

STATIONSWEG 16 MARIËNBERG

Trillingsonderzoek



WBD1919

ir. P.M. Boon
19 februari 2020
versie 1.0

Managementsamenvatting

De eigenaar van het perceel aan de Stationsweg 16 in Mariënberg, gemeente Hardenberg, is voornemens het perceel te splitsen en er een tweede woning op te plaatsen. De nieuwe te bouwen woning ligt in de nabijheid van de spoorlijn Zwolle/Almelo – Emmen. 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 wordt voldaan aan de streefwaarden voor trillingshinder, maar dat er wel een goederentrein met een sterk afwijkend trillingsniveau passeert. Deze goederentrein passeert in de avond, maar wanneer deze trein 's nachts zou passeren, voldoen de trillingen niet aan de strenge streefwaarden voor de nacht. Een wijziging van de goederenpaden of de hier verwachte lichte toename van het goederenverkeer kan er voor zorgen dat deze trein 's nachts passeert, in dat geval is er een kans op maximaal 1 overschrijding per week in de woning.

Omdat niet met 100% zekerheid is te stellen dat altijd wordt voldaan aan het beoordelingskader, is op basis van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn een maatregelafweging uitgevoerd. Uit deze maatregelafweging volgt dat:

1. Maatregelen aan het spoor gezien de hoge kosten niet doelmatig zijn.
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 achter de woning worden getroffen) niet doelmatig zijn.
3. Voor maatregelen aan de woning zal alleen het volledig afveren van de woning (dubbele fundering met daartussen stalen veerdozen, afgeveerd op 3 Hz) leiden tot trillingen die lager zijn dan de streefwaarden. In het licht van de hooguit incidentele overschrijdingen en de hoge kosten (ca. € 20.000 tot € 30.000 excl. BTW), wordt ook deze maatregel niet doelmatig geacht.

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

- Het toepassen van een stijvere vloer, bijvoorbeeld door te werken met een kortere beukmaat of een dikkere vloer (eigenfrequentie bij voorkeur hoger dan 10 Hz).
- Toepassen van prefab betonnen wanden in plaats van kalkzandsteen wanden.
- Toepassen van breedplaatvloeren in plaats van 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 er geen

doelmatige maatregelen zijn te treffen en dat het gaat om hooguit incidentele overschrijdingen (minder dan 1 per week).

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	14
4.3	Maatregelen	15
5	Conclusies en aanbevelingen	19
I	Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek	20
II	Bijlage Rekenmodel Buildyn	21
	Fundering	22
	Draagconstructie	22
	Vloeren	23
	Resultaten	23

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De eigenaar van het perceel aan de Stationsweg 16 in Mariënberg, gemeente Hardenberg, is voornemens het perceel te splitsen en er een tweede woning op te plaatsen. De nieuwe te bouwen woning ligt in de nabijheid van de spoorlijn Zwolle/Almelo – Emmen, zie Figuur 1. Gezien de beperkte afstand tot het spoor kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet *op voorhand* worden uitgesloten.



Figuur 1 Plangebied Stationsweg 16 in Mariënberg

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.

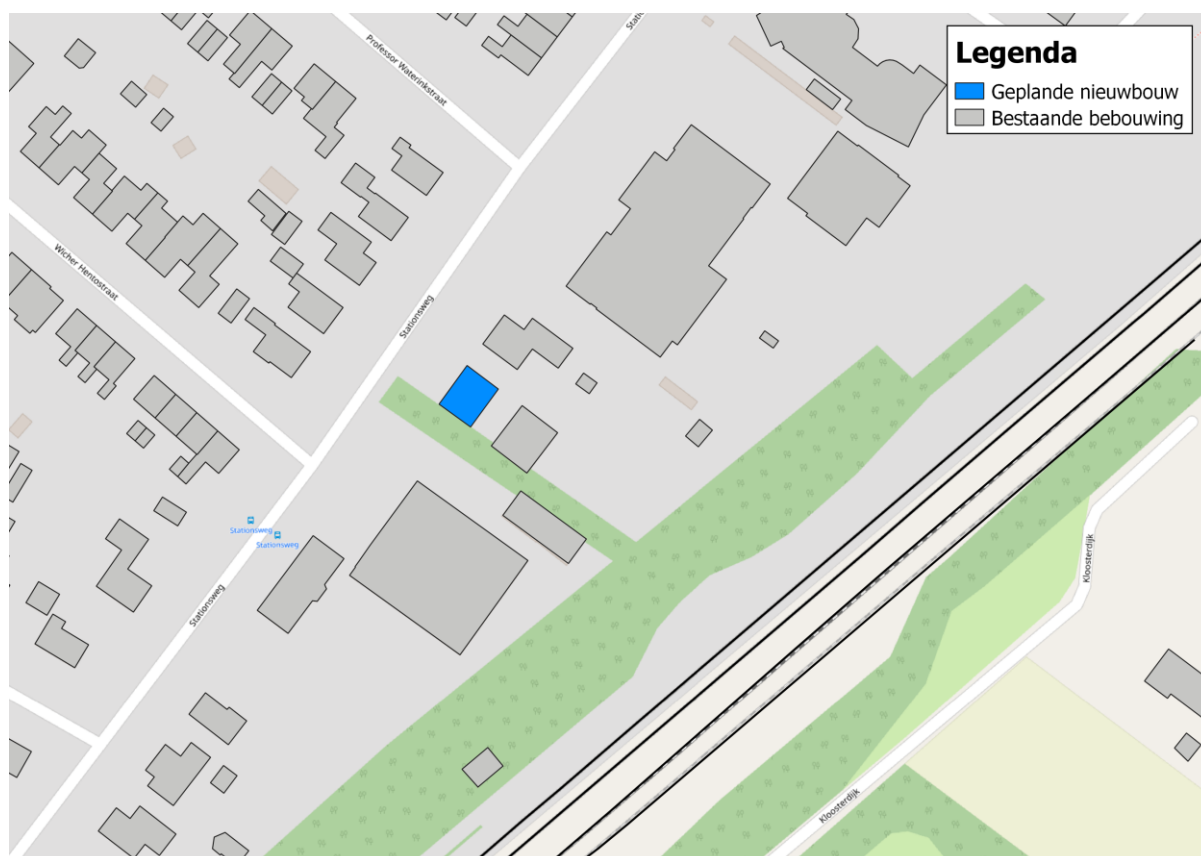
De bijlages bevatten technische informatie van het onderzoek, zoals een toelichting op de rekenmethodiek en grondonderzoek van nabijgelegen locaties.

