

NIEUWBOUW WOLWEG STROE

Trillingsonderzoek



WBD2005

ir. P.M. Boon
13 maart 2020
versie 1.0

Managementsamenvatting

Tussen de percelen aan de Wolweg 57 en 59 in Stroe worden 2 nieuwe woningen gerealiseerd. De nieuw te bouwen woningen liggen in de nabijheid van de spoorlijn Amersfoort – Apeldoorn. Gezien de beperkte afstand tot het spoor kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet *op voorhand* worden uitgesloten. Doel van het voorliggende onderzoek is daarom 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.

De belangrijkste bevinding van het onderzoek is dat incidentele overschrijdingen van het beoordelingskader niet zijn uit te sluiten. Het gaat om minder dan 2 overschrijdingen per week, veroorzaakt door goederentreinen met een afwijkend trillingsniveau.

Omdat niet volledig wordt voldaan aan het beoordelingskader, is een maatregelafweging uitgevoerd. Hieruit volgt dat:

1. Maatregelen aan het spoor gezien de hoge kosten niet doelmatig zijn. Bovendien vallen deze maatregelen buiten het plangebied.
2. Maatregelen in de bodem gezien de incidentele overschrijdingen, de hoge kosten van deze maatregelen en de impact op de bruikbaarheid van de buitenruimte (maatregel moet in de tuin, direct voor de woningen worden getroffen) niet doelmatig zijn. Bovendien zijn dergelijke maatregelen niet aanpasbaar aan eventuele toekomstige wijzigingen aan het spoor of rond de woningen.
3. Voor maatregelen aan de woningen geldt dat met meerdere maatregelen kan worden voldaan aan het beoordelingskader. Wij adviseren om in de verdere uitwerking van de plannen de volgende afwegingen uit te voeren:
 - a. Is het mogelijk om de woningen breder te maken (in dwarsrichting)?
 - b. Is het mogelijk om de woningen stijver te maken in dwarsrichting, bijvoorbeeld door het beperken van grote openingen in de voor- en achtergevel en het toevoegen van dragende tussenwanden?
 - c. Is het mogelijk om meer dempende materialen te gebruiken, zoals metselwerk i.p.v. prefab beton, of breedplaatvloeren i.p.v. kanaalplaatvloeren?
 - d. Is het mogelijk om de fundering zwaarder uit te voeren, bijv. een plaatfundering i.p.v. een balkenfundering?
 - e. Is het mogelijk om een grotere beukmaat te hanteren (7 tot 8.5 meter)? Hierdoor valt de eigenfrequentie van de vloeren niet samen met de dominante trillingen van de treinen

Met (een combinatie van) bovenstaande aanpassingen is het mogelijk om te voldoen aan de streefwaarden voor trillingshinder. Overigens geldt dat ook zonder bovenstaande aanpassingen geen onacceptabele situatie ontstaat in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, gezien het feit dat het gaat om beperkte overschrijdingen van het beoordelingskader, er sprake is van hooguit incidentele overschrijdingen (minder dan 1

per dag, ook na intensivering van het goederenvervoer) en dat wel ruim wordt voldaan aan de soepeler streefwaarden voor een bestaande situatie uit de SBR B-richtlijn.

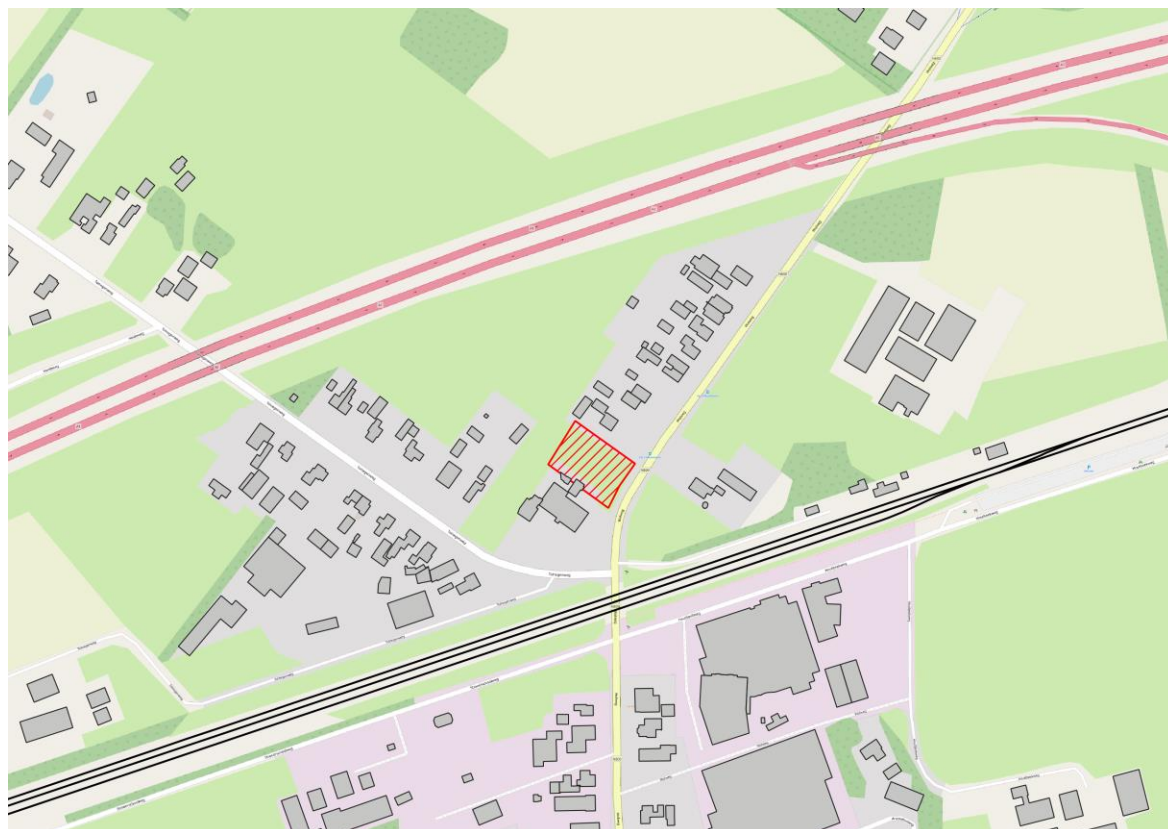
Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Situatie en uitgangspunten.....	7
2.1	Situatie.....	7
2.2	Uitgangspunten	8
3	Beoordelingskader	10
3.1	Beoordelingskader.....	10
3.2	Rekenmethode	11
4	Verwachte trillingen in de woningen	14
4.1	Meetresultaten.....	14
4.2	Trillingen in geplande nieuwbouw	15
4.3	Maatregelen	16
5	Conclusies en aanbevelingen.....	22
I	Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek.....	23
II	Bijlage Rekenmodel Buildyn.....	24
	Fundering	25
	Draagconstructie	25
	Vloeren	26
	Resultaten	26

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Tussen de percelen aan de Wolweg 57 en 59 in Stroe worden 2 nieuwe woningen gerealiseerd. De nieuw te bouwen woningen liggen in de nabijheid van de spoorlijn Amersfoort – Apeldoorn, zie Figuur 1. Gezien de beperkte afstand tot het spoor kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet *op voorhand* worden uitgesloten.



Figuur 1 Plangebied Wolweg tussen 57 en 59 te Stroe

1.2 Doel

Doel van dit onderzoek is om vast te stellen of er sprake zal zijn van trillingshinder in de geplande woning, en zo ja, met welke maatregelen deze hinder is te voorkomen. Hiervoor maken wij een nauwkeurige predictie van de trillingen in de geplande woning. 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 constructieve aanpassingen of maatregelen wel wordt voldaan aan het beoordelingskader.

1.3 Leeswijzer

Wij beschrijven de situatie in het onderzoeksgebied en de uitgangspunten in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 lichten we het beoordelingskader en de gevolgde rekenmethodiek toe. Met behulp van de uitgangspunten berekenen we de trillingen in de woning op basis van de

gemeten trillingen en de eigenschappen van het gebouw. Het resultaat van deze stap wordt in hoofdstuk 4 beschreven. In hoofdstuk 5 geven we de conclusies en aanbevelingen.

