

SCHOUDERMANTEL BUNNIK

Trillingsonderzoek t.b.v. nieuwbouw



Colofon

Auteur	Thijmen van der Veen thijmen@we-boost.nl
Controle en vrijgave	Pieter Boon pieter@we-boost.nl +31 6 10 03 94 54
Projectcode	WBD2033
Versienr	1.0
Datum	8 januari 2021
Status	Vrijgegeven
Opdrachtgever	ZEEP BV



© 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

Aan de Schoudermantel 6-6A in Bunnik worden 39 woningen gerealiseerd. De geplande nieuwbouw ligt in de nabijheid van de spoorlijn Utrecht – Arnhem. 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, ongeacht de constructieve uitwerking (binnen het kader van het stedenbouwkundig ontwerp), in de huidige situatie sprake is van incidentele overschrijdingen van het beoordelingskader, de SBR B-richtlijn, als gevolg van goederentreinen. In het kader van het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer (PHS) zullen deze goederentreinen de komende jaren verdwijnen van dit traject, terwijl het aantal reizigerstreinen toeneemt. In de voorziene toekomstige situatie (PHS-prognose) is alleen in de woning die het dichtst bij het spoor ligt nog sprake van overschrijdingen van het beoordelingskader. De trillingen zijn, ondanks de grote afstand tot het spoor, relatief hoog op deze locatie, vermoedelijk als gevolg van een slechte spoorligging rond de overweg. Dit is een veel vaker voorkomend probleem rond overwegen.

Omdat de trillingen in 1 van de 39 woningen niet voldoen aan het beoordelingskader, hebben wij een maatregelonderzoek uitgevoerd. Op basis daarvan concluderen wij het volgende:

1. Maatregelen aan het spoor of de treinen vallen buiten de planologische grenzen van het onderzoeksgebied en zijn zeer kostbaar. Deze maatregelen zijn niet doelmatig.
2. Maatregelen in de bodem (zoals trillingsschermen) zijn zeer kostbaar en ruimtetechnisch lastig inpasbaar. Deze maatregelen zijn niet doelmatig.
3. Een conventioneel bouwkundig concept (wanden-vloeren) met 200 mm dikke breedplaatvloeren leidt tot de laagste trillingen in de woningen. Zeker in het oostelijke deel van bouwblok B adviseren wij om een dergelijk bouwconcept toe te passen, voor bouwblok A en het zuidelijke deel van bouwblok B kunnen ook houtskeletbouw, zwaardere prefab betonconstructies of concepten met kanaalplaatvloeren worden toegepast. Ook met bovengenoemd bouwkundig concept wordt echter nog niet voldaan aan de streefwaarden. Wij adviseren daarom om in de constructieve uitwerking van het plan de volgende mogelijkheden af te wegen op doelmatigheid:
 - a. Is het mogelijk om de funderingsconstructie onder de eerste woning te verzwaren, bijvoorbeeld door de kelder daar te vergroten (zodat de eerste woning volledig onderkelderd is), of de fundering onder deze woning uit te voeren met een 700 mm dikke plaatfundering (in plaats van een balkenfundering) in combinatie met een zwaardere kelderconstructie (50 procent dikkere kelderwanden en vloeren, inclusief dikkere dwarswanden ter plekke van de eerste woning)?
 - b. Is het mogelijk om de fundering van de eerste woning rondom te bekleden met 150 mm dik rubber (bijv. CDM-RAFT)? Nadeel van deze oplossing is dat de trillingen van incidenteel passerende goederentreinen hierdoor wel kunnen

toenemen, maar de verwachting is dat het aantal goederentreinen in de toekomst verder afneemt: er is geen structureel goederenverkeer voorzien voor deze lijn.

- c. Is het mogelijk om het stedenbouwkundig concept nog aan te passen, zodat de eerste woning zwaarder (groter bouwvolume) wordt uitgevoerd? Een constructie zoals van bouwblok A (hoger, breder) op deze plek zou bijvoorbeeld wel voldoen aan de streefwaarden.

De kosten van bovenstaande maatregelen zijn in alle gevallen hoog, maar met deze maatregelen is wel te voldoen aan de streefwaarden voor trillingshinder. Bovendien geldt voor al deze maatregelen dat de trillingen van zwaar wegverkeer over de spoorwegovergang hiermee ook zullen afnemen, zodat het comfortniveau in de woning wordt vergroot. Andere maatregelen zijn niet doelmatig, omdat de woningen, mits gebouwd volgens het geadviseerde bouwconcept, al relatief ongevoelig voor trillingen zijn.

Indien geen van bovenstaande ontwerptimalisaties bij de verdere uitwerking doelmatig blijkt te zijn (omdat de meerkosten bijvoorbeeld niet opwegen tegen het effect), dan kan worden beargumenteerd dat er geen onacceptabele situatie ontstaat in de geplande bebouwing: er is in de geplande woningen sprake van matige hinder, een situatie die volgens bijlage 5 van de SBR B-richtlijn kan worden geaccepteerd als de kosten of impact van maatregelen niet in verhouding staan tot het bereikte effect. Bovendien voldoen de trillingen wel aan de streefwaarden voor een bestaande situatie uit de SBR B-richtlijn, in deze streefwaarden is een zeker gewinningseffect meegenomen. In bepaalde gevallen met hoge brontrillingen (zoals hier met een spoorwegovergang) worden deze streefwaarden gehanteerd bij de beoordeling. Verder geldt dat de woningen voorzien zijn van een relatief zware onderkelderde constructie, zodat de trillingen, ook gezien de grotere afstand tot het spoor, fors lager zullen zijn dan zoals die momenteel optreden in de bestaande (oudere, en dus trillingsgevoeliger) bebouwing aan de Schoudermantel.