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 op uit een bebouwd perceel met 1 woning en diverse opstallen. Dit perceel wordt gesplitst en er wordt 1 extra woning gerealiseerd, zie Figuur 2.



Figuur 2 Bestaande en toekomstige bebouwing

De nieuwbouw bevindt zich op een afstand van ca. 80 meter van het spoor, en nabij station Mariënberg. Alle reizigerstreinen halteren op dit station. 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 (voortuitblik voor goederenvervoer) zal het goederenvervoer op deze lijn licht toenemen van de huidige 2 tot 3 goederentreinen naar 3 tot 5 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)
Stoptrein	40 – 60 km/h	3.00	2.00	0.88
Sneltrain	40 – 60 km/h	1.00	1.00	0.13
Goederentrein	40 – 90 km/h	0.03	0.18	0.15

Andere trillingsbronnen, zoals lokaal verkeer, kunnen ook voor trillingen zorgen, zeker bij een klinkerweg zoals de Stationsstraat. Gezien de afstand tot de weg en de lage rijsnelheid zal dit verkeer echter niet leiden tot hoge trillingen in de woning.

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 wordt een grondgebonden woning in de vorm van een vrijstaande woning 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 en de eigenschappen van de omliggende bebouwing. Het rekenmodel voor de bebouwing is gebaseerd op Tabel 2.

Tabel 2 Eigenschappen bebouwing

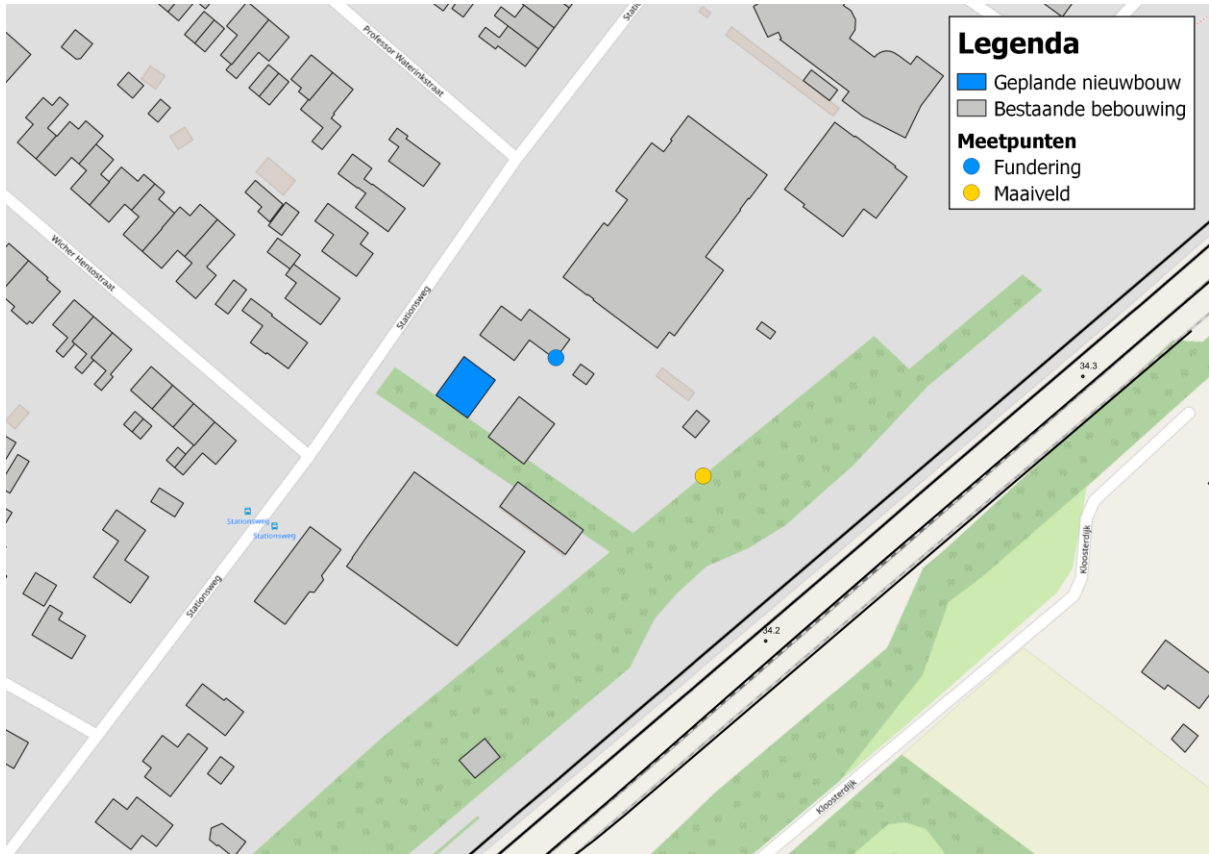
Parameter	Eigenschappen
Vloertype	Kanaalplaatvloer 200 mm met cementdekvloer 70 mm
Hoogte	2 tot 3 bouwlagen (goothoogte 4 m, bouwhoogte 10 m)
Lengte vloerveld	6.0 tot 7.2 m
Breedte vloerveld	8 tot 11 m
Constructietype	Wanden-vloeren
Fundering	Op palen
Stijfheid gebouwen	Kalkzandsteen en metselwerk

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 uitdempen met de afstand, en op hoe de gebouwen reageren op trillingen.