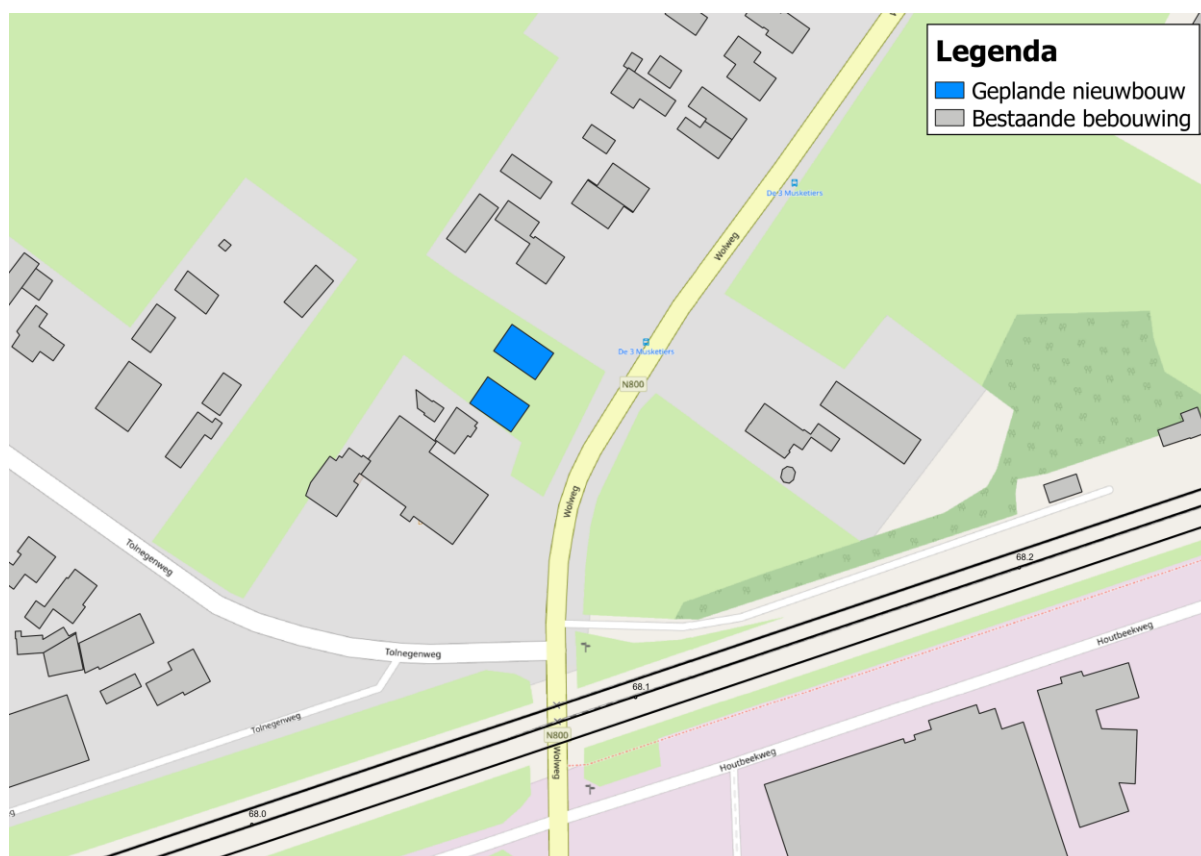
De bijlages bevatten technische informatie van het onderzoek, zoals een toelichting op de rekenmethodiek en grondonderzoek van nabijgelegen locaties.

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 onbebouwd perceel, waarop 2 woningen met bijbehorende opstallen worden gerealiseerd, zie Figuur 2.



Figuur 2 Bestaande en toekomstige bebouwing

De nieuwbouw bevindt zich op een afstand van zo'n 70 tot 80 meter van het spoor, en nabij de spoorwegovergang Wolweg. De rijsnelheid en het aantal treinen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 1. Deze gegevens zijn gebaseerd op gegevens uit het Geluidsregister Spoor. Volgens de NMCA spoor 2030-2040 (vooruitblik voor goederenvervoer) zal het goederenvervoer op deze lijn toenemen van de huidige 12 tot 14 goederentreinen naar 32 tot 44 goederentreinen per dag. Er wordt geen verandering in het aantal reizigerstreinen voorzien.

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

Type trein	Rijsnelheid	dag (7:00 – 19:00)	avond (19:00 – 23:00)	nacht (23:00 – 7:00)
Intercity	130 km/h	3.33	2.25	0.50
Goederentrein	90 km/h	0.25	0.33	0.26

Andere trillingsbronnen, zoals lokaal verkeer, zullen niet voor waarneembare trillingen in de woningen zorgen, gezien de afstand tot de weg, de lage rijsnelheid en de gladde wegopbouw (asfalt, geen drempels).

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 in de vorm van vrijstaande woningen gebouwd. Er is op dit moment nog geen ontwerp van de bebouwing uitgewerkt, daarom wordt in de berekeningen uitgegaan van de gegevens in Tabel 2, gebaseerd op de kaders in het plan, het geluidsonderzoek (*Rapport 21900062.R01 van SPA WNP ingenieurs*) en de eigenschappen van de omliggende bebouwing. Het rekenmodel voor de bebouwing is gebaseerd op Tabel 2.

Tabel 2 Eigenschappen bebouwing

Parameter	Eigenschappen
Vloertype	Kanaalplaatvloer 200 mm met cementdekvloer 70 mm
Hoogte	3 bouwlagen (bouwhoogte 10 m)
Lengte vloerveld	6.0 tot 8.0 m
Breedte vloerveld	10.0 tot 12.0 m
Constructietype	Wanden-vloeren
Fundering	Op staal
Stijfheid gebouwen	Kalkzandsteen en metselwerk

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 uitdempnen 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 drie punten, zie Figuur 3. De metingen zijn uitgevoerd van 28 februari tot en met 6 maart 2020, en zijn verricht op maaiveld en aan de fundering van het bestaande pand Wolweg 57. De meetresultaten uit dit meetonderzoek geven we weer 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.¹

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

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

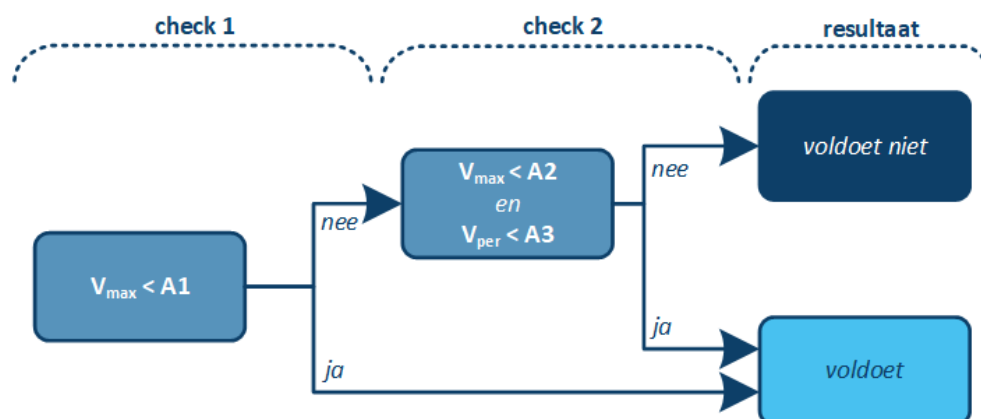
1. De richtlijn toetst zowel een maximaal optredende trillingssterkte (V_{max} , treedt op bij de trein die gedurende de meetperiode de hoogste trillingen veroorzaakt) als het tijdsgemiddelde van de trillingen (V_{per} , deze grootheid is in tegenstelling tot V_{max} dus ook afhankelijk van het aantal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

