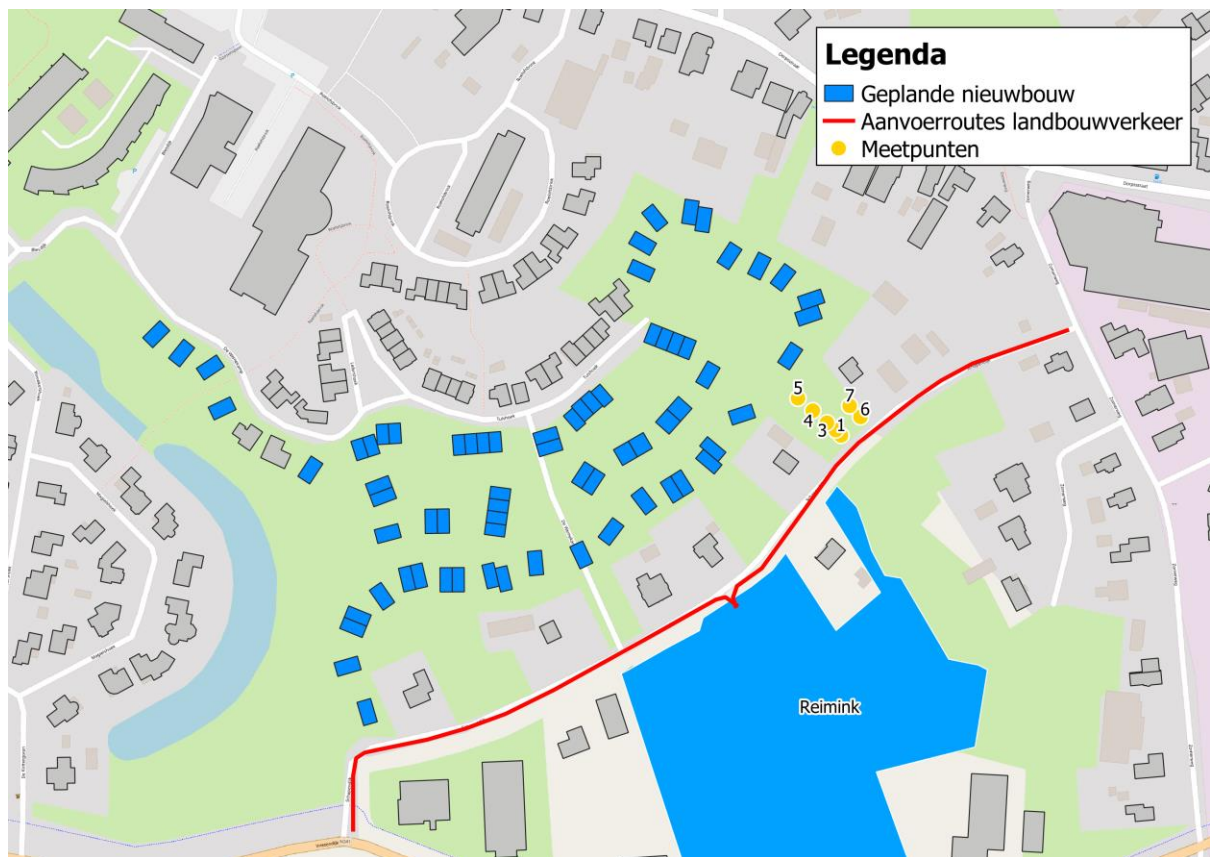
Parameter	Eigenschappen
Vloertype	Kanaalplaatvloer 200 mm, met 80 mm cementdekvloer
Hoogte	3 bouwlagen
Lengte vloerveld	5.8 tot 8.5 m, afhankelijk van bouwblok
Breedte vloerveld	9 tot 12 m, afhankelijk van bouwblok
Constructietype	Prefab wanden en vloeren, in sommige gevallen metselwerk of kalkzandsteen wanden
Fundering	Op palen
Stijfheid gebouwen	Prefab betonnen wanden, of kalkzandsteen woningscheidende wanden

2.2.2 Gegevens ondergrond

Voor gegevens van de ondergrond is gebruik gemaakt van beschikbare boringen en sonderingen uit Dinoloket en bodemonderzoeken die in het plangebied zijn uitgevoerd. 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 en nabij het onderzoeksgebied op een aantal punten, zie Figuur 3. De metingen zijn uitgevoerd in juli 2020. De meetresultaten van het meetonderzoek worden weergegeven in hoofdstuk 4.



Figuur 3 Meetpunten in en bij het onderzoeksgebied

3 Beoordelingskader

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.

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 feitelijk alleen deel B voor dit onderzoek relevant is. De afstand tussen de weg en de geplande bebouwing 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. Verderop in dit rapport wordt nog wel kort ingegaan op de kans op trillingsschade.

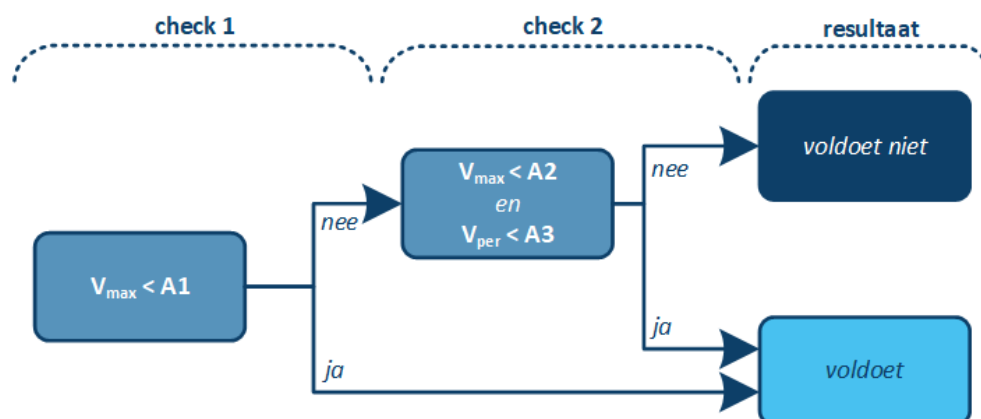
In deze SBR-richtlijn deel B zijn een aantal aspecten relevant, deze worden hieronder kort toegelicht:

1. De richtlijn toetst zowel een maximaal optredende trillingssterkte (V_{max} , treedt op bij het voertuig dat 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 voertuigen dat passeert).
2. De richtlijn maakt in de beoordeling voor weg- en railverkeer (waaronder ook zwaar landbouwverkeer valt) 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.
 - 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. In het voorliggende plan gaat het uitsluitend om gebouwen met een functie *wonen*.
 - 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 2), 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 4.

Tabel 2 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 4 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 constructieve modellen van de nieuwe bebouwing een berekening gemaakt van de verwachte trillingen in de nieuwe bebouwing. Hierbij geldt dat de verwachte trillingen afhankelijk zijn van de constructieve eigenschappen van de geplande bebouwing, maar ook van de bodem, de afstand tot het weg 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, landbouwvoertuig 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.

3.2.2 De trillingsbron

In dit onderzoek zijn landbouwvoertuigen de bron van de trillingen. De trillingen van het landbouwverkeer zijn gemeten door Alcedo op meerdere punten in het plangebied. De beoordeling van de trillingen in de geplande bebouwing heeft plaatsgevonden op basis van deze metingen.

3.2.3 De bodem

De bodem op deze locatie bestaat hoofdzakelijk uit zand-, leem- en kleilagen met verschillende stijfheden, zie bijlage I. De uitdemping van de trillingen met de afstand is bepaald op basis van de metingen, die op verschillende afstanden van de trillingsbron zijn uitgevoerd.

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 voor de nieuwe bebouwing 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 het model zijn geijkt met praktijkresultaten uit metingen. Een toelichting op het rekenmodel Buildyn is gegeven in bijlage II.

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 geplande bebouwing gegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van de beoordelingsmethode en de rekenmethodiek zoals toegelicht in het voorgaande hoofdstuk.

4.1 Meetresultaten

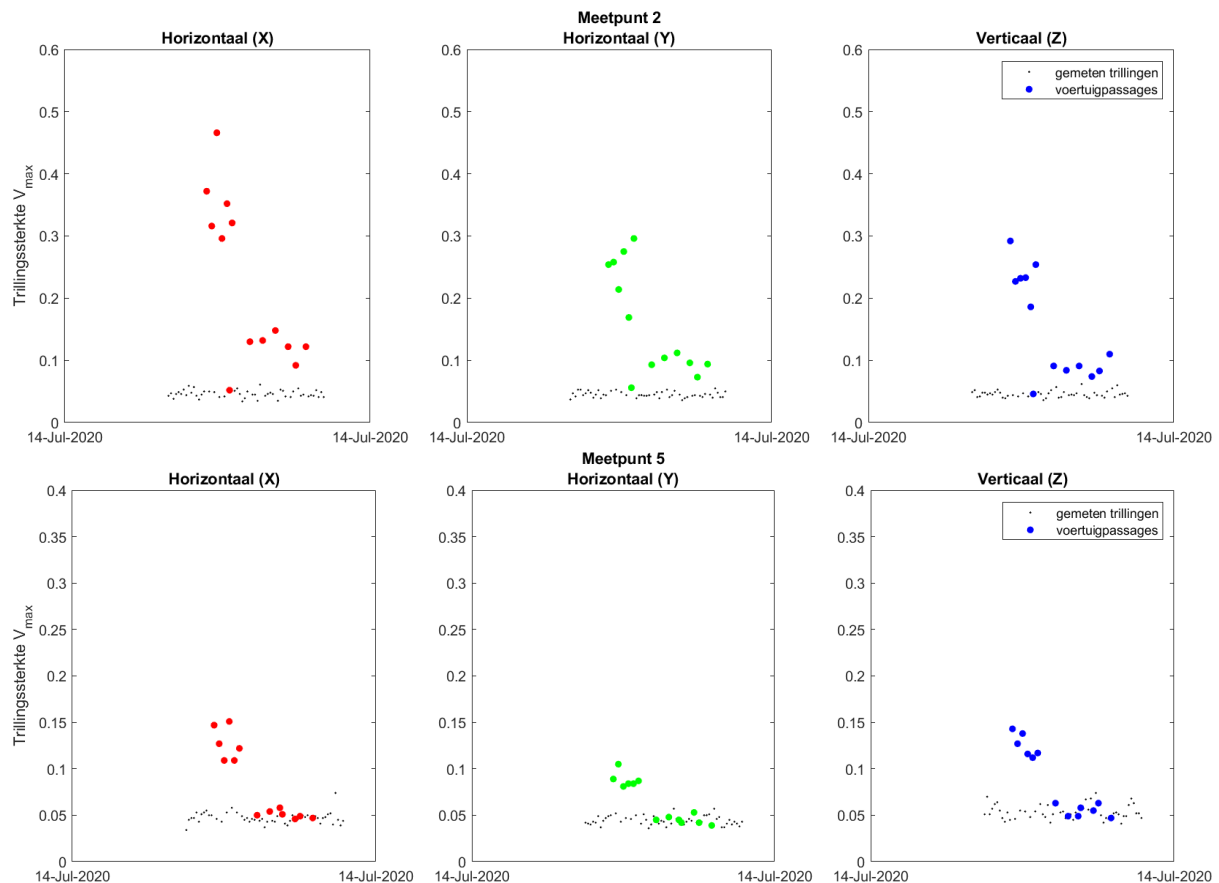
Alcedo heeft metingen uitgevoerd op maaiveld nabij de Schapendijk, op meerdere punten op verschillende afstanden tot de weg in een situatie met en zonder sloot. Een sloot heeft doorgaans een dempende werking op de trillingen. De trillingen zijn uitgevoerd aan de passages van representatief zwaar landbouwverkeer (een tractor met opraapwagen en een rupstractor), zie Figuur 5. Op basis van de massa's van de voertuigen zijn deze representatief voor de trillingen van landbouwvoertuigen van loonbedrijf Reimink in het algemeen.