2.2.3 Meetresultaten

Door Alcedo zijn metingen uitgevoerd in het onderzoeksgebied op twee punten, zie Figuur 3. De metingen zijn uitgevoerd van 7 tot en met 14 februari 2020, en zijn verricht op maaiveld en aan de fundering van de bestaande woning Stationsweg 16. 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 het gebouw 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:

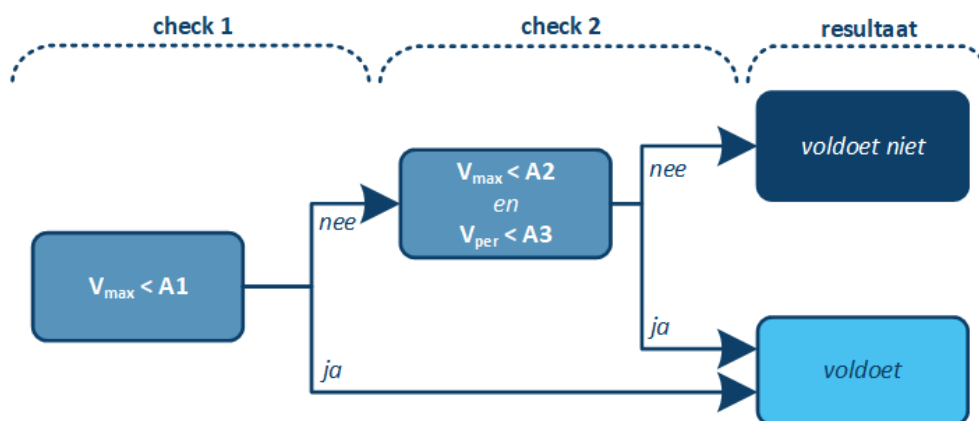
1. De richtlijn toetst zowel een maximaal optredende trillingssterkte (V_{max} , treedt op bij de trein die gedurende de meetperiode de hoogste trillingen veroorzaakt) als het tijdsgemiddelde van de trillingen (V_{per} , deze grootheid is in tegenstelling tot V_{max} dus ook afhankelijk van het aantal 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

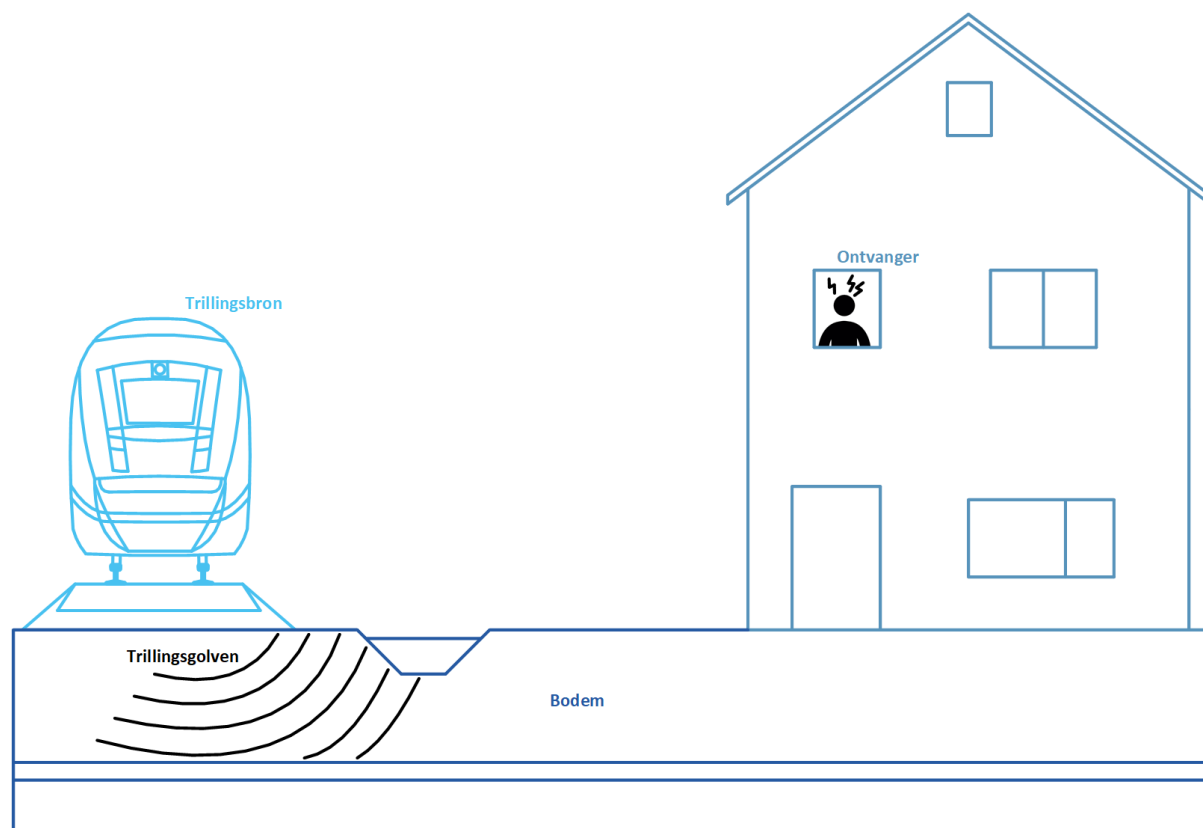
3.2 Rekenmethode

In de SBR-richtlijn deel B worden de trillingen beoordeeld in gebouwen. Omdat het bij dit project gaat om nog niet gerealiseerd 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 aan de bestaande woning Stationsweg 16 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 zand- en leemlagen 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.