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

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

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



Figuur 4 Schema beoordeling SBR B-richtlijn

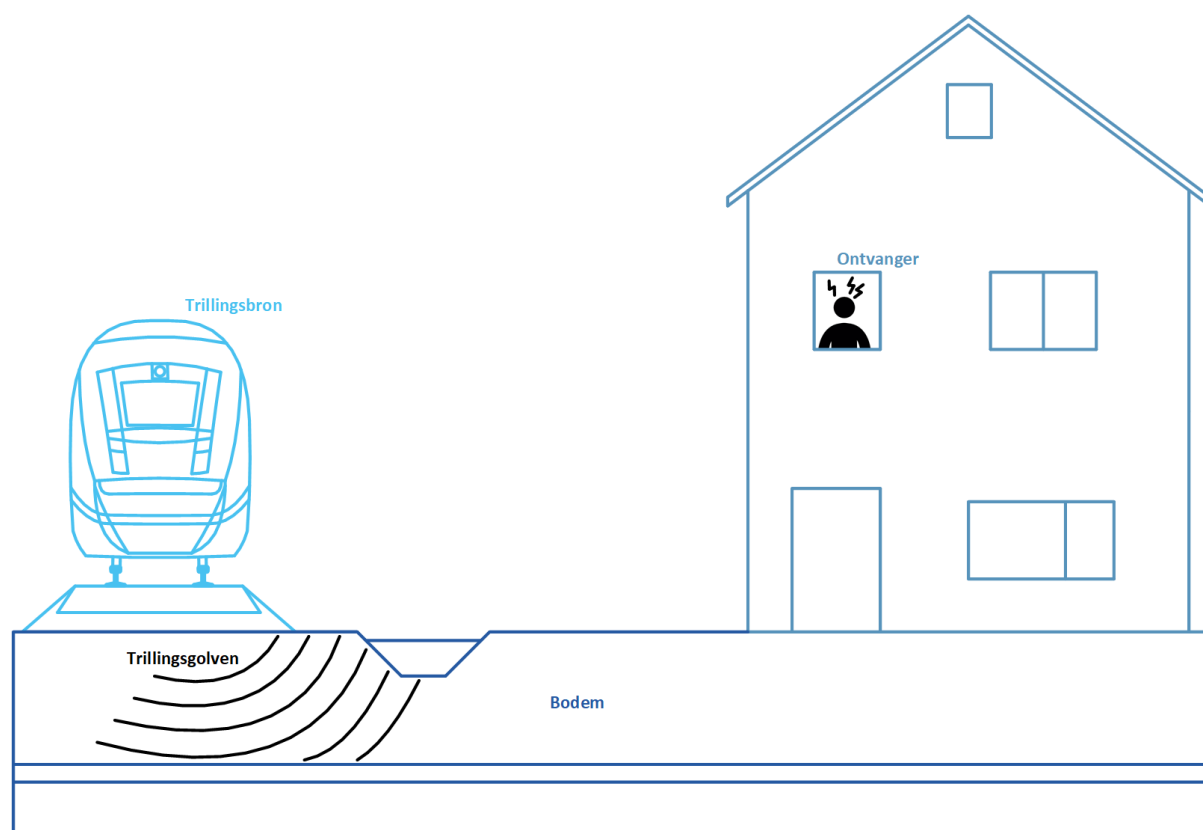
3.2 Rekenmethode

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 aan bestaande bebouwing een berekening gemaakt van de verwachte trillingen in de geplande nieuwe bebouwing. Deze verwachte trillingen zijn afhankelijk van de constructieve eigenschappen van de geplande bebouwing, maar ook van de bodem, de afstand tot het spoor en natuurlijk de gemeten trillingen. Hieronder wordt een korte uitleg gegeven over hoe trillingen zich voortplanten van de trillingsbron tot in het gebouw, en hoe dat is vertaald naar een rekenmodel.

3.2.1 Trillingen – van trillingsbron naar gebouw

Trillingen ontstaan doordat een bewegend object (een trein, tram of vrachtwagen bijvoorbeeld) over een niet-efen ondergrond rijdt. Door de massa en beweging van het voertuig, variaties in de ondergrond (die per definitie niet perfect vlak is) en variaties in de rondheid van de wielen van het voertuig ontstaan spanningen in de bodem die zich door de bodem verplaatsen. Afhankelijk van de opbouw van de bodem en de aanwezigheid van obstakels (zoals sloten en damwanden) verplaatsen de trillingen zich diep of juist ondiep door de bodem. Gebouwen worden daardoor in trilling gebracht. Afhankelijk van hoe het gebouw is geconstrueerd, worden bepaalde trillingen meer of minder versterkt in het gebouw. Deze trillingen kunnen als hinderlijk worden ervaren door personen in gebouwen. Dit hele systeem van trillingsbron (hier de trein), overdrachtsmedium (de bodem, waardoor de trillingen zich verplaatsen) en ontvanger (het gebouw met daarin de personen die de hinder ervaren) is schematisch weergegeven in Figuur 5.

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



Figuur 5 Trillingen – het system van trillingsbron, de bodem als doorgeefmedium en het gebouw als ontvanger

3.2.2 De trillingsbron

In dit onderzoek zijn treinen de bron van de trillingen. De trillingen van het treinverkeer zijn gemeten door Alcedo op meerdere punten in het plangebied, onder meer op maaiveld op de positie van een van de geplande woningen, aan de fundering van het bestaande pand Wolweg 57 en op maaiveld, dichtbij het spoor. De beoordeling van de trillingen in de geplande woning heeft plaatsgevonden op basis van deze metingen.

3.2.3 De bodem

De bodem op deze locatie bestaat hoofdzakelijk uit zandlagen met verschillende stijfheden, zie bijlage I. De uitdemping van de trillingen met de afstand is bepaald met een rekenmodel op basis van deze bodemopbouw voor een zo betrouwbaar mogelijke predictie van de trillingen.

3.2.4 Het gebouw

De trillingen gaan via de fundering een gebouw binnen. Afhankelijk van het type fundering, de bodem, de massa en afmetingen van het gebouw zal de fundering de trillingen meer of minder uitdempen. Vervolgens worden de trillingen in het gebouw weer versterkt door bewegingen van het gebouw en de vloeren. Het gebouwgedrag is in dit onderzoek bepaald op basis van de bodemopbouw, een aantal mogelijkheden voor de constructieve eigenschappen en voor 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.