Figuur 5 Gemeten landbouwvoertuigen (links tractor met opraapwagen, rechts rupstractor)

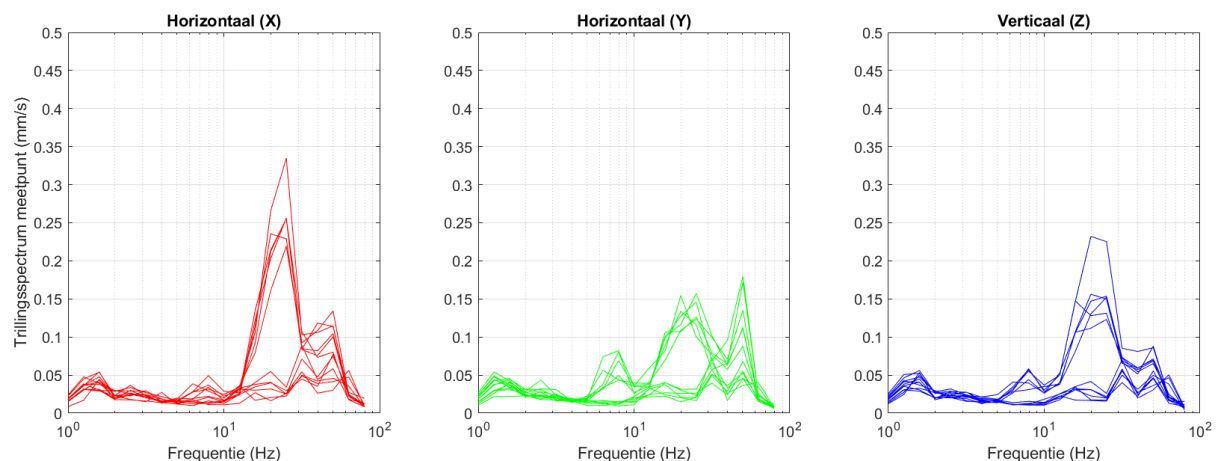
In Figuur 6 zijn de trillingen weergegeven voor twee meetpunten (op 10 en 35 meter van de Schapendijk, achter een sloot). Voor de overige meetpunten zijn deze gegevens opgenomen in bijlage III. In Figuur 6 valt het volgende op:

1. De trillingen zijn zowel in horizontale X-richting (loodrecht op de weg) als in verticale richting hoog.
2. De eerste passages zijn van de rupstractor, deze geeft een factor 3 tot 4 hogere trillingen dan de tractor met opraapwagen.



Figuur 6 Gemeten trillingen op maaiveld op 10 (boven) en 35 meter (onder) van de Schapendijk

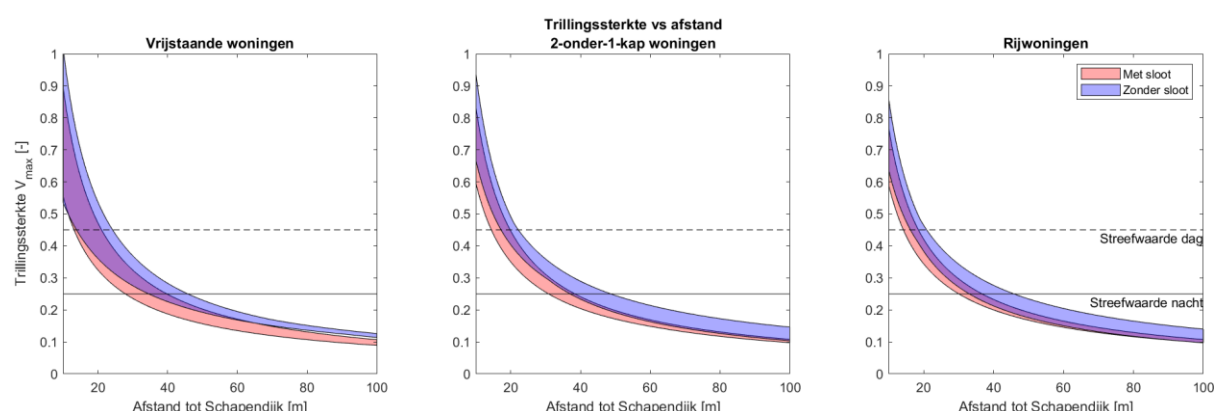
De frequentie-inhoud (spectrogram, weergegeven als 1/3-octafbandspectrum of tertsbandspectrum) van de trillingen op meetpunt 2 (10 meter van de weg) is weergegeven in Figuur 7. In deze figuur is zichtbaar dat de dominante frequentie van de trillingen tussen de 10 en 30 Hz ligt. Verder is te zien dat de trillingen van de rupstractor vooral bij frequenties onder de 30 Hz hoger zijn dan die van de tractor met opraapwagen. Dit laatste komt door de hogere massa van dit voertuig.



Figuur 7 Tertsbandspectra bij meetpunt 2, op 10 meter van de Schapendijk

4.2 Trillingshinder in geplande nieuwbouw

De geplande gebouwen zijn gemodelleerd op basis van de input uit hoofdstuk 2, zie bijlage II voor het frequentie-afhankelijke gedrag van de gebouwen. Met deze resultaten is bepaald in welke mate de trillingen worden versterkt tussen de huidige meetpunten en de vloeren in de toekomstige woningen. Met deze overdrachten is op basis van de metingen bepaald wat de verwachte trillingen zullen zijn in de gebouwen. De trillingen als functie van de afstand zijn weergegeven in Figuur 8. In deze figuur zijn ook de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn voor nieuwe situaties weergegeven (dag- en nachtwaarde). Verder is hier zowel de situatie met als zonder sloot weergegeven. De weergegeven bandbreedte is een indicatie van de variatie in constructies die er is binnen het plangebied.



Figuur 8 Trillingen als functie van de afstand in de woningen

In Tabel 3 zijn de contourafstanden¹ voor het voldoen aan de streefwaarden voor nieuwe situaties weergegeven in de situatie met en zonder sloot direct naast de weg, voor de drie types woningen die gepland zijn in het plangebied.

Tabel 3 Contourafstanden voor voldoen aan streefwaarden nieuwe situaties

Type woning	Met sloot		Zonder sloot	
	Contourafstand dag	Contourafstand nacht	Contourafstand dag	Contourafstand nacht
Vrijstaand	14 - 22	28 - 41	15 - 24	35 - 46
2-onder-1-kap	15 - 20	32 - 39	17 - 23	37 - 49
Rij	15 - 19	31 - 37	16 - 22	33 - 46

Samenvattend geldt het volgende:

1. Buiten 49 meter vanaf de Schapendijk treden er geen overschrijdingen meer op van de streefwaarden in het plangebied, en bij het handhaven van de bestaande sloot naast de Schapendijk wordt deze afstand gereduceerd tot 41 meter.

¹ Contourafstanden zijn bepaald op basis van de contouren voor de trillingssterkte V_{max} . De contouren voor de trillingsintensiteit V_{per} zijn niet bepaald, want deze zijn sterk afhankelijk van het aantal passages. Globaal geldt dat bij een trillingssterkte gelijk aan de streefwaarde (dus 0.2 voor de nacht, 0.4 voor de dag), het aantal events met een dergelijke hoge trillingssterkte gelijk mag zijn aan 22 overdag, 7 in de avond en 60 in de nacht. Omdat de trillingen van de rupstractor significant hoger zijn dan normaal landbouwverkeer, is de verwachting dat dergelijke aantallen events niet worden gehaald, en dat de contour voor de trillingssterkte dus maatgevend is.

2. Binnen 24 meter vanaf de Schapendijk treden er ook overdag geen overschrijdingen meer op van de streefwaarden in het plangebied, en bij het handhaven van een sloot naast de Schapendijk wordt deze afstand gereduceerd tot 22 meter.
3. De sloot reduceert de trillingen in dit geval met ca. 10 tot 15 procent. De trillingen van de zwaarste voertuigen (rupstractor) worden minder gedempt dan de trillingen van lichter landbouwverkeer.

Een beoordeling van de trillingen per woning is weergegeven in Figuur 9. In deze figuur is zichtbaar dat de twee vrijstaande woningen die het dichtst bij de Schapendijk zijn gelegen, niet voldoen aan het beoordelingskader: in 1 woning zijn er alleen 's nachts overschrijdingen, in de andere woning ook overdag. Deze overschrijdingen treden alleen op bij de passage van de zware rupstractoren, bij overige landbouwverkeer geldt dat er geen overschrijdingen zijn van het beoordelingskader in het plangebied.



Figuur 9 Beoordeling trillingen bij zwaar landbouwverkeer (rupstractoren)

4.3 Maatregelen tegen trillingshinder

Zwaar landbouwverkeer (rupstractoren) kan hoge trillingen veroorzaken in een deel van het plangebied. Hierdoor zijn overschrijdingen van het beoordelingskader in twee woningen niet uit te sluiten. Daarom hebben we een maatregelafweging uitgevoerd. Deze afweging beschrijven we in deze paragraaf.