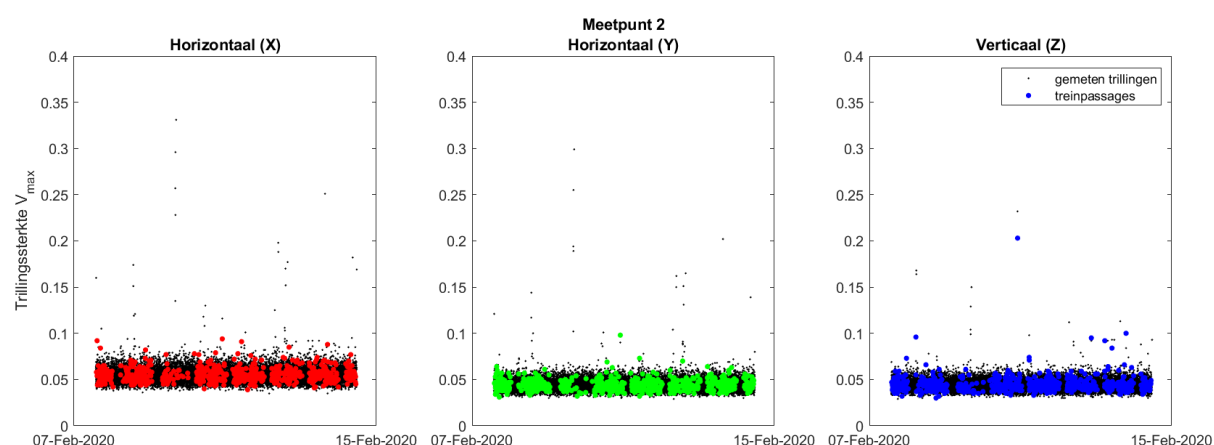
4 Verwachte trillingen in de woningen

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 de woning Stationsweg 16 (op ca. 80 meter van het doorgaande spoor, vergelijkbaar met de nieuwe woning). De trillingen op dit meetpunt 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 de woning bedraagt ca. 0.20. Dit betreft een goederentrein met een sterk afwijkend trillingsniveau, andere goederentreinen geven trillingsniveaus die niet hoger zijn dan 0.10.
2. De trillingen van de reizigerstreinen zijn vrijwel zonder uitzondering lager dan de achtergrondtrillingen.



Figuur 6 Gemeten trillingen aan de fundering van Stationsweg 16

4.2 Trillingen in geplande nieuwbouw

De geplande woning is gemodelleerd op basis van de input uit hoofdstuk 2. Het (frequentie-afhankelijke) gedrag van de woning is weergegeven in bijlage II. Met deze resultaten is bepaald in welke mate de trillingen worden versterkt tussen het meetpunt op de fundering van de huidige woning en de vloeren in de toekomstige woning. De versterking van de trillingen tussen de fundering en een maatgevend punt op de hoogste verdieping van de toekomstige woning ligt tussen de 1.9 en de 2.2. De variatie is afhankelijk van de afmetingen van de woning, de constructiewijze en de gekozen materialen. In het vervolg van deze rapportage wordt uitgegaan van de bovengrenswaarde van deze versterking van de trillingen (dus een waarde van 2.2).

Met deze overdracht is op basis van de metingen bepaald wat de verwachte trillingen zullen zijn in de woning. De resultaten voor de bovengrens² van de trillingssterkte V_{max} en de beoordeling van de trillingen aan de SBR B-richtlijn (zie hoofdstuk 3) is eveneens weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Versterking van de trillingen, verwachte trillingen en beoordeling aan SBR B-richtlijn

Object	Trillingssterkte V_{max}	Trillingsintensiteit V_{per}	Beoordeling
Woning Stationsweg	0.4	0.02 – 0.03	Voldoet, maar incidentele overschrijdingen mogelijk

Er is 1 trein gepasseerd met een sterk afwijkende trillingssterkte, deze trein reedt in de avonduren (streefwaarde 0.4). De verwachte trillingssterkte V_{max} als gevolg van deze treinpassage in de woning bedraagt 0.4, gelijk aan de streefwaarde. De trillingsintensiteit V_{per} is ruim lager dan de streefwaarde. Daarom wordt voldaan aan het beoordelingskader voor trillingshinder. In theorie kan deze trein echter ook op andere tijdstippen passeren, waarmee incidentele overschrijdingen (minder dan 1 per week) niet volledig zijn uit te sluiten.

4.3 Maatregelen

Gezien het feit dat wordt voldaan aan het beoordelingskader, is een maatregelafweging niet strikt noodzakelijk. Omdat overschrijdingen niet volledig zijn uit te sluiten (als de trein met de afwijkende trillingen 's nachts passeert, wanneer sprake is van strengere streefwaarden), hebben we toch 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 laag ($V_{per} < 0.03$, dus ruim lager dan de streefwaarde van 0.05). Verder gaat het om maximaal 1 overschrijding per week, die ook nog eens alleen optreedt als deze trein met een afwijkende trillingssterkte 's nachts gaat rijden. Op dit moment rijdt deze trein overdag, en is er geen sprake van een overschrijding. In de toekomst, met de voorziene toename van het goederenvervoer, zou een dergelijke afwijkende trein ook 's nachts kunnen passeren. Er is dus maximaal 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 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

² Berekend met de bovengrenswaarde voor de overdracht

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.