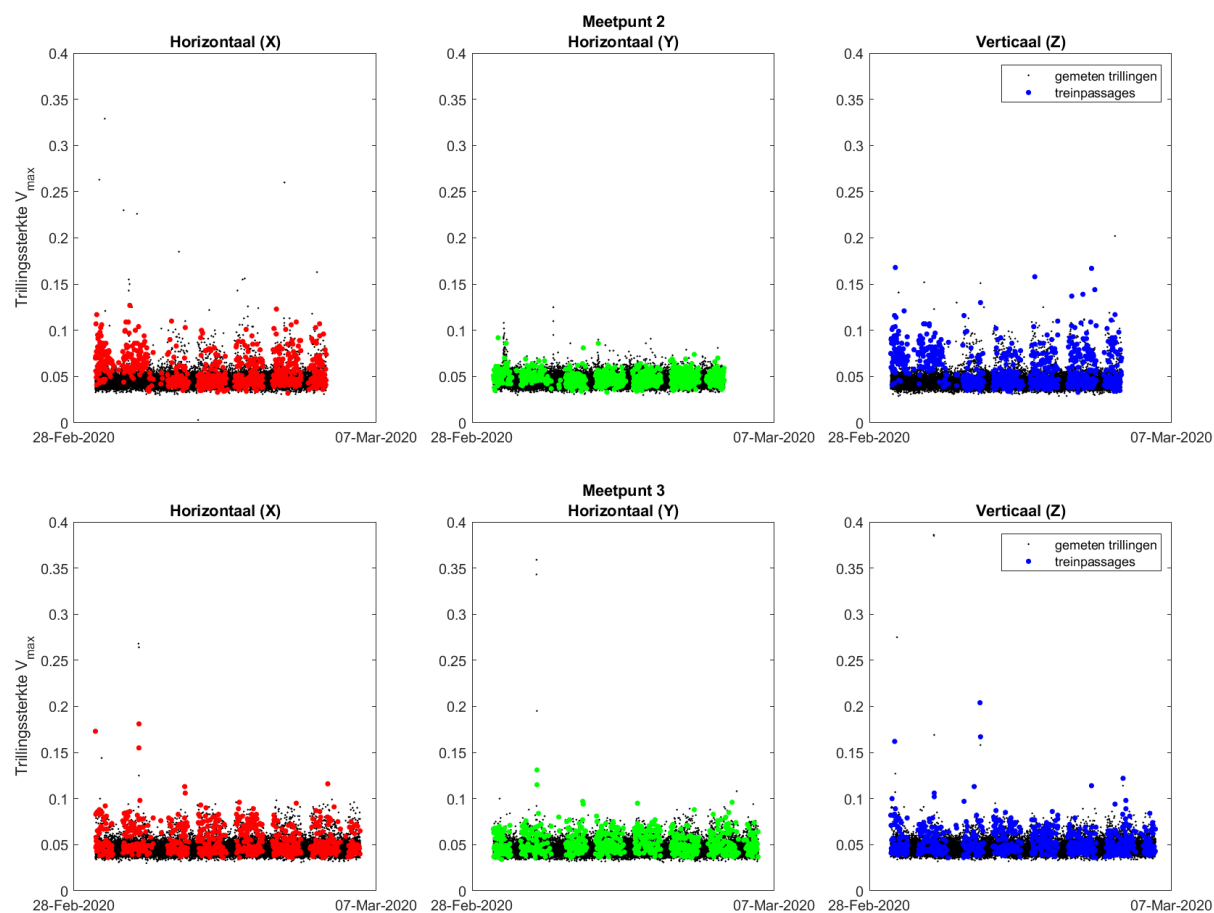
4 Verwachte trillingen in de woningen

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

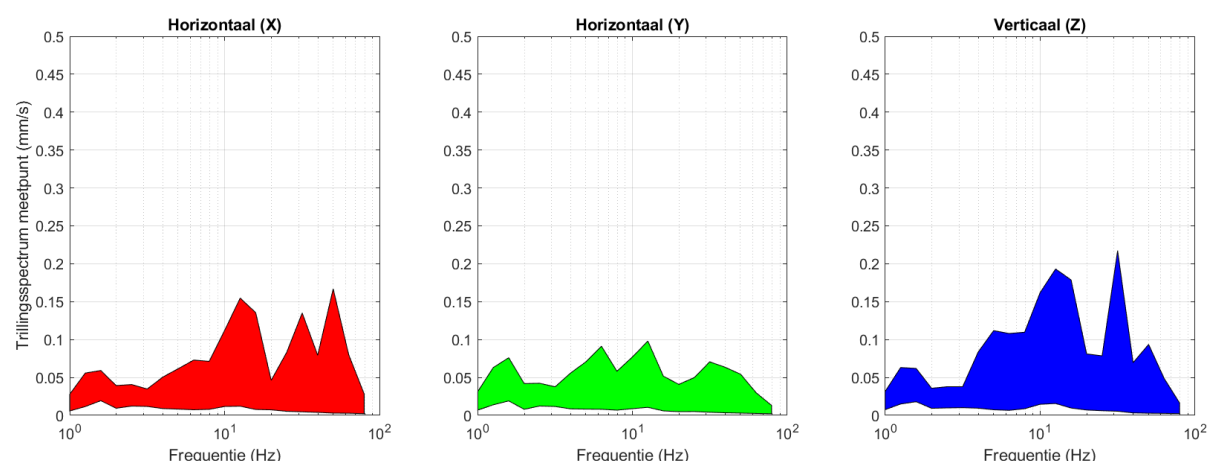
Alcedo heeft metingen uitgevoerd aan de fundering van het pand Wolweg 57 (op ca. 45 meter van het doorgaande spoor, dichterbij dan de nieuwe woningen). De trillingen op dit meetpunt en op maaiveld, t.p.v. de nieuwe woningen, zijn weergegeven in Figuur 6. In Figuur 6 valt het volgende op:

1. De trillingen zijn maatgevend in verticale richting, de hoogst gemeten waarde aan de fundering van Wolweg 57 bedraagt ca. 0.16, op maaiveld is dat iets hoger, 0.20.
2. De hoogste trillingen worden veroorzaakt door goederentreinen, maar ook reizigerstreinen geven trillingen die hoger zijn dan de achtergrondtrillingen.



Figuur 6 Gemeten trillingen aan de fundering van Wolweg 57 (boven) en op maaiveld t.p.v. de nieuwe woningen (onder)

Vervolgens is voor de meting aan het meetpunt op de fundering van Wolweg 57 een gedetailleerde analyse uitgevoerd. Hierbij is specifiek gekeken naar welke trillingsfrequenties maatgevend zijn, deze input is gebruikt om de trillingen in de gebouwen te bepalen en de uitdamping van de trillingen met de afstand vast te stellen. Spectrogrammen van de trillingen (weergegeven als 1/3-octaaftbandspectrum of tertsbandspectrum per seconde) zijn weergegeven in Figuur 7. De dominante trillingsenergie ligt tussen de 10 en 20 Hz, een vrij karakteristieke waarde voor dit type zandbodems. De trillingen bij hogere frequenties (boven de 30 Hz) dempen snel uit met de afstand (de nieuwe woningen worden op grotere afstand van het spoor gepland dan Wolweg 57). Deze trillingen worden vermoedelijk vooral veroorzaakt door verschillen in baanstijfheid en zettingen rond de overweg (gebruikelijk rond overwegen).



Figuur 7 Tertsbandspectra bij meetpunt aan de fundering van Wolweg 57 op ca. 53 meter van het spoor

4.2 Trillingen in geplande nieuwbouw

De geplande woningen zijn gemodelleerd op basis van de input uit hoofdstuk 2. Het (frequentie-afhankelijke) gedrag van de woningen is weergegeven in bijlage II. Met deze resultaten is bepaald in welke mate de trillingen worden versterkt tussen de huidige meetpunten en de vloeren in de toekomstige woningen. De versterking van de trillingen tussen de fundering en een maatgevend punt op de hoogste verdieping van de toekomstige woningen ligt tussen de 1.3 en 3.6, en is onder meer afhankelijk van de trillingsfrequentie en trillingsrichting (X, Y of Z). De weergegeven variatie in de trillingen geeft de onzekerheid weer als gevolg van de uiteindelijk gebruikte materialen en constructiemethode.

Met deze overdrachten is op basis van de metingen bepaald wat de verwachte trillingen zullen zijn in de woningen. De resultaten voor de trillingssterkte V_{max} , de trillingsintensiteit V_{per} en de beoordeling van de trillingen aan de SBR B-richtlijn (zie hoofdstuk 3) is eveneens weergegeven in Tabel 4, hierin is Wolweg 57a het dichtst bij het spoor gelegen.

Tabel 4 Verwachte trillingen en beoordeling aan SBR B-richtlijn

Object	Trillingssterkte V_{max}	Trillingsintensiteit V_{per}	Beoordeling
Wolweg 57a	0.2 – 0.3	0.01 – 0.04	Voldoet niet, incidentele overschrijdingen mogelijk
Wolweg 57b	0.2 – 0.3	0.01 – 0.04	Voldoet niet, incidentele overschrijdingen mogelijk

Globaal geldt het volgende:

1. De trillingen zijn relatief laag, maar er zijn incidentele overschrijdingen mogelijk (maximaal 1 bij de meest ver weggelegen woning, maximaal 2 per week bij de meest dichtbij het spoor gelegen woning). Deze overschrijdingen worden veroorzaakt door goederentreinen met een afwijkend trillingsniveau. Door de in de NMCA voorziene intensivering van het goederenvervoer kan het aantal overschrijdingen per week wel gaan toenemen in de toekomst.
2. De lage trillingsintensiteit (tijdsgemiddelde van de trillingen) V_{per} laat zien dat er sprake is van incidentele overschrijdingen. Ook met de voorziene toename van het aantal goederentreinen voldoet V_{per} nog aan de streefwaarden.
3. Bij een constructie met voldoende stijfheid in dwarsrichting (breedterichting van de woning) worden er geen overschrijdingen verwacht van het beoordelingskader.