Voor de afweging van maatregelen geeft bijlage 5 van de SBR B-richtlijn handvatten. Deze bijlage classificeert de trillingen in genoemde twee woningen als *matige hinder*. Vervolgens

geeft deze bijlage aan dat matige hinder kan worden geaccepteerd onder een aantal voorwaarden:

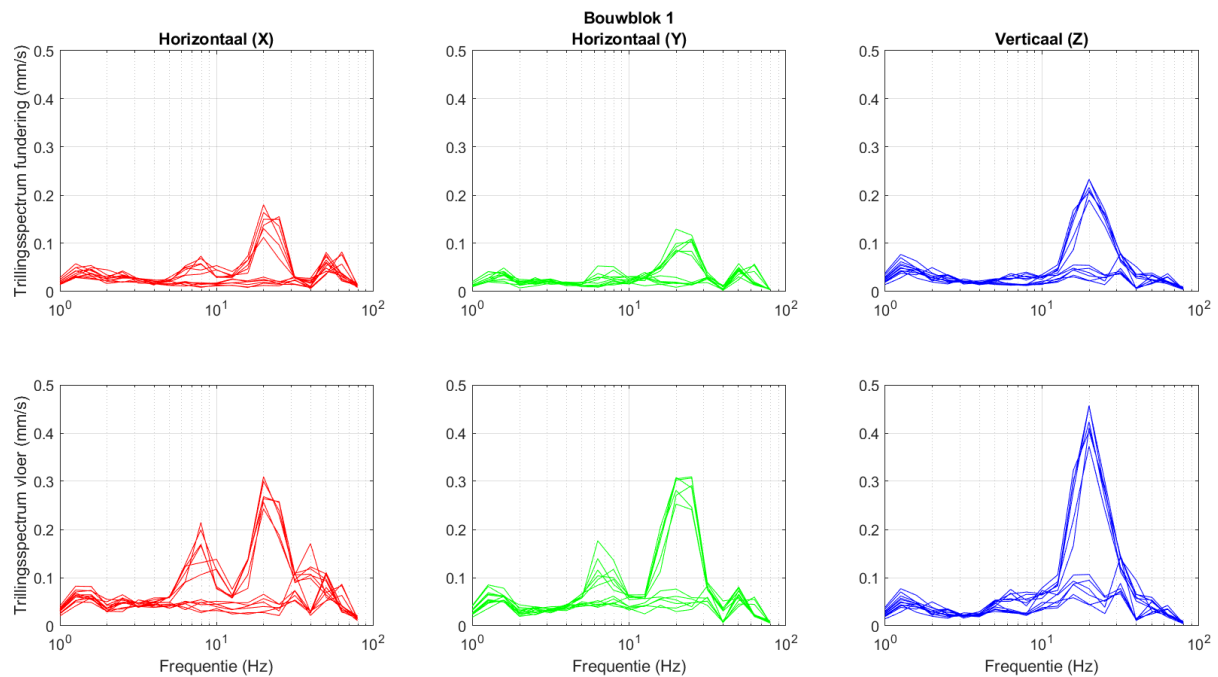
1. De mate waarin de trillingssterkte voorkomt. Hiervoor geldt dat landbouwverkeer zeer onregelmatig passeert. De verwachting is echter dat de zware landbouwvoertuigen (rupstractoren) slechts incidenteel zullen passeren (maximaal enkele keren per dag, deze zijn niet bedoeld voor transportbewegingen). Overig landbouwverkeer veroorzaakt geen hoge trillingen in de woningen, zodat het aantal overschrijdingen, en daarmee de trillingsintensiteit V_{per} , laag zal zijn. Er is daarmee dus sprake van incidentele overschrijdingen, die het achterwege laten van een maatregel zouden kunnen rechtvaardigen.
2. De aanwezigheid van achtergrondtrillingen die de trillingen van de landbouwvoertuigen 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.

Omdat voorwaarde 2 niet van toepassing is, 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 weg), 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 analyse uitgevoerd van de verwachte trillingen. De trillingen op de fundering en op de hoogste verdieping van een vrijstaande woning op 10 meter vanaf de weg zijn weergegeven in Figuur 10. Hierin is zichtbaar dat het met name gaat om hogerfrequente trillingen, vanaf ca. 15 Hz. De trillingen zijn het hoogst in verticale richting, maar ook in horizontale richting treden relatief grote trillingen op. De maatregelen die eventueel getroffen worden, dienen dus effectief te zijn in zowel horizontale als verticale richting.

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



Figuur 10 Trillingsspectra op de fundering (boven) en de hoogste verdieping (onder) in een vrijstaande woning op 10 meter van de Schapendijk

4.3.2 Maatregelen aan de trillingsbron

Ten aanzien van de trillingsbron, in dit geval de zware categorie landbouwvoertuigen (rupstractoren), geldt dat deze optreden buiten het plangebied. Maatregelen die effectief zijn tegen de trillingen van deze voertuigen zijn met name het verstevigen van de wegconstructie (zwaardere wegfundering bijv.) en het vlakhouden van het wegoppervlak (geen drempels, goede asfaltconstructie). Omdat deze maatregelen buiten het plangebied vallen, hoge kosten met zich meebrengen en slechts beperkt effectief zijn tegen de hier optredende trillingen, zijn deze maatregelen niet verder afgewogen.

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. Te denken valt dan bijvoorbeeld aan een sloot, een trillingsscherm in de bodem (bijv. een damwand, een trillingsscherm van EPS (piepschuim), of van beton). Een dergelijke maatregel is het meest effectief dichtbij de bron. Om de woningen met maatregelen af te schermen is een lengte van ca. 30 meter nodig, direct bij de Schapendijk. Bij dit type maatregelen dient wel bedacht te worden dat deze maatregelen vaak niet of beperkt toekomstvast zijn, en hoge kosten met zich meebrengen voor individuele woningen.

4.3.4 Maatregelen aan de gebouwen

Bij maatregelen aan de gebouwen is een breed scala aan maatregelen mogelijk. Het gaat daarbij vooral om het verzwaren van de bouwblokken (door grotere volumes te bouwen of een zwaardere fundering toe te passen) of het afveren van de fundering (door gebruik te maken van een dubbele fundering). De geplande bebouwing wordt namelijk al relatief stijf en ongevoelig voor trillingen geconstrueerd, zie Tabel 1.

4.3.5 Afweging van maatregelen

Door het passeren van zware rupstractoren zijn in delen van het plangebied overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder mogelijk. Dichtbij de Schapendijk is alleen vrijstaande bebouwing gepland, daarom wordt in het vervolg van deze paragraaf vooral ingegaan op maatregelen voor vrijstaande woningen. Om overschrijdingen van het beoordelingskader te voorkomen dient vrijstaande bebouwing op een afstand van minimaal 46 meter van de Schapendijk te liggen. De trillingen zijn te reduceren met een aantal maatregelen. Deze maatregelen, het effect en een indicatie van de kosten zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Mogelijke maatregelen, effect, kosten en contourafstand nacht voor vrijstaande woningen

Maatregel	Effect	Kosten ²	Contourafstand
Geen			46 m
Sloot, 2 m diep	10 – 25%	€ 0.01 – 0.04 mln	20 – 27 m
Trillingsscherm damwand, 6 m diep	15 – 30%	€ 0.15 – 0.30 mln	18 – 25 m
Trillingsscherm EPS, 4 m diep	25 – 50%	€ 0.20 – 0.33 mln	10 – 20 m
Trillingsscherm beton, 5 m diep	30 – 50%	€ 0.26 – 0.41 mln	10 – 18 m
Zwaardere bouwvolumes	10 – 30%	< 5% SK	18 – 27 m
Ontkoppelen van de fundering (afveren)	60 – 80%	6 – 10% SK	2 – 7 m
Inpakken van fundering met EPS of rubber	10 – 20%	1 – 3% SK	22 – 27 m
Zwaardere fundering	10 – 25%	2 – 4% SK	20 – 27 m

Samengevat geldt dat het afveren van de fundering van de woningen het meest effectief is, maar deze maatregel brengt aanzienlijke meerkosten met zich mee (omdat een dubbele, afgeveerde fundering nodig is). Ook met maatregelen in de bodem, zoals trillingsschermen, is het mogelijk om de contourafstanden waarbinnen overschrijdingen van het beoordelingskader kunnen optreden, fors te reduceren. Tenslotte kan nog worden overwogen om de bebouwing verder van de weg vandaan te situeren, door bijvoorbeeld de bouwvlakken binnen de perceelgrenzen te optimaliseren.

4.3.6 Handvatten voor het maken van een maatregelafweging

In de voorgaande subparagrafen is aangegeven met welke maatregelen, en tegen welke kosten, de contourafstanden voor trillingen zijn te reduceren. Bij de uiteindelijke afweging voor het wel of niet nemen van maatregelen adviseren wij om, conform bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, de volgende overwegingen mee te nemen:

1. De beoordeling van de trillingen in dit rapport is gebaseerd op zwaar landbouwverkeer in de vorm van rupstractoren. Overig landbouwverkeer veroorzaakt aanzienlijk lagere trillingen, hiervoor geldt een contourafstand van 12 meter (i.p.v. 46 tot 49 meter).
2. Het zware type voertuigen (rupstractoren) waarop de beoordeling is gebaseerd, wordt niet voor normale transporten gebruikt, en zal dus naar verwachting slechts incidenteel passeren (en vermoedelijk nog beperkter in de nachtperiode waarvoor de strengste

² SK = Stichtingskosten, en betreft kosten per gebouw. Voor de maatregelen in de bodem is gerekend met een lengte van 30 meter, direct langs de Schapendijk

streefwaarden gelden). De contourafstand voor vrijstaande woningen overdag bedraagt 24 meter. In de zone buiten 24 meter zullen dus alleen zeer incidenteel overschrijdingen (namelijk alleen 's nachts) optreden.

3. Er is al sprake van vrijstaande bebouwing op korte afstand tot de Schapendijk. De trillingshinder in de toekomstige bebouwing zal, bij gelijke of grotere afstand tot de Schapendijk, daarom vergelijkbaar zijn aan de trillingen in deze bestaande bebouwing. Daarom kan, indien nodig, voor de nieuwbouw een lagere beschermingsgraad worden gehanteerd, door deze te beoordelen als bestaande situatie (die soepeler streefwaarden kent omdat hierin een zeker gewenningseffect is meegenomen). Hierbij komen de trillingscontouren iets minder dan een factor 2 dichter bij de weg te liggen.

Bij het niet treffen van maatregelen in het plan dient een motivatie te worden opgesteld waarbij, op basis van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, betoogd wordt dat geen maatregelen tegen trillingen worden genomen gezien het incidentele karakter van de overschrijdingen en het gegeven dat de kosten van maatregelen niet in verhouding staan tot het effect daarvan, of dat er sprake is van zeer sterke negatieve neveneffecten (zoals ruimtebeslag, hinder tijdens realisatie, beperkte toekomstvastheid). Verder dient dan te worden betoogd dat, gezien het beperkte aantal zware voertuigpassages, in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn ook zonder maatregelen tegen trillingen geen onacceptabele situatie ontstaat in de geplande bebouwing.