4.3.1 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 wissels in 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 woning.

4.3.2 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 spoorvloot, 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), dat deze maatregelen hoge kosten met zich meebrengen en dat deze maatregelen niet aanpasbaar zijn aan toekomstige situaties (met uitzondering van een spoorvloot). Gegeven de situatie, waarbij sprake is van geen of maximaal 1 overschrijding per week, De impact op de bruikbaarheid van de buitenruimte rond de woning en de hoge kosten van maatregelen in de bodem, worden deze maatregelen niet doelmatig geacht³.

4.3.3 Maatregelen aan de gebouwen

Bij maatregelen aan de gebouwen is een breed scala aan maatregelen mogelijk. Die variëren van het stijver uitvoeren van de gebouwen (bijvoorbeeld door te kiezen voor een kleinere beukmaat, een zwaardere fundering, dikkere vloeren of een prefab betonwanden concept), 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. Nadeel van deze maatregelen is dat geen van de maatregelen zorgt voor een situatie waarbij met 100% zekerheid wordt voldaan aan de streefwaarden, met uitzondering van het afveren van de fundering. Deze laatste maatregel brengt echter hoge kosten met zich mee (ca. € 20.000 tot € 30.000 excl. BTW voor deze woning), en wordt daarom niet doelmatig geacht in het licht van de hooguit incidentele overschrijdingen.

³ ProRail hanteert voor het treffen van trillingsmaatregelen vaak een bedrag van € 47.000 in bestaande situaties. De kosten voor maatregelen in de bodem zijn ruim hoger dan dit bedrag. Bovendien zal een dergelijke kostenverhoging leiden tot onverkoopte woningen, daarom wordt bij nieuwbouw vaak een (veel) lager (projectafhankelijk te motiveren) bedrag gehanteerd.

4.3.4 Afweging van maatregelen

Formeel wordt in de toekomstige woning voldaan aan het beoordelingskader. Wel passeert er 1 goederentrein met een afwijkend trillingsniveau, dat hoger is dan de strenge streefwaarde voor trillingen in de nacht. De trillingen van deze trein voldoen wel aan de streefwaarden voor de dag, die ruimer is. Een wijziging van de goederenpaden of de verwachte lichte toename van het goederenverkeer kan er echter voor zorgen dat deze trein 's nachts passeert, in dat geval is er een kans op maximaal 1 overschrijding per week in de woning.

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 achter de woning worden getroffen) evenmin doelmatig zijn. Voor maatregelen aan de woning geldt dat alleen het volledig afveren van de woning (dubbele fundering met daartussen stalen veerdozen, afgeveerd op 3 Hz) zal leiden tot trillingen die lager zijn dan de streefwaarden. Deze maatregel brengt echter hoge kosten met zich mee (ca. € 20.000 tot € 30.000 excl. BTW), en wordt daarom niet doelmatig geacht in het licht van de hooguit incidentele overschrijdingen.

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

- Het toepassen van een stijvere vloer, bijvoorbeeld door te werken met een kortere beukmaat of een dikkere vloer (eigenfrequentie bij voorkeur hoger dan 10 Hz).
- Toepassen van prefab betonnen wanden in plaats van kalkzandsteen wanden.
- Toepassen van breedplaatvloeren in plaats van 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 er geen doelmatige maatregelen zijn te treffen en dat het gaat om hooguit incidentele overschrijdingen (minder dan 1 per week).

4.3.5 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. Er is gemeten in een klimatologisch als normaal te typeren periode. De status van het spoor is onbekend. Op basis van bovenstaande verwachten we dat de huidige berekeningen representatief zijn 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 vooral 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 geïjkt 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 een nieuw te bouwen woning op het huidige perceel Stationsweg 16 in Mariënberg bepaald. Uit het onderzoek volgt dat in de huidige situatie wordt voldaan aan het beoordelingskader voor trillingshinder, maar dat er wel een goederentrein met een sterk afwijkend trillingsniveau passeert. Deze goederentrein passeert in de avond, en voldoet aan de streefwaarden. Wanneer deze trein 's nachts zou passeren, voldoen deze trillingen niet aan de strenge streefwaarden voor de nacht. Een wijziging van de goederenpaden of de verwachte lichte toename van het goederenverkeer kan er voor zorgen dat deze trein 's nachts passeert, in dat geval is er een kans op maximaal 1 overschrijding per week in de woning.

Omdat niet met 100% zekerheid is te stellen dat altijd wordt voldaan aan het beoordelingskader, is op basis van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn een maatregelafweging uitgevoerd. Hieruit volgt dat:

1. Maatregelen aan het spoor gezien de hoge kosten niet doelmatig zijn.
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 achter de woning worden getroffen) niet doelmatig zijn.
3. Voor maatregelen aan de woning alleen het volledig afveren van de woning (dubbele fundering met daartussen stalen veerdozen, afgeveerd op 3 Hz) zal leiden tot trillingen die lager zijn dan de streefwaarden. Deze maatregel brengt echter hoge kosten met zich mee (ca. € 20.000 tot € 30.000 excl. BTW), en wordt daarom niet doelmatig geacht in het licht van de hooguit incidentele overschrijdingen.

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

- Het toepassen van een stijvere vloer, bijvoorbeeld door te werken met een kortere beukmaat of een dikkere vloer (eigenfrequentie bij voorkeur hoger dan 10 Hz).
- Toepassen van prefab betonnen wanden in plaats van kalkzandsteen wanden.
- Toepassen van breedplaatvloeren in plaats van kanaalplaatvloeren.
- Toepassen van een plaatfundering in plaats van een balkenfundering. Door het realiseren van een zwaardere fundering nemen de trillingen af.