4.3 Maatregelen

Door de passage van enkele goederentreinen met afwijkende trillingsniveaus, zijn incidentele overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder voor nieuwe situaties niet volledig 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 het plangebied als *matige hinder*. Vervolgens geeft deze bijlage aan dat matige hinder kan worden geaccepteerd onder een aantal voorwaarden:

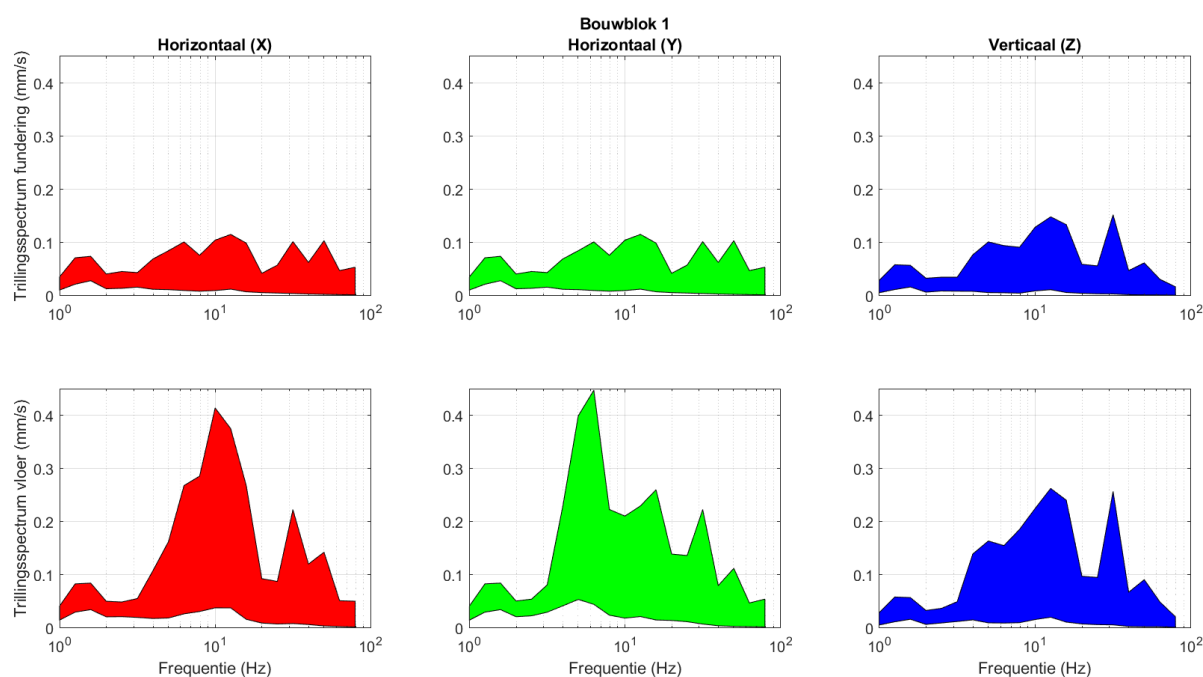
1. De mate waarin de trillingssterkte voorkomt. Hiervoor geldt dat de trillingsintensiteit V_{per} een goede indicatie is. Die is beperkt in beide woningen ($V_{per} < 0.04$, dus lager dan de streefwaarde van 0.05). In de huidige situatie is er sprake van maximaal 1 of 2 overschrijdingen per week, in de toekomst kan dit aantal toenemen, maar ook met de voorziene intensivering van het goederenvervoer zal het aantal overschrijdingen beperkt blijven tot minder dan 1 per dag. Er is dus sprake van incidentele overschrijdingen, die het achterwege laten van een maatregel zouden kunnen rechtvaardigen.
2. De aanwezigheid van achtergrondtrillingen die de trillingen van het treinverkeer kunnen maskeren. Daar is hier beperkt sprake van. De passage van zwaar vrachtverkeer over de overweg kan ook leiden tot voelbare trillingen in de woningen, maar deze trillingen zijn lager dan de maatgevende trillingen van de treinen.
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 trein of het spoor), maatregelen in de bodem en maatregelen aan de gebouwen.

4.3.1 Analyse resultaten

Om te bepalen welke trillingsrichting en trillingsfrequenties in de gebouwen maatgevend zijn, is een nadere analyse uitgevoerd van de verwachte trillingen. Voor de maatgevende woning (op 68 meter van het spoor) is het trillingsspectrum in de X-, Y- en Z-richting op zowel de fundering als bovenin het gebouw weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8 Trillingsspectra in de woning op 68 m van het spoor (kortste afstand, Wolweg 57a). Boven de trillingen op de fundering, onder op de hoogste vloer.

In Figuur 8 is zichtbaar dat de trillingen in de beide horizontale richtingen maatgevend zijn. De trillingen zijn het hoogst tussen de 5 en 15 Hz. Maatregelen moeten voor dit hele frequentiespectrum effectief zijn om de trillingen te reduceren. In de volgende subparagrafen wordt ingegaan op mogelijke maatregelen aan de trillingsbron, in de bodem of aan de gebouwen.

4.3.2 Maatregelen aan de trillingsbron

De meest effectieve manier om de trillingen te reduceren, is het nemen van maatregelen aan de trillingsbron (het spoor of de treinen), bijvoorbeeld door het verwijderen van de overweg of het stijver maken van de spoorconstructie of de onderbouw van het spoor. Deze maatregelen vallen echter buiten de scope van dit onderzoek, omdat deze maatregelen allemaal buiten het plangebied moeten worden getroffen. Bovendien zijn de kosten van deze maatregelen hoger dan maatregelen aan de geplande woningen.

4.3.3 Maatregelen in de bodem

Bij maatregelen in de bodem kan gedacht worden aan het toevoegen van obstakels in de bodem, die ervoor zorgen dat de gebouwen worden afgeschermd. Voorbeelden zijn het toevoegen van een spoorstoot, een trillingsscherm van piepschuim (EPS), beton, jet-grout (soil-mix methode voor beton) of een damwand. Nadeel van deze maatregelen is dat deze

vooral effectief zijn dicht op de trillingsbron (het spoor) of dicht op de woning (in de tuin, maar om voldoende afscherming te realiseren ook op de aangrenzende percelen), dat deze maatregelen hoge kosten met zich meebrengen en dat deze maatregelen niet aanpasbaar zijn aan toekomstige situaties (met uitzondering van een spoorsloot).

Om de woningen af te schermen, is een maatregel van ca. 55 meter lengte nodig, direct voor de woningen. Voor voldoende afscherming van de trillingen dient deze maatregel ook door te lopen op naastgelegen percelen, of met een hoek op de percelen zelf. Mogelijke maatregelen in de bodem met een inschatting van het effect en de kosten voor deze situatie zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Mogelijke maatregelen in de bodem

Maatregel	Effect	Kosten	Mogelijke locatie
Betonnen wand	10 – 30%	€ 0.8 – 1.2 mln	Bij woningen en bij spoor
Jet-grout wand	10 – 25%	€ 0.6 – 1.0 mln	Bij woningen en bij spoor
Damwand	5 – 15%	€ 0.7 – 1.0 mln	Bij woningen en bij spoor
Diepe sloot	10 – 40%	€ 0.1 – 0.3 mln	Bij spoor
Beton met rubber	30 – 60%	€ 1.2 – 1.5 mln	Bij woningen en bij spoor
Damwand met EPS	15 – 35%	€ 1.2 – 1.5 mln	Bij woningen en bij spoor
Damwand met sleuf	20 – 40%	€ 1.2 – 1.5 mln	Bij spoor
L-wand met sloot	15 – 35%	€ 0.2 – 0.4 mln	Bij spoor

Uit het overzicht met maatregelen volgt dat de kosten van de maatregelen vrijwel zonder uitzondering hoog zijn. De goedkoopste maatregel die in het plangebied (bij de woningen) realiseerbaar is en de trillingen mogelijk reduceert tot onder de streefwaarden is een betonnen trillingsscherm (wand), met een diepte van minimaal 10 meter en een dikte van 1 meter. De kosten van een dergelijke maatregel bedragen meer dan € 400.000 per woning. Naast de blijvende impact op het gebruik van de buitenruimte geldt dat de kosten van deze maatregel niet in relatie staan tot het zeer beperkte aantal overschrijdingen. Maatregelen in de bodem zijn daarmee niet doelmatig².