4.3.7 Onzekerheden in het onderzoek

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

1. Ten aanzien van de trillingsbron: de natuurlijke variatie in de trillingen als gevolg van de temperatuur en de status van het wegdek kan zorgen voor zo'n 20% variatie in de trillingen, afhankelijk van onder meer de bodemopbouw. Er is gemeten in een klimatologisch als normaal te typeren periode, de wegligging was normaal. is op basis van bovenstaande informatie geen reden om te twijfelen aan de representativiteit van de berekeningen voor de toekomstige trillingen.
2. Ten aanzien van de bodem geldt dat met name op korte afstand tot de trillingsbron variaties in de trillingen mogelijk zijn door lokale variaties in de bodem. Om de invloed hiervan te beperken is gebruik gemaakt van een groot aantal meetpunten. Deze onzekerheden zijn daarom meegenomen in het onderzoek.
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. Voor De Koepel geldt dat de onzekerheid in de resultaten beperkt is, hier is namelijk al in het gebouw zelf gemeten.

Bovenstaande onzekerheden geven geen aanleiding tot een andere maatregelafweging.

4.4 Trillingsschade

Tenslotte, op basis van de metingen geldt dat trillingen aan de funderingen van de nieuwe woningen lager zullen zijn dan de grenswaarden voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn. Op afstanden van meer dan 5 meter geldt dat de kans op trillingsschade als gevolg van de passage van landbouwvoertuigen kleiner is dan 1 procent.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In het voorliggende onderzoek zijn de verwachte trillingen in nieuw te bouwen woningen in het plangebied van Zuidmaten Oost in Den Ham bepaald. Uit het onderzoek volgt dat alleen zwaar landbouwverkeer (rupstractoren) tot overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder leidt in twee gebouwen in het plangebied. Normaal landbouwverkeer voldoet aan het beoordelingskader. De maximale contourafstanden (de werkelijke contourafstanden zijn afhankelijk van het type woning) zijn weergegeven in onderstaande figuur.

Omdat niet voor alle types voertuigen die kunnen passeren wordt voldaan aan het beoordelingskader, is een maatregelafweging uitgevoerd. De belangrijkste conclusies uit deze afweging zijn:

1. Maatregelen aan de bron, in dit geval de wegconstructie van de Schapendijk (zoals een zwaardere fundering toepassen) zijn slechts beperkt effectief, hebben hoge kosten en vallen buiten het plangebied.
2. Maatregelen in de bodem, zoals een sloot of trillingsscherm langs de weg, kunnen de trillingen met maximaal 50% reduceren. Hiermee kunnen de contourafstanden met een factor 2 tot 4 worden verkleind. Deze maatregelen zijn echter beperkt toekomstvast en brengen hoge kosten met zich mee.
3. Voor maatregelen aan de bebouwing geldt dat alleen het afveren van de woningen (door een dubbele fundering toe te passen) echt effectief is. Deze maatregel brengt hoge kosten met zich mee.



Tenslotte, de trillingen van zwaar landbouwverkeer zijn lager dan de grenswaarden voor trillingsschade uit de SBR A-richtlijn in het plangebied. De trillingen van het landbouwverkeer zullen daarmee niet leiden tot schade aan de bebouwing.

5.2 Aanbevelingen

Zoals hierboven aangegeven is het mogelijk om met maatregelen te voldoen aan het beoordelingskader voor trillingshinder in alle woningen in het plangebied. Bij de uiteindelijke afweging om wel of geen maatregelen te nemen, adviseren wij om, conform bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, de volgende overwegingen mee te nemen:

1. De beoordeling van de trillingen is gebaseerd op zwaar landbouwverkeer in de vorm van rupstractoren. Overige zwaar landbouwverkeer veroorzaakt geen overschrijdingen in het plangebied.
2. Het zware type voertuigen (rupstractoren) waarop de beoordeling is gebaseerd, wordt niet voor normale transporten gebruikt, en zal dus naar verwachting slechts incidenteel passeren.
3. Er is al sprake van vrijstaande bebouwing op korte afstand tot de Schapendijk. De trillingshinder in de toekomstige bebouwing zal, bij gelijke of grotere afstand tot de Schapendijk, daarom vergelijkbaar zijn aan de trillingen in deze bestaande bebouwing. Daarom kan, indien nodig, voor de nieuwbouw een lagere beschermingsgraad worden gehanteerd, door deze te beoordelen als bestaande situatie (die soepeler zijn omdat hierin een zeker gewinningseffect is meegenomen). Hierbij komen de trillingscontouren iets minder dan een factor 2 dicht bij de weg te liggen.

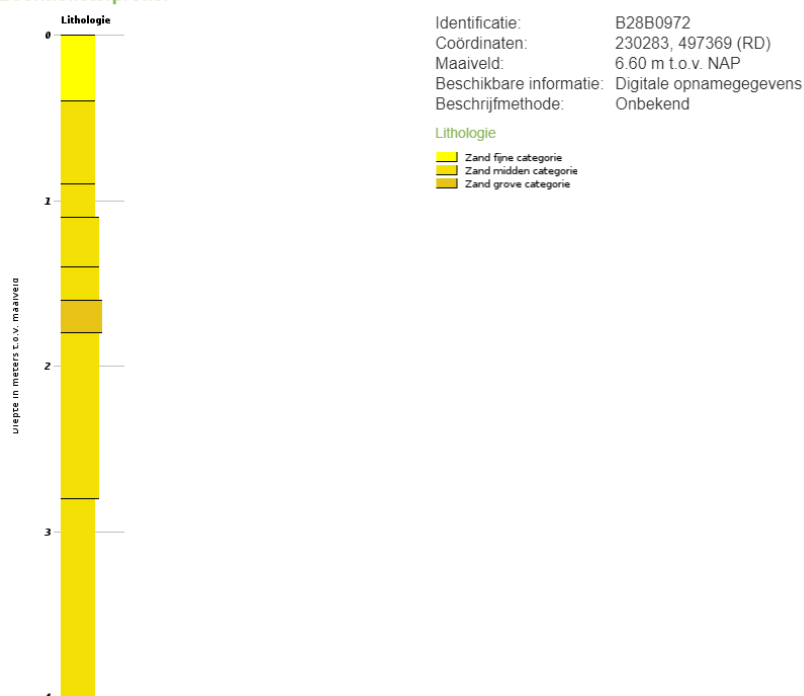
Bij het niet treffen van maatregelen in het plan dient een motivatie te worden opgesteld waarbij, op basis van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, betoogd wordt dat geen maatregelen tegen trillingen worden genomen gezien het incidentele karakter van de overschrijdingen en het gegeven dat de kosten van maatregelen niet in verhouding staan tot het effect daarvan, of dat er sprake is van zeer sterke negatieve neveneffecten (zoals ruimtebeslag, hinder tijdens realisatie, beperkte toekomstvastheid). Verder dient dan te worden betoogd dat, gezien het beperkte aantal zware voertuigpassages, in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn ook zonder maatregelen tegen trillingen geen onacceptabele situatie ontstaat in de geplande bebouwing.

Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek

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.

Een boring in het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 11. Hier is te zien dat de bodem voornamelijk is opgebouwd uit zandlagen met wisselende eigenschappen. Uit bodemonderzoek in het plangebied is zichtbaar dat lokaal ook klei- en leemlagen voorkomen. In een dergelijke gelaagde, zandige bodem dempen de trillingen slecht uit met de afstand, en kunnen deze tot op grotere afstand voelbaar zijn.

Boormonsterprofiel



Figuur 11 Boring nabij het onderzoeksgebied

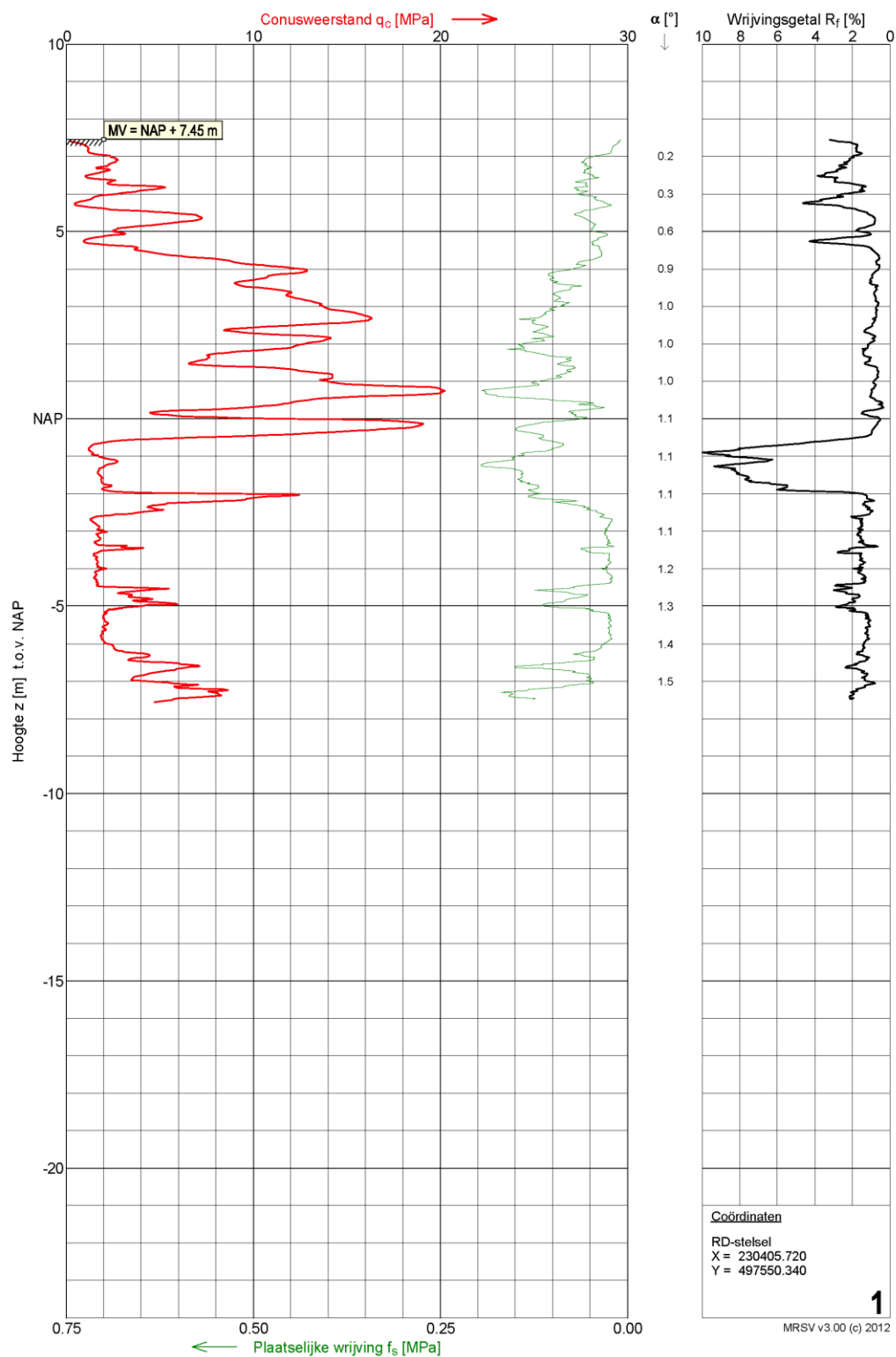
Een representatieve sondering uit het onderzoeksgebied, waarin de gelaagde bodemopbouw goed zichtbaar is (aan de sterk wisselende conusweerstand en wrijving) is weergegeven in Figuur 12.