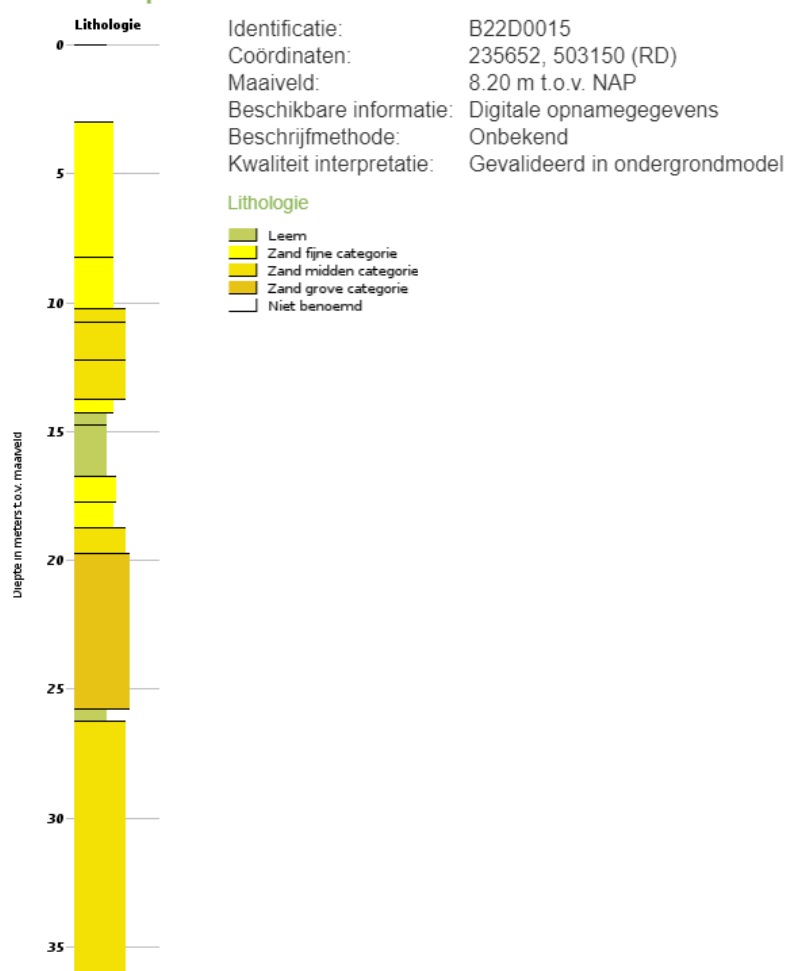
Overigens geldt dat ook zonder bovenstaande aanpassingen geen onacceptabele situatie ontstaat in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, gezien het feit dat er geen doelmatige maatregelen zijn te treffen en dat het gaat om hooguit incidentele overschrijdingen (minder dan 1 per week).

Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek

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

Een grondboring in de nabijheid van het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 7. Hier is te zien dat de bodem is opgebouwd uit zand-, en leemlagen met verschillende structuren. Een dergelijke zandige bodem kent een slechte uitdemping van de trillingen met de afstand, hierdoor kunnen trillingen tot op grotere afstand waarneembaar zijn.