4.3.4 Maatregelen aan de gebouwen

Bij maatregelen aan de woningen is een breed scala aan maatregelen mogelijk. Die variëren van het breder maken van de woning (in dwarsrichting), het creëren van voldoende stijfheid in dwarsrichting door het aantal gevelopeningen in de voor- en achtergevel te beperken en dragende binnenwanden in dwarsrichting te creëren en het gebouw te realiseren met een zwaardere fundering (dikkere betonplaat), tot het toepassen van meer dempende materialen (zoals breedplaatvloeren in plaats van kanaalplaatvloeren) en het ontkoppelen van de fundering of de vloeren door middel van stalen veren of een rubberen oplegging. Een deel van deze maatregelen is mogelijk inpasbaar bij de detaillering van het ontwerp zonder hoge kosten met zich mee te brengen.

² ProRail hanteert voor het treffen van trillingsmaatregelen vaak een bedrag van € 47.000 in bestaande situaties. De kosten voor maatregelen in de bodem op deze locatie zijn ruim hoger dan dit bedrag. Bovendien zal een dergelijke kostenverhoging per woning leiden tot onverkoopbare woningen, daarom wordt bij nieuwbouw vaak een (veel) lager (projectafhankelijk te motiveren) bedrag gehanteerd.

Het globale effect en de kosten van de mogelijke maatregelen aan de woningen zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 Mogelijke maatregelen aan de gebouwen

Maatregel	Effect	Kosten ³
Stijvere constructie in dwarsrichting	10 – 20%	< 2% SK
Breder maken van woning in dwarsrichting	15 – 30%	< 5% SK
5 meter verder van het spoor	5 – 10%	< 1% SK
Toepassen van dempende materialen	10 – 20%	< 3% SK
Ontkoppelen van de vloeren	0 %	2 – 4% SK
Ontkoppelen van de fundering (afveren)	30 – 50%	6 – 10% SK
Inpakken van de fundering	0 – 15%	1 – 3% SK
Zwaardere fundering	20 – 40%	3 – 5% SK

Samengevat geldt dat, gezien de beperkte overschrijding, een combinatie van meerdere relatief kleinere ingrepen kan zorgen voor trillingen die lager zijn dan de streefwaarden. Het stijver maken van de woning in de dwarsrichting (door de gevelopeningen in de voor- en achtergevel te beperken en gebruik te maken van dragende binnenwanden in dwarsrichting te creëren), het breder maken van de woning (in dwarsrichting), het hanteren van een grotere beukmaat (7 tot 8.5 meter) en het toepassen van meer dempende materialen, zoals metselwerk i.p.v. prefab beton, of breedplaatvloeren i.p.v. kanaalplaatvloeren zijn maatregelen waarmee kan worden voldaan aan de streefwaarden uit het beoordelingskader. De meest effectieve maatregel (het afveren van de fundering) brengt hoge kosten met zich mee (ca. € 20.000 tot € 30.000 excl. BTW per woning), en wordt daarom niet doelmatig geacht in het licht van de hooguit incidentele overschrijdingen.

4.3.5 Afweging van maatregelen

Door de passage van enkele goederentreinen met afwijkende trillingsniveaus, zijn incidentele overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder voor nieuwe situaties niet uit te sluiten. Het gaat om minder dan 2 overschrijdingen per week, door de voorziene toename van het goederenvervoer op deze lijn kan dit aantal in de toekomst toenemen, maar ook dan zal het aantal overschrijdingen beperkt blijven tot minder dan 1 per dag.

Daarom is op basis van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn een maatregelafweging uitgevoerd. Hieruit volgt dat maatregelen aan het spoor gezien de hoge kosten niet doelmatig zijn en dat maatregelen in de bodem gezien de incidentele overschrijdingen, de hoge kosten van deze maatregelen en de impact op de bruikbaarheid van de buitenruimte (maatregel moet in de tuin, direct voor de woningen worden getroffen) evenmin doelmatig zijn. Voor maatregelen aan de woningen geldt dat het volledig afveren van de woningen (dubbele fundering met daartussen stalen veerdozen, afgeveerd op 3 Hz) zal leiden tot trillingen die

³ SK = Stichtingskosten

lager zijn dan de streefwaarden. Deze maatregel brengt echter hoge kosten met zich mee (ca. € 20.000 tot € 30.000 excl. BTW per woning), en wordt niet doelmatig geacht in het licht van het beperkte aantal overschrijdingen overschrijdingen.

Wel adviseren wij om bij de constructieve uitwerking van het ontwerp van de woningen te onderzoeken of het mogelijk is om de woningen minder gevoelig voor trillingen te construeren, door een of meer van de volgende aanpassingen door te voeren:

- Het breder maken van de woning (in dwarsrichting), hierdoor neemt de horizontale eigenfrequentie en demping toe, waardoor de trillingen minder worden versterkt.
- Het stijver maken van de woning in dwarsrichting, door het beperken van grote openingen in de voor- en achtergevel en het toevoegen van dragende tussenwanden. Vermijd een volledig open structuur van de woning in dwarsrichting.
- Het hanteren van een grotere beukmaat (7 tot 8.5 meter), waardoor de eigenfrequentie van de vloeren niet samenvalt met de dominante trillingen van de treinen.
- Het toepassen van meer dempende materialen, zoals metselwerk i.p.v. prefab beton, of breedplaatvloeren i.p.v. kanaalplaatvloeren.
- Toepassen van een plaatfundering in plaats van een balkenfundering. Door het realiseren van een zwaardere fundering nemen de trillingen af.

Overigens geldt dat ook zonder bovenstaande aanpassingen geen onacceptabele situatie ontstaat in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, gezien het feit dat het gaat om beperkte overschrijdingen van het beoordelingskader, er sprake is van hooguit incidentele overschrijdingen (minder dan 1 per dag, ook na intensivering van het goederenvervoer) en dat wel ruim wordt voldaan aan de soepeler streefwaarden voor een bestaande situatie uit de SBR B-richtlijn.

4.3.6 Onzekerheden in het onderzoek

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

1. Ten aanzien van de trillingsbron: de natuurlijke variatie als gevolg van spooronderhoud en de temperatuur kunnen zorgen voor zo'n 30% variatie in de trillingen, afhankelijk van de spoorconstructie en de bodemopbouw. Er is gemeten in een klimatologisch als normaal te typeren periode. De status van het spoor is onbekend, wel zijn de metingen uitgevoerd in de nabijheid van een spoorwegovergang. Vanuit andere projecten is bekend dat de vaak minder goede spoorligging rond een spoorwegovergang leidt tot hogere trillingen, en dat deze trillingen als gevolg van spooronderhoud en temperatuur- en neerslagvariaties over het jaar heen kunnen variëren. Er is geen informatie bekend over de huidige status van de spoorligging. Er 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 het spoor variaties in de trillingen mogelijk zijn door lokale variaties in de bodem. Omdat ook op grotere afstand van het spoor is gemeten, is de invloed van die lokale variaties beperkt.

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.

Bovenstaande onzekerheden geven geen aanleiding tot een andere maatregelafweging.