Sondering 1

Opdracht : 1503992
Plaats : Den Ham
Datum : 12-01-2016
Project : Plan het Zuidmaten Oost

Conus nummer : S15-CFI.405
Soort conus : Elektrisch
Opp. conuspunt : 1500 mm²

NEN-EN-ISO-22476-1
Klasse 3, type TE1
Sondeerunit : SW10
Blad : 1 van 1



MOS GRONDMECHANICA B.V.

Postbus 801, 3160 AA Rhoon - Tel: 088 51 30 200 - www.mosgeo.com

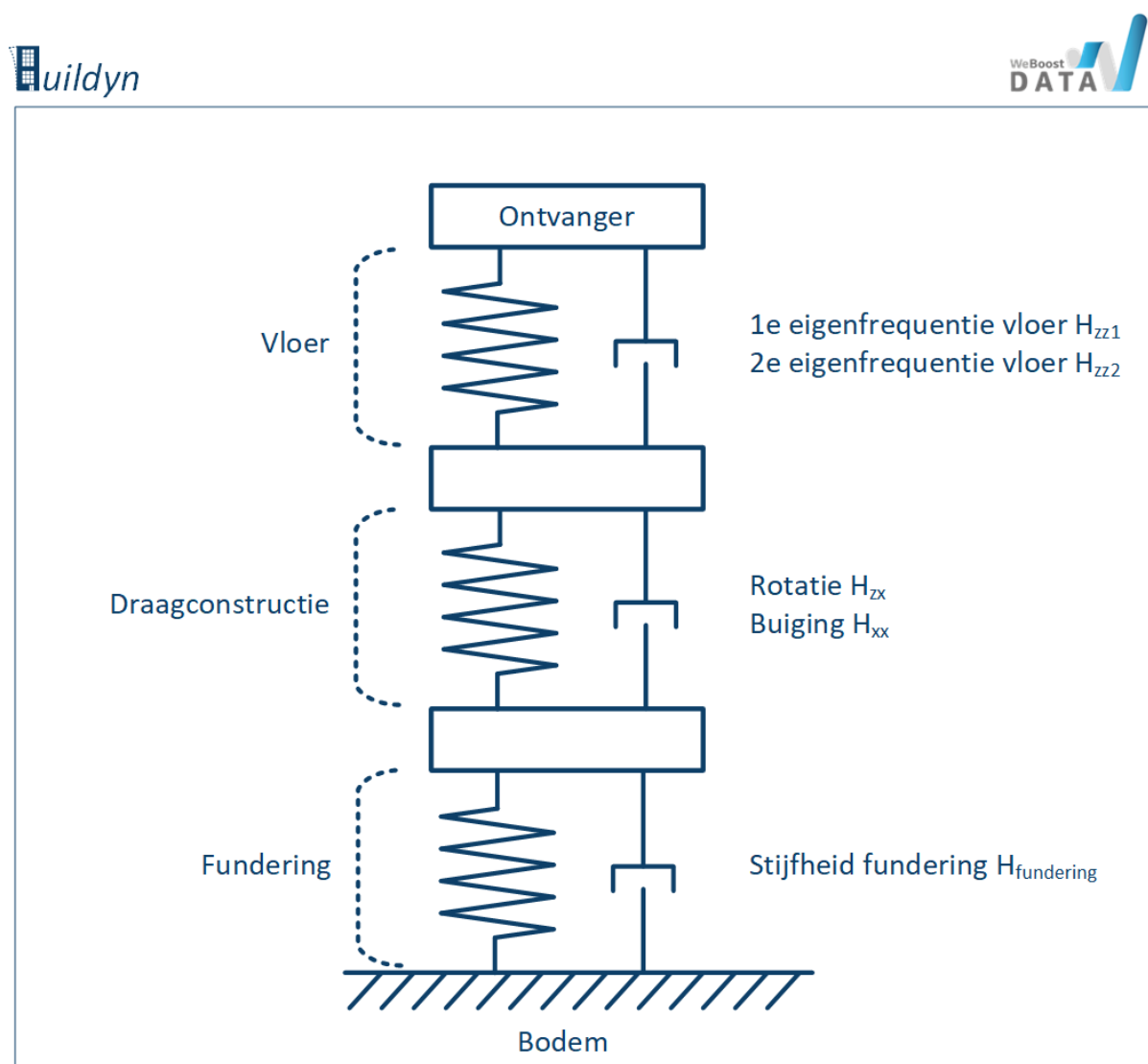


Figuur 12 Sondering in het onderzoeksgebied

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 een gebouw gemodelleerd en doorgerekend wordt. De resultaten van het model zijn geijkt 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 13. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 13, worden in deze bijlage nader toegelicht.



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)
- 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.

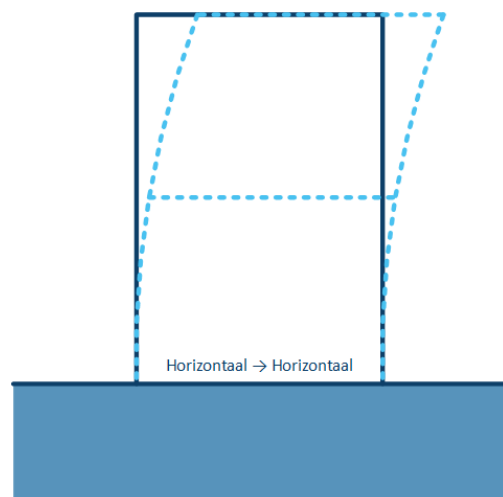
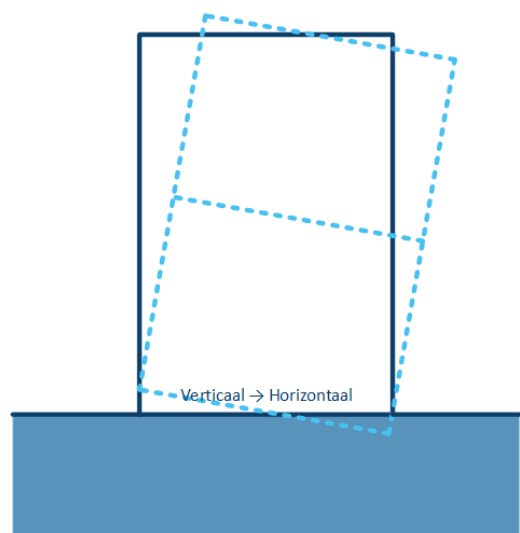
Dit effect wordt in Buildyn weergegeven als H_{zx} , en is afhankelijk van:

- 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.

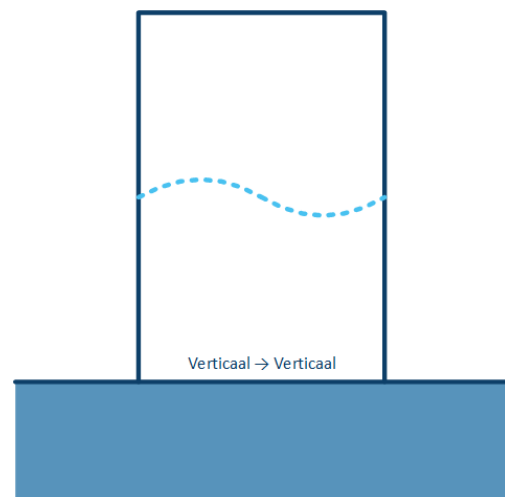
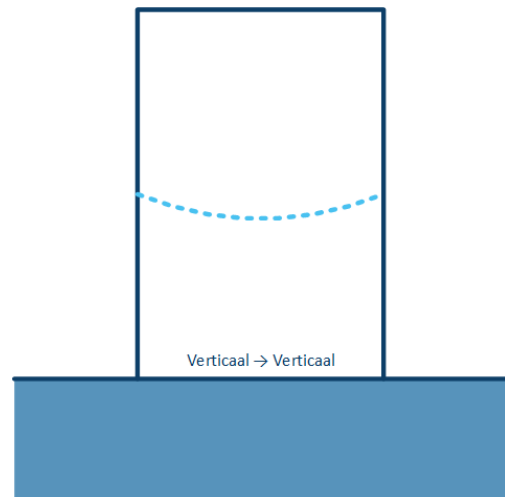
De eerste buigmodus van de vloer (bij de eerste eigenfrequentie) is simpele doorbuiging, zoals weergegeven in de principeschets rechts. Met name de eigenfrequentie (de frequentie waarvoor de vloer gevoelig is) en de damping bepalen in hoeverre de trillingen worden opgeslingerd. De trillingen zijn het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