Boormonsterprofiel

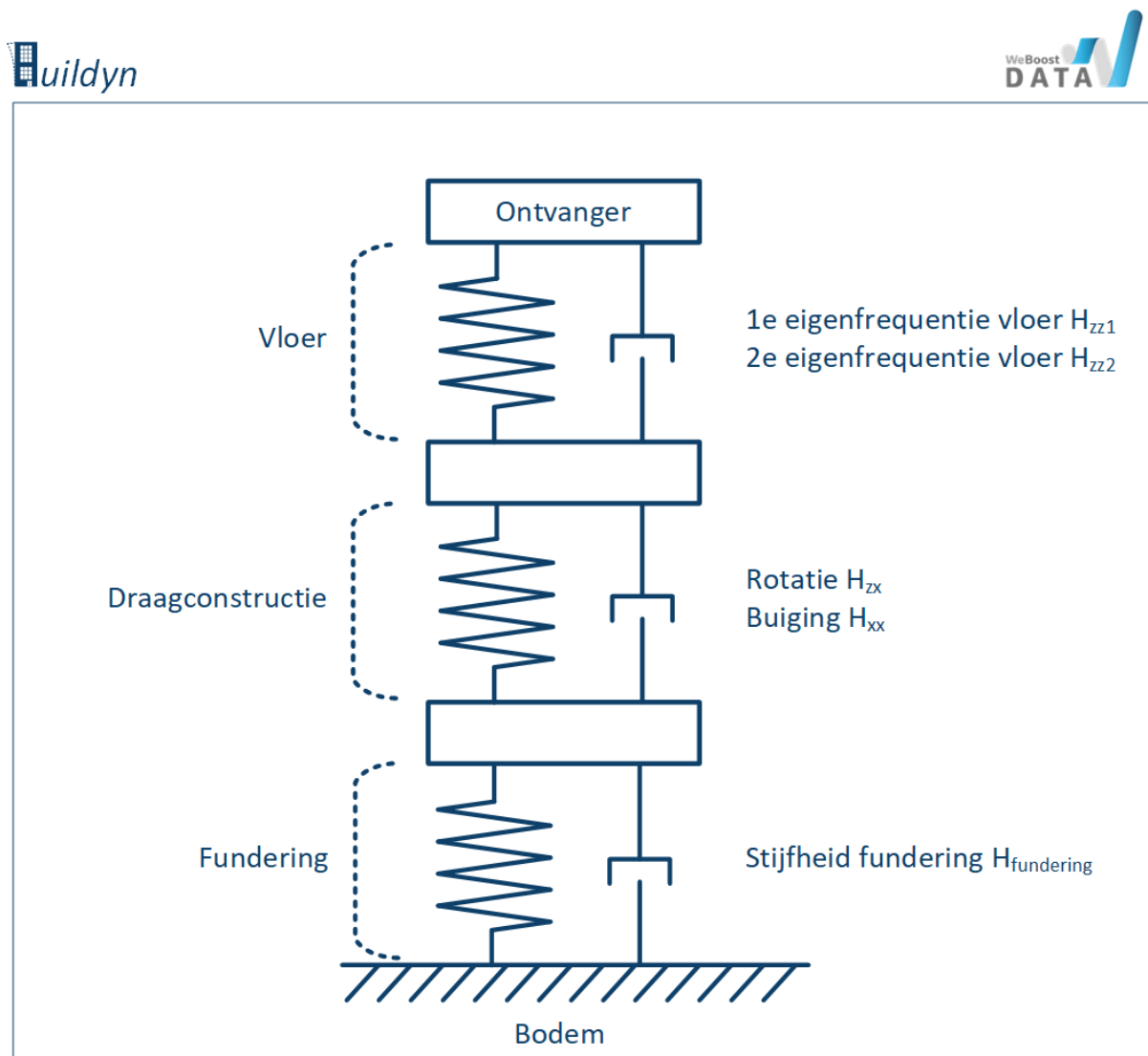


Figuur 7 Boring nabij het onderzoeksgebied, B22D0015

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 geïjkt 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 massaveersystemen, zie Figuur 8. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 8, worden in deze bijlage nader toegelicht.



Figuur 8 Principe van Buildyn met een gebouw als gekoppeld massaveersysteem. Rechts de verschillende componenten van het rekenmodel

Fundering

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

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

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

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

Draagconstructie

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

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

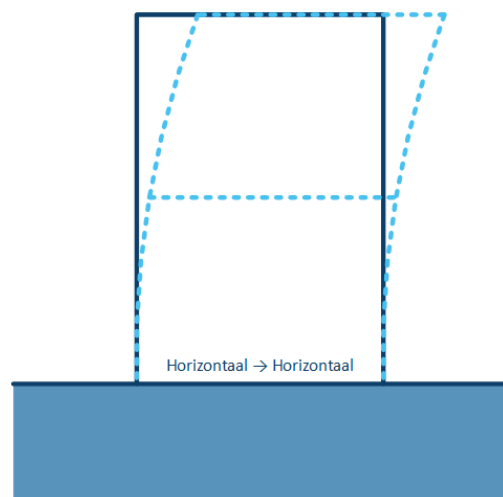
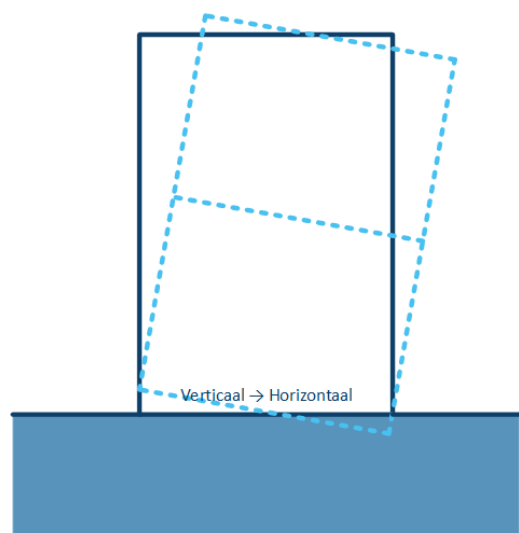
Dit effect wordt in Buildyn weergegeven als H_{zx} , en is afhankelijk van:

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

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

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

- Afmetingen van het gebouw (breedte, lengte, hoogte)



- Constructietype (stijfheid, starheid van verbindingen, open ruimtes)
- Gebruikte materialen

Vloeren

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

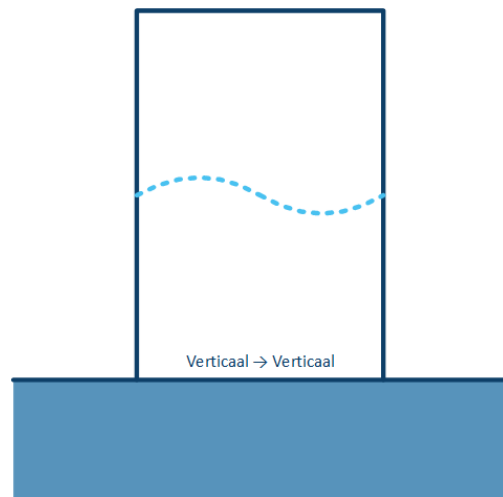
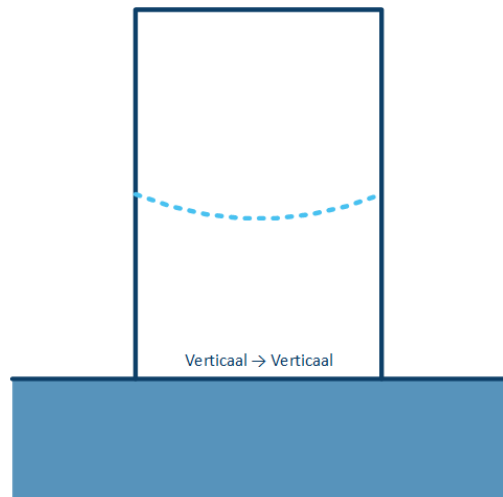
De eerste buigmodus van de vloer (bij de eerste eigenfrequentie) is simpele doorbuiging, zoals weergegeven in de principeschets rechts. Met name de eigenfrequentie (de frequentie waarvoor de vloer gevoelig is) en de demping bepalen in hoeverre de trillingen worden opgeslingerd. De trillingen zijn het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