5 Conclusies en aanbevelingen

In het voorliggende onderzoek zijn de verwachte trillingen in 2 nieuw te bouwen woningen op het perceel tussen Wolweg 57 en 59 in Stroe bepaald. Uit het onderzoek volgt dat incidentele overschrijdingen van het beoordelingskader niet zijn uit te sluiten. Het gaat om minder dan 2 overschrijdingen per week, veroorzaakt door goederentreinen met een afwijkend trillingsniveau. Omdat niet volledig wordt voldaan aan het beoordelingskader, is een maatregelafweging uitgevoerd. Hieruit volgt dat:

1. Maatregelen aan het spoor gezien de hoge kosten niet doelmatig zijn. Bovendien vallen deze maatregelen buiten het plangebied.
2. Maatregelen in de bodem gezien de incidentele overschrijdingen, de hoge kosten van deze maatregelen en de impact op de bruikbaarheid van de buitenruimte (maatregel moet in de tuin, direct voor de woningen worden getroffen) niet doelmatig zijn. Bovendien zijn dergelijke maatregelen niet aanpasbaar aan eventuele toekomstige wijzigingen aan het spoor of rond de woningen.
3. Voor maatregelen aan de woningen geldt dat met meerdere maatregelen kan worden voldaan aan het beoordelingskader. Wij adviseren om in de verdere uitwerking van de plannen de volgende afwegingen uit te voeren:
 - a. Is het mogelijk om de woningen breder te maken (in dwarsrichting)?
 - b. Is het mogelijk om de woningen stijver te maken in dwarsrichting, bijvoorbeeld door het beperken van grote openingen in de voor- en achtergevel en het toevoegen van dragende tussenwanden?
 - c. Is het mogelijk om meer dempende materialen te gebruiken, zoals metselwerk i.p.v. prefab beton, of breedplaatvloeren i.p.v. kanaalplaatvloeren?
 - d. Is het mogelijk om de fundering zwaarder uit te voeren, bijv. een plaatfundering i.p.v. een balkenfundering?
 - e. Is het mogelijk om een grotere beukmaat te hanteren (7 tot 8.5 meter)? Hierdoor valt de eigenfrequentie van de vloeren niet samen met de dominante trillingen van de treinen

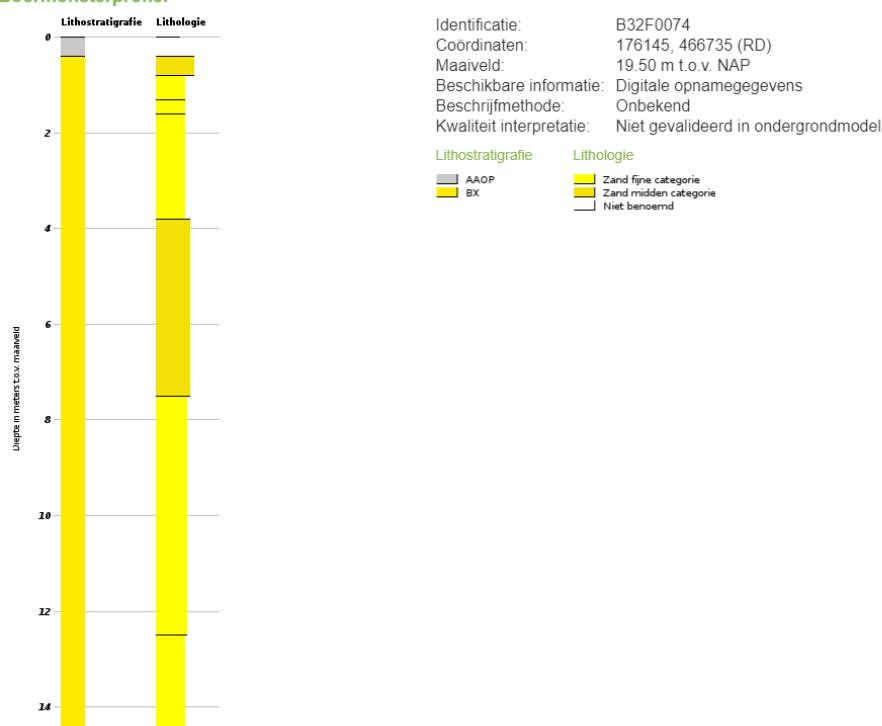
Met (een combinatie van) bovenstaande aanpassingen is het mogelijk om te voldoen aan de streefwaarden voor trillingshinder. Overigens geldt dat ook zonder bovenstaande aanpassingen geen onacceptabele situatie ontstaat in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, gezien het feit dat het gaat om beperkte overschrijdingen van het beoordelingskader, er sprake is van hooguit incidentele overschrijdingen (minder dan 1 per dag, ook na intensivering van het goederenvervoer) en dat wel ruim wordt voldaan aan de soepeler streefwaarden voor een bestaande situatie uit de SBR B-richtlijn.

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 grondboring in de nabijheid van het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 9. Hier is te zien dat de bodem is opgebouwd uit zandlagen met verschillende structuren. Een dergelijke zandige bodem kent een slechte uitdamping van de trillingen met de afstand, hierdoor kunnen trillingen tot op grotere afstand waarneembaar zijn.

Boormonsterprofiel

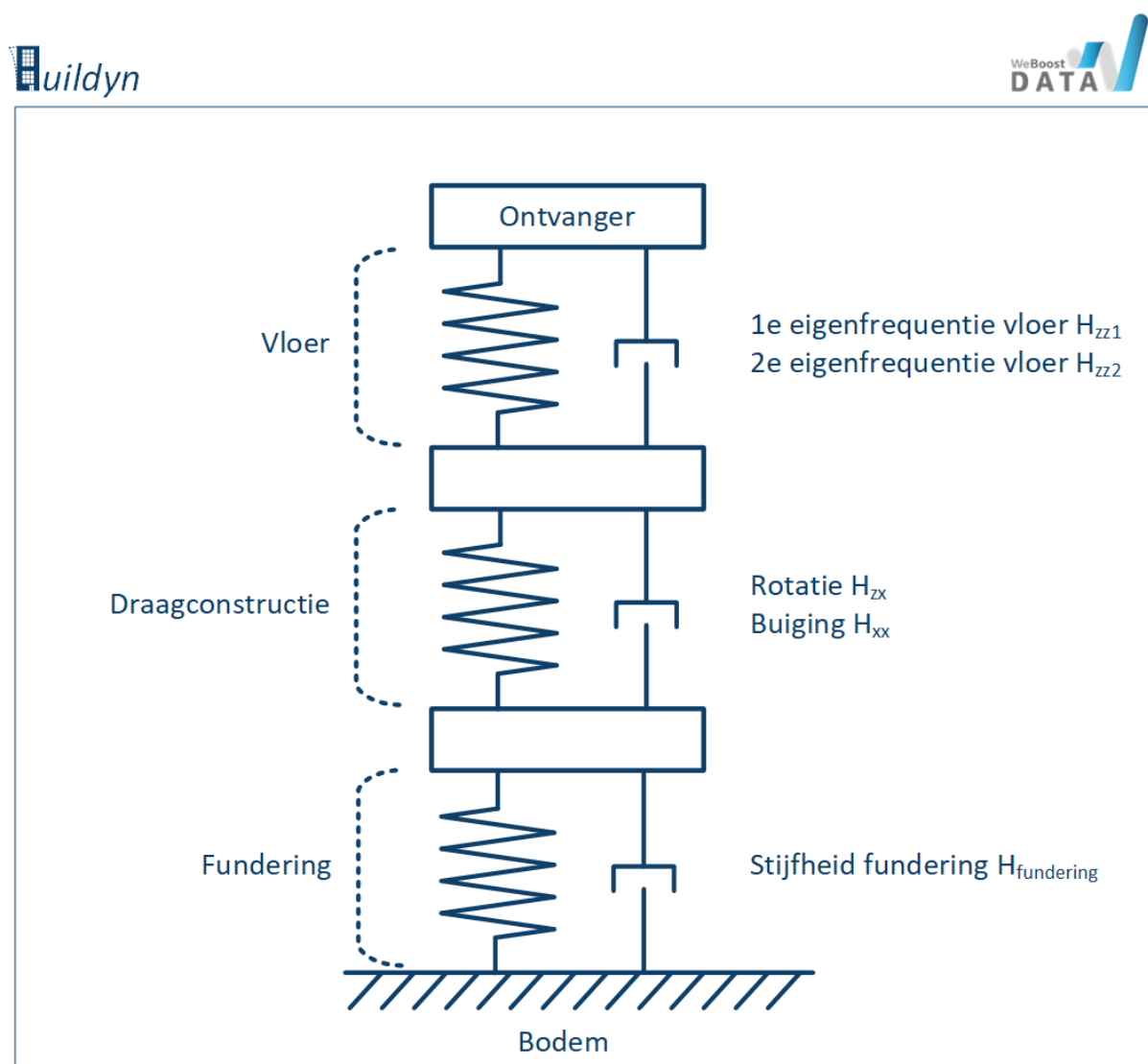


Figuur 9 Boring nabij het onderzoeksgebied

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 10. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 10, worden in deze bijlage nader toegelicht.