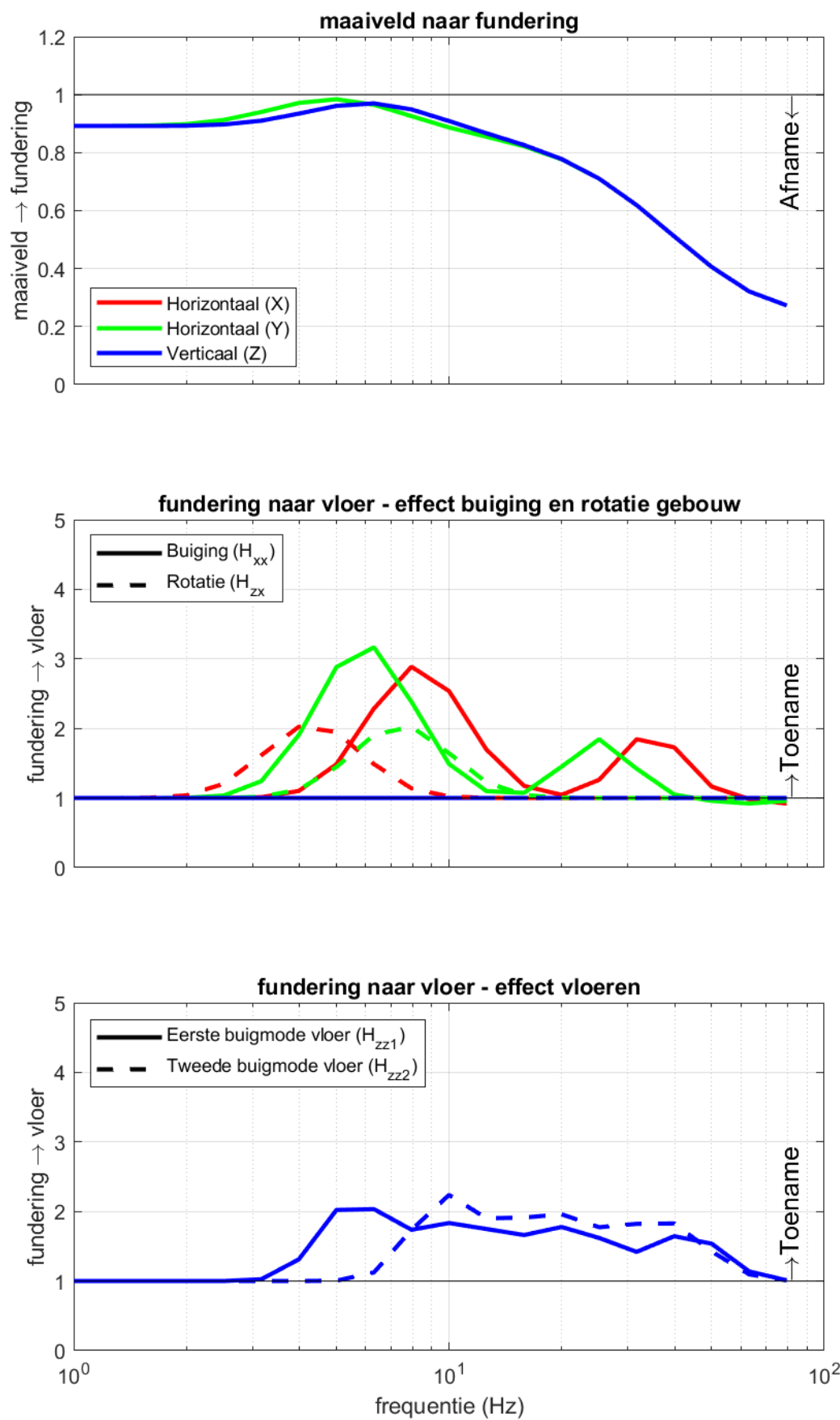
Bij de tweede buigmodus van de vloer (bij de tweede eigenfrequentie) zijn de trillingen maximaal op ongeveer $\frac{1}{4}$ van het vloerveld, zie de principeschets rechts.

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 een vrijstaande woning zijn weergegeven in Figuur 14.

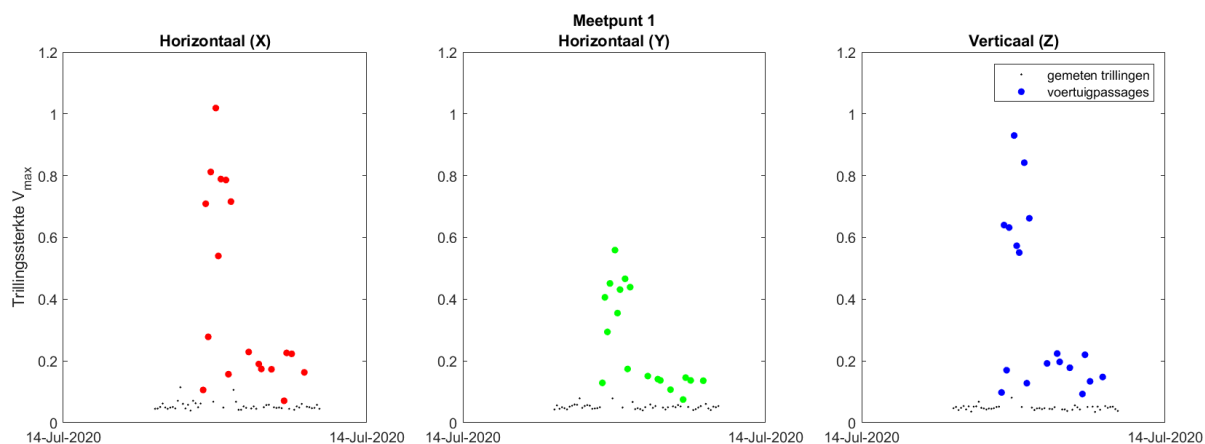


Figuur 14 Buildyn-resultaten voor vrijstaande woning

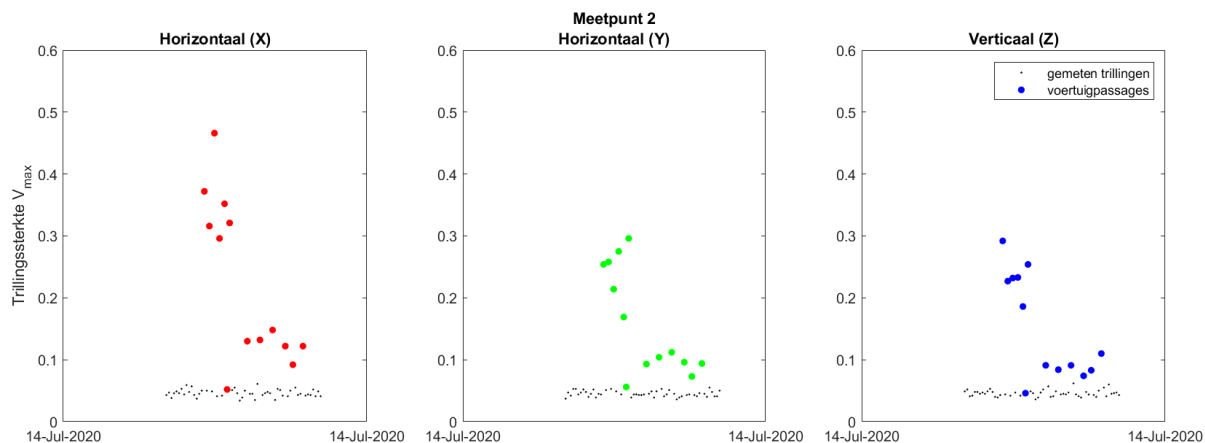


Meetresultaten

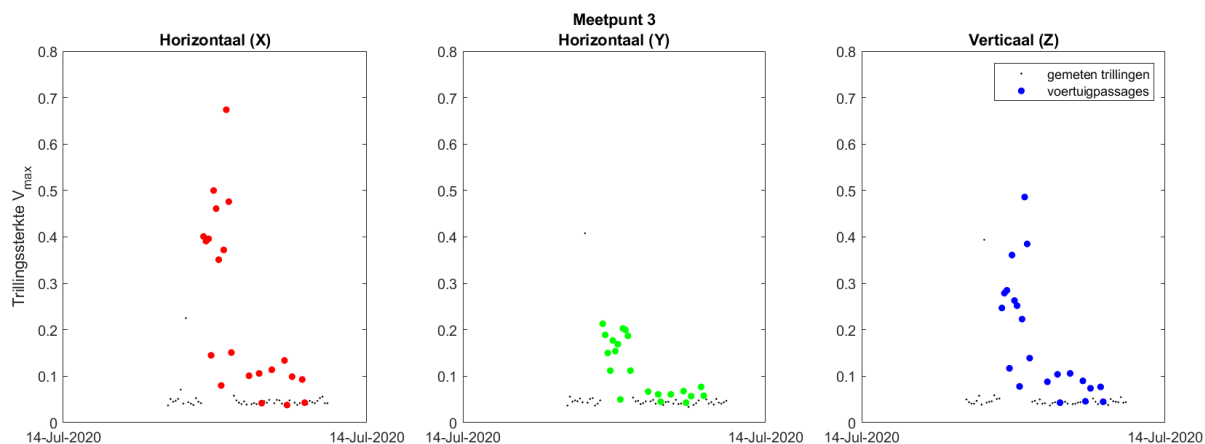
In deze bijlage zijn de meetresultaten (trillingen als functie van de tijd en tertsbandspectra) van alle meetpunten in het plangebied opgenomen.



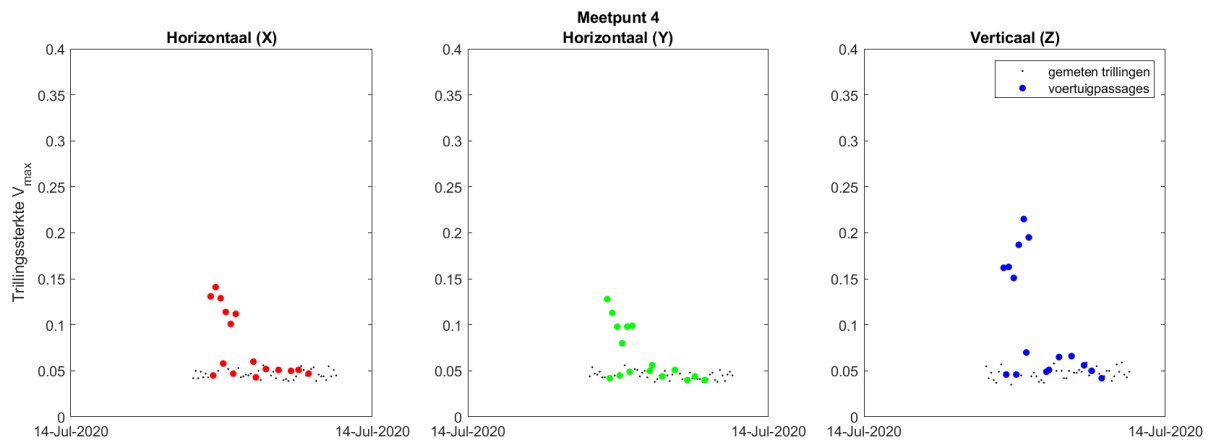
Figuur 15 Trillingen als functie van de tijd op meetpunt 1 (7 meter van weg, achter sloot)



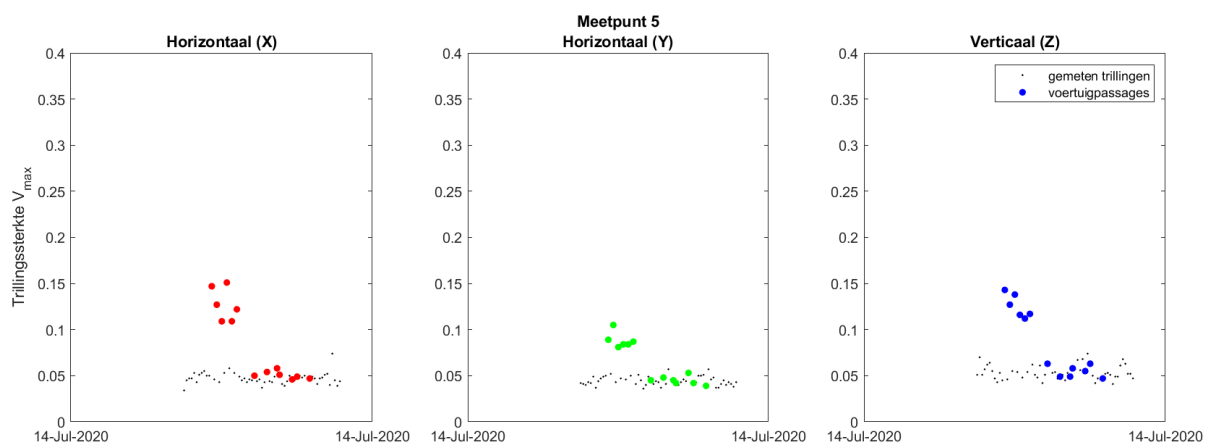
Figuur 16 Trillingen als functie van de tijd op meetpunt 2 (10 meter van weg, achter sloot)