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

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

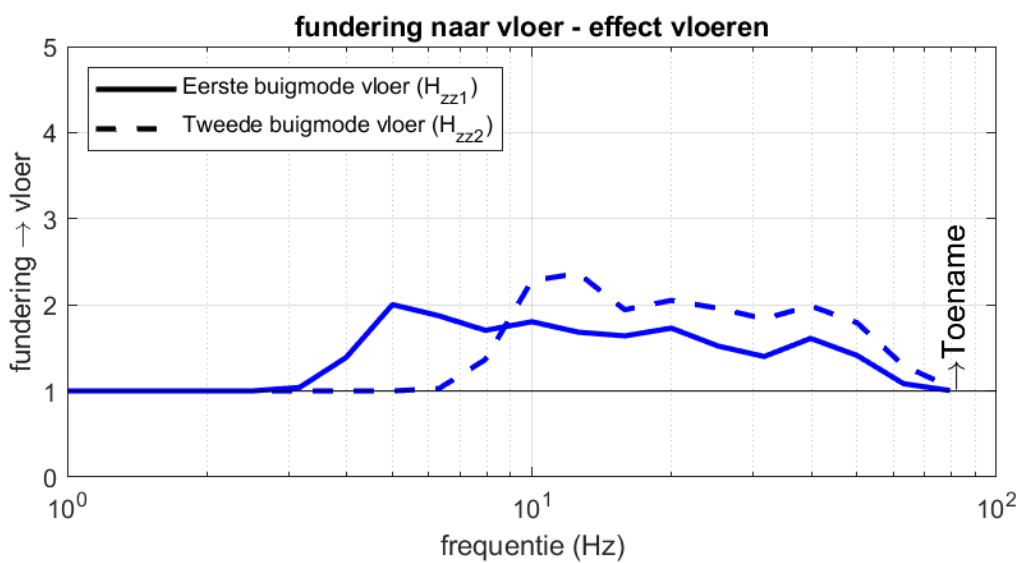
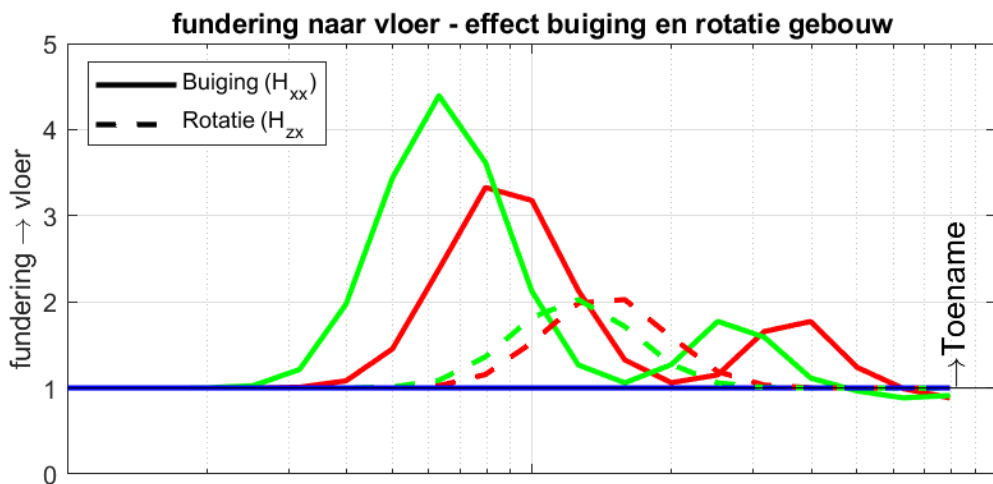
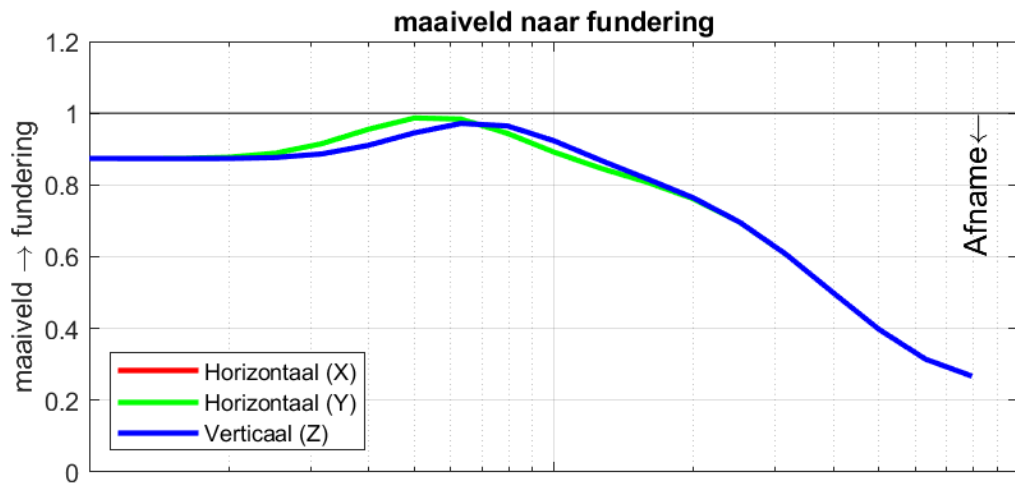
Bij de tweede buigmodus van de vloer (bij de tweede eigenfrequentie) zijn de trillingen maximaal op ongeveer $\frac{1}{4}$ van het vloerveld, zie de principeschets rechts.

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



Resultaten

De resultaten uit de Buildyn-berekeningen voor de geplande woning met een beukmaat van 6.6 meter zijn weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9 Buildyn-resultaten voor de geplande woning met een beukmaat van 6.6 m