Figuur 10 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

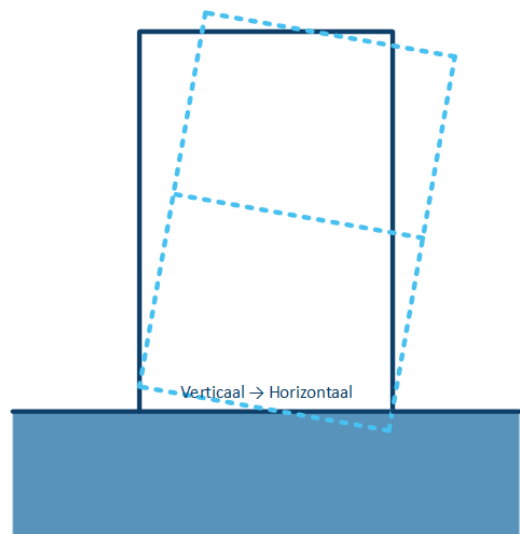
Draagconstructie

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:

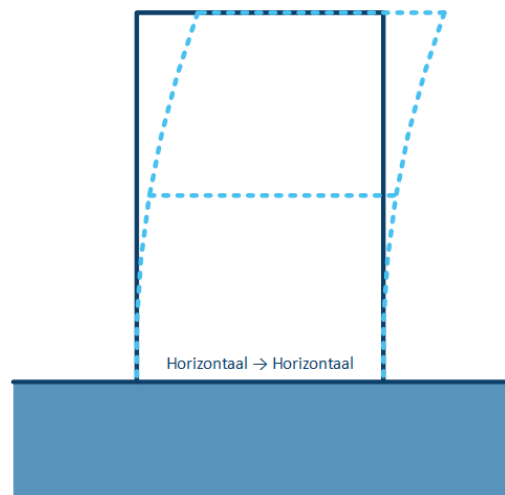
- Afmetingen van het gebouw (breedte, lengte, hoogte)
- Gewicht van het gebouw
- Type en gewicht van de fundering
- Stijfheid van de ondergrond



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.

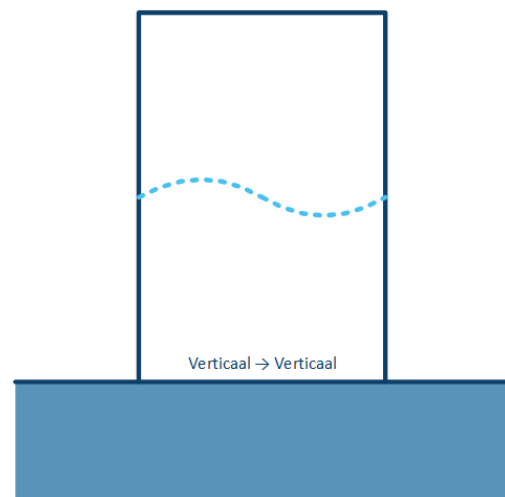
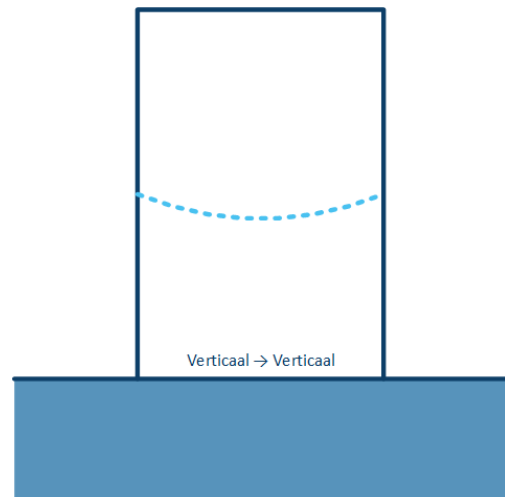
De eerste buigmodus van de vloer (bij de eerste eigenfrequentie) is simpele doorbuiging, zoals weergegeven in de principeschets rechts. Met name de eigenfrequentie (de frequentie waarvoor de vloer gevoelig is) en de damping bepalen in hoeverre de trillingen worden opgeslingerd. De trillingen zijn het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

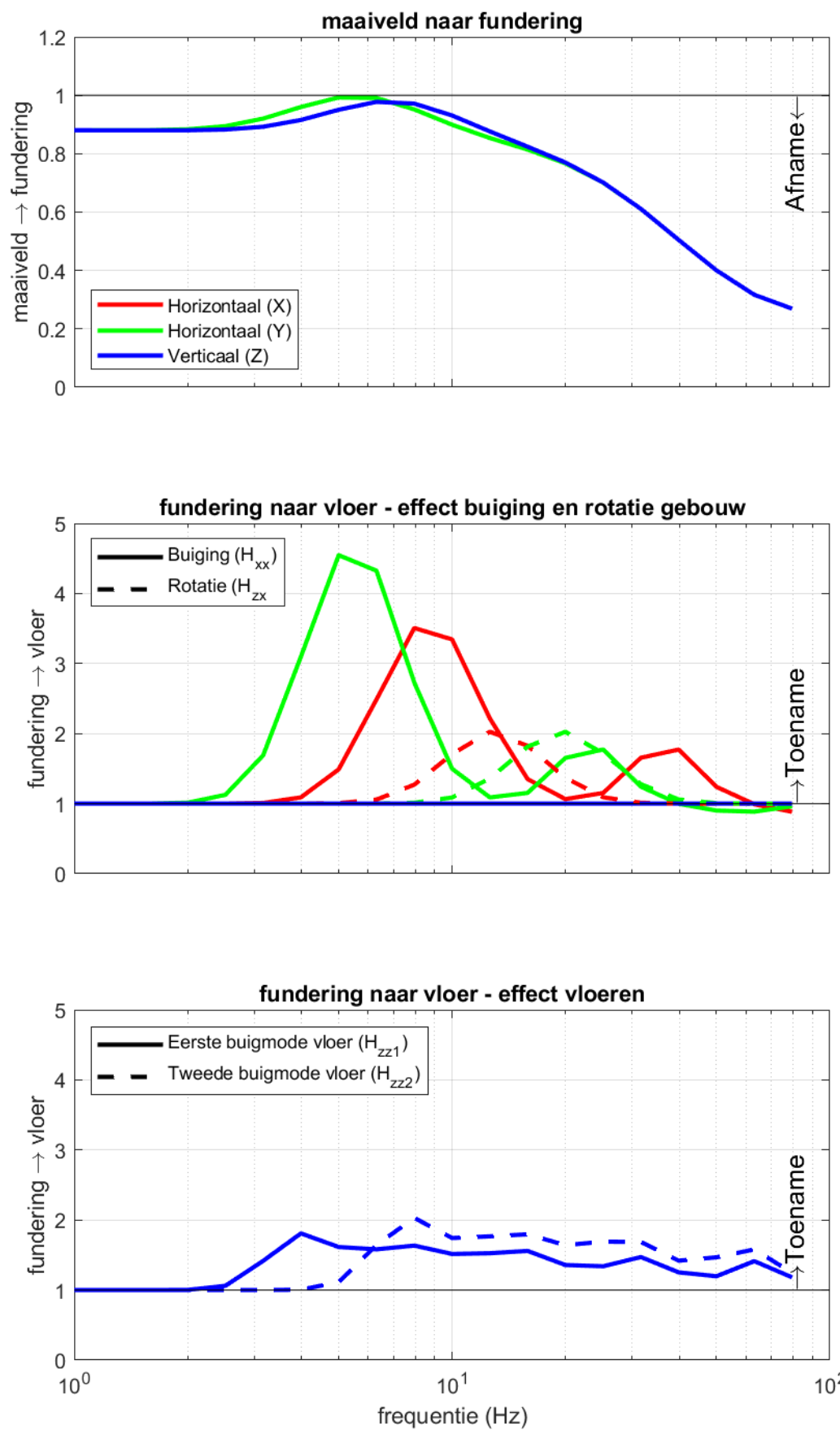
Bij de tweede buigmodus van de vloer (bij de tweede eigenfrequentie) zijn de trillingen maximaal op ongeveer $\frac{1}{4}$ van het vloerveld, zie de principeschets rechts.

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 van de woningen, bij een beukmaat van 8.0 meter, zijn weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11 Buildyn-resultaten voor een woning met een beukmaat van 8.0 m