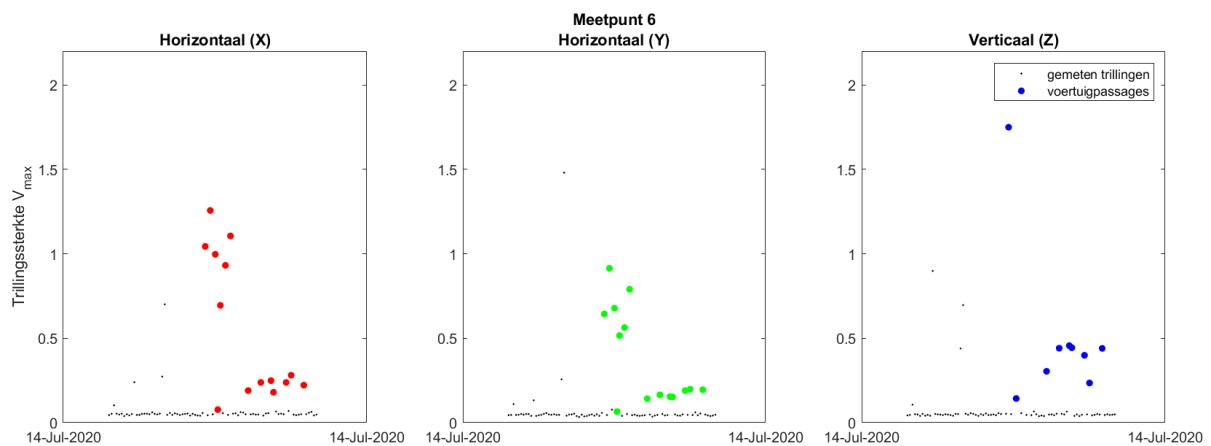
Figuur 17 Trillingen als functie van de tijd op meetpunt 3 (15 meter van weg, achter sloot)



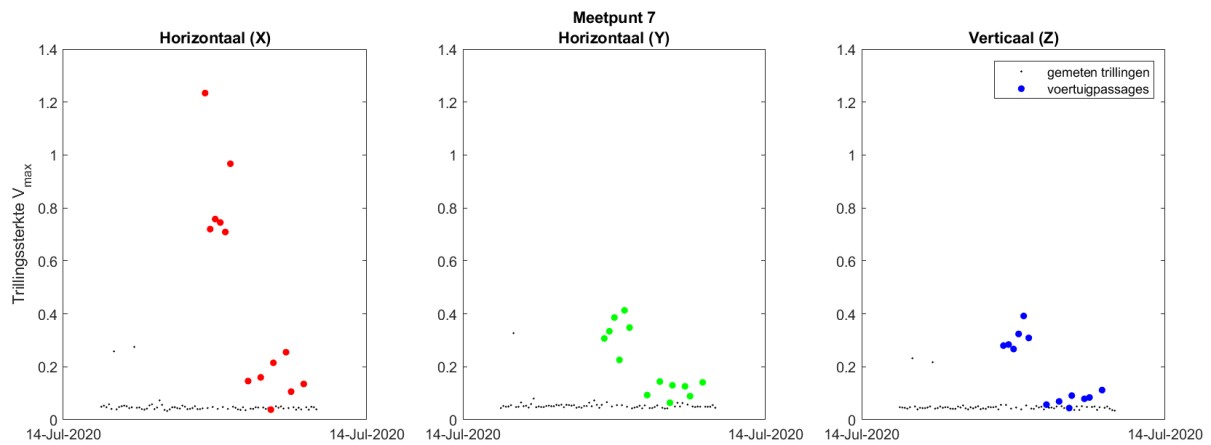
Figuur 18 Trillingen als functie van de tijd op meetpunt 4 (25 meter van weg, achter sloot)



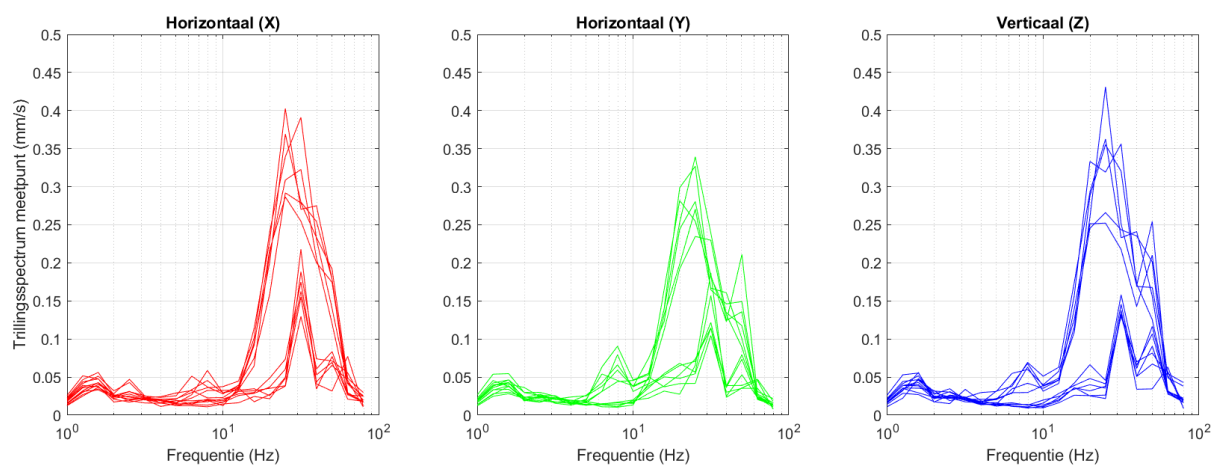
Figuur 19 Trillingen als functie van de tijd op meetpunt 5 (35 meter van weg, achter sloot)



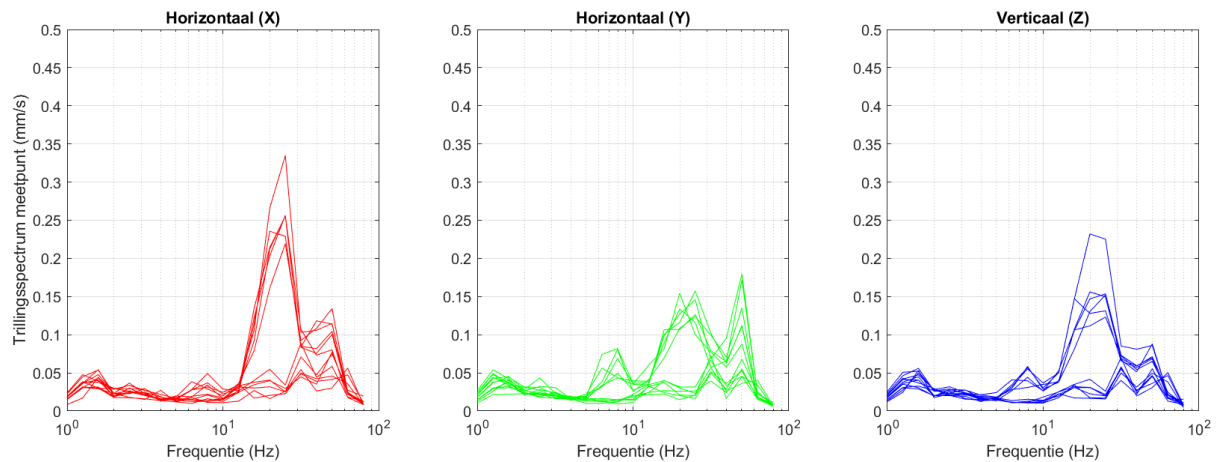
Figuur 20 Trillingen als functie van de tijd op meetpunt 6 (7 meter van weg)



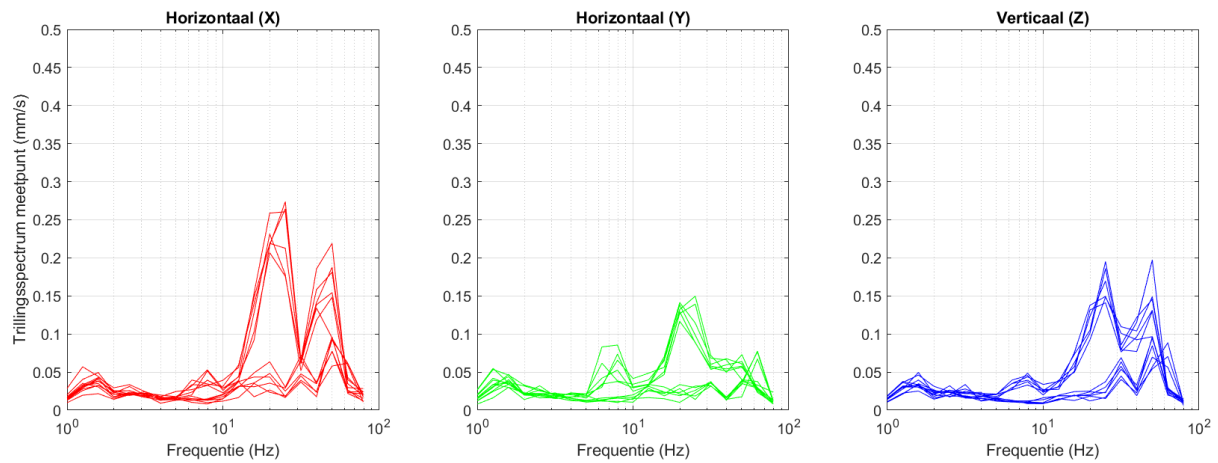
Figuur 21 Trillingen als functie van de tijd op meetpunt 7 (10 meter van weg)



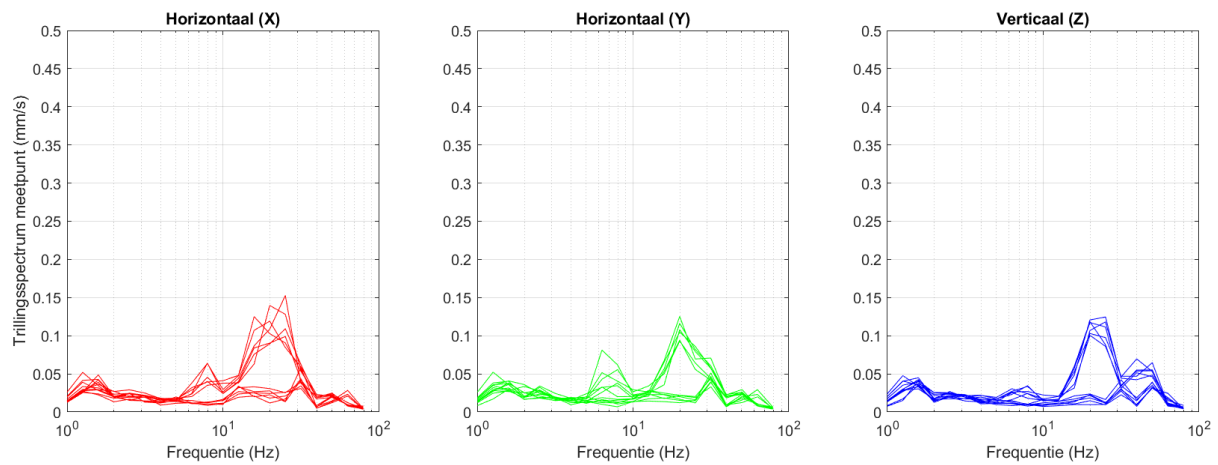
Figuur 22 Trillingsspectra op meetpunt 1 (7 meter van weg, achter sloot)



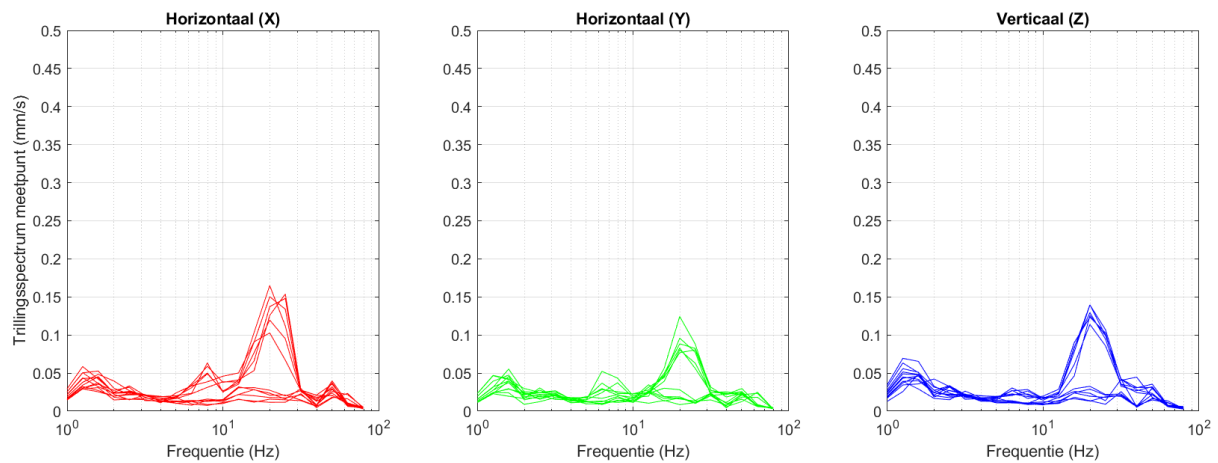
Figuur 23 Trillingsspectra op meetpunt 2 (10 meter van weg, achter sloot)



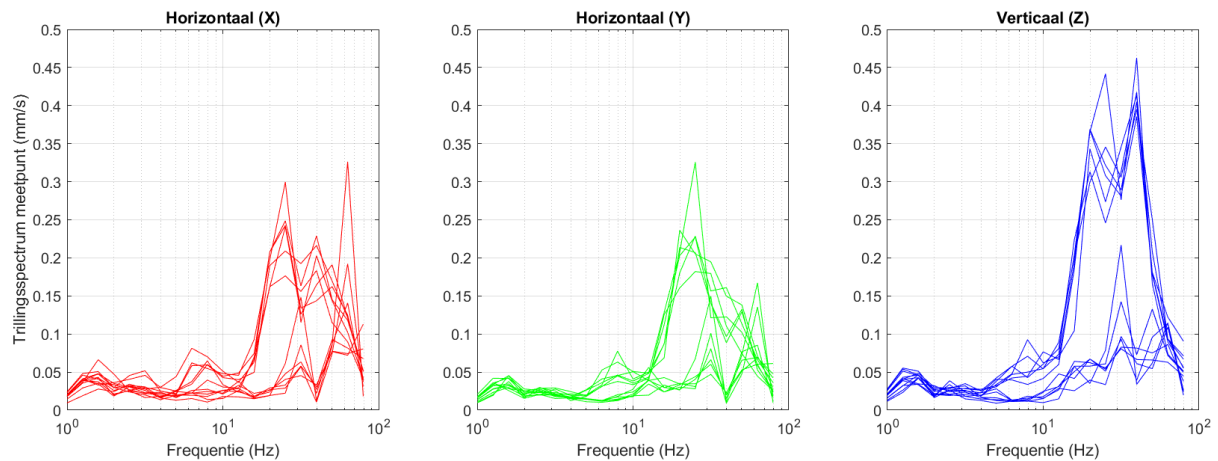
Figuur 24 Trillingsspectra op meetpunt 3 (15 meter van weg, achter sloot)



Figuur 25 Trillingsspectra op meetpunt 4 (25 meter van weg, achter sloot)



Figuur 26 Trillingsspectra op meetpunt 5 (35 meter van weg, achter sloot)

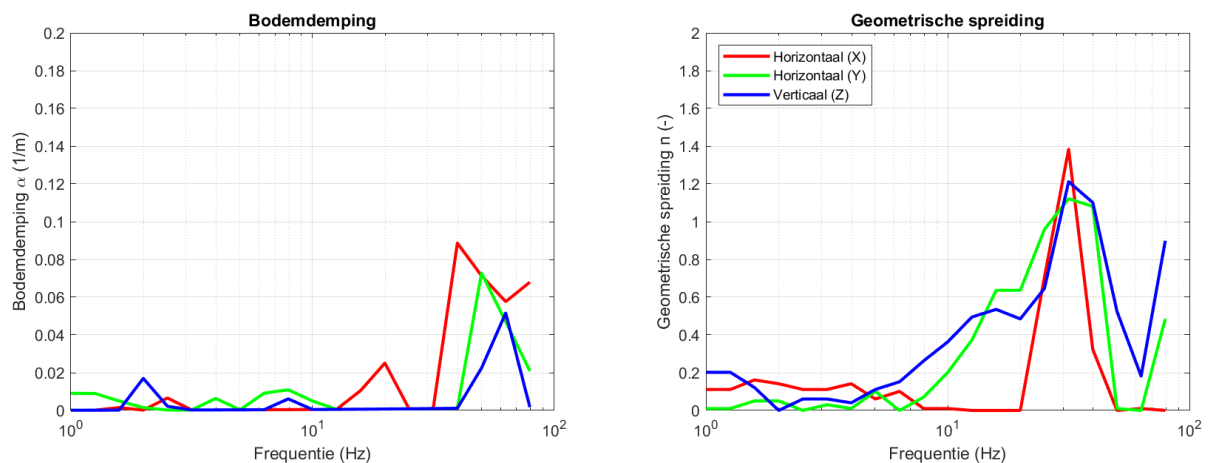


Figuur 27 Trillingsspectra op meetpunt 6 (7 meter van weg)

Met behulp van de hierboven weergegeven trillingsspectra is de uitdemping van de trillingen met de afstand bepaald. Voor deze uitdemping van de trillingen met de afstand wordt de Barkanvergelijking gebruikt (zie vergelijking 1).

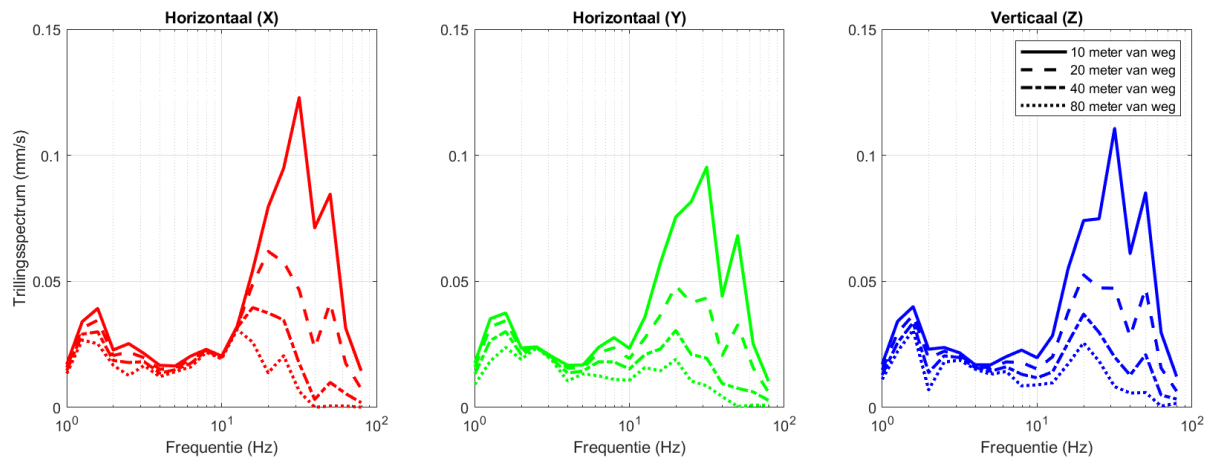
$$V(r) = V(r_0) \left(\frac{r_0}{r} \right)^n e^{-\alpha(r-r_0)} \quad (1)$$

Hierbij is $V(r)$ de trillingssterkte op een willekeurige afstand r , r_0 is een referentieafstand (hier 20 meter), α is de bodemdemping (zie Figuur 28) en n is de geometrische uitspreiding van de trillingsgolf. Deze resultaten zijn gebruikt bij het bepalen van de trillingen op een willekeurige, niet gemeten afstand.



Figuur 28 Bodemdemping α (links) en geometrische spreidingsfactor n (rechts) in het plangebied

De uitdemping van de trillingen met de afstand is goed zichtbaar in Figuur 29. Deze figuur is samengesteld op basis van de hierboven weergegeven trillingsspectra, waarbij deze zijn geïnterpoleerd met behulp van de Barkanvergelijking. Op afstanden van meer dan ca. 50 meter zijn de trillingen van de landbouwvoertuigen naar verwachting lager dan de achtergrondtrillingen.



Figuur 29 Trillingsspectra op 10, 20, 40 en 80 meter van de weg