Op basis van bovenstaande afwegingen kan worden gemotiveerd dat in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn ook zonder maatregelen tegen trillingen geen onacceptabele situatie ontstaat in de geplande bebouwing.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel	6
1.3	Leeswijzer	7
2	Situatie en uitgangspunten	8
2.1	Situatiebeschrijving	8
2.2	Uitgangspunten	9
3	Beoordelingskader	11
3.1	Beoordelingskader	11
3.2	Rekenmethode	12
4	Verwachte trillingen in de woningen	15
4.1	Meetresultaten	15
4.2	Trillingen in geplande nieuwbouw	16
4.3	Maatregelen	18
4.4	Onzekerheden in het onderzoek	23
5	Conclusies en aanbevelingen	25
I	Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek	27
II	Bijlage Rekenmodel Buildyn	29
	Fundering	30
	Draagconstructie	30
	Vloeren	31
	Resultaten	32

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Aan de Schoudermantel 6-6A in Bunnik worden 39 woningen gerealiseerd. De huidige bebouwing op het perceel betreft een kringloopwinkel en een vrijstaande woning. Het plangebied bevindt zich in de nabijheid van de spoorlijn Utrecht – Driebergen-Zeist, zie Figuur 1. Gezien de beperkte afstand tot het spoor kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet *op voorhand* worden uitgesloten.



Figuur 1 Plangebied Schoudermantel 6-6A

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, conform de in de *Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen* omschreven aanpak. 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 randvoorwaarden of maatregelen wel kan worden voldaan aan het beoordelingskader.

1.3 Leeswijzer

Wij beschrijven de situatie in het onderzoeksgebied en de uitgangspunten in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 lichten we het beoordelingskader en de gevolgde rekenmethodiek toe. Met behulp van de uitgangspunten berekenen we de trillingen in het onderzoeksgebied voor de geplande gebouwen op basis van de gemeten trillingen en de eigenschappen en functies 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 relevant grondonderzoek.

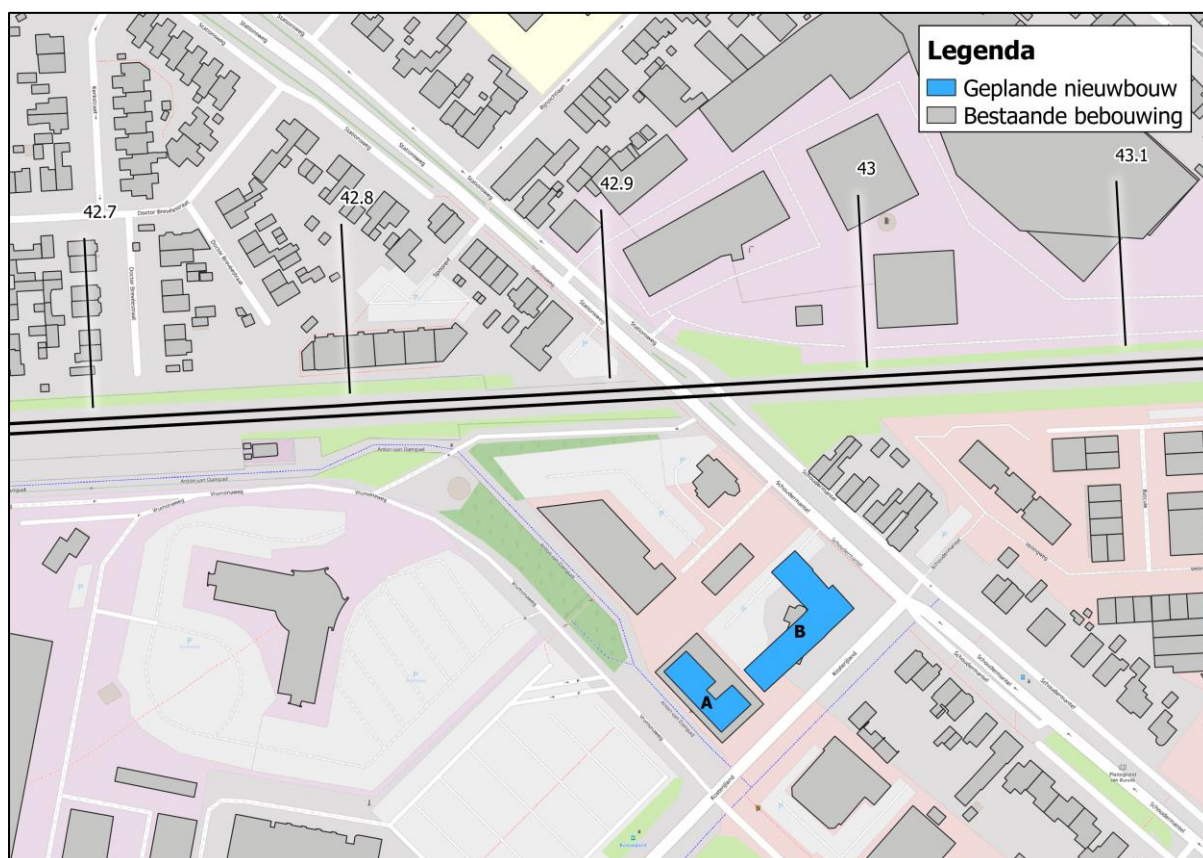
2 Situatie en uitgangspunten

In dit hoofdstuk geven wij een toelichting op de beoogde toekomstige situatie in het plangebied en geven we de uitgangspunten van het onderzoek weer.

2.1 Situatiebeschrijving

De planlocatie bestaat op dit moment uit een kringloopwinkel en een vrijstaande woning. De geplande bebouwing bestaat uit twee blokken met woningen en een half verdiepte parkeergarage, zie Figuur 2. De geplande nieuwbouw varieert in hoogte tussen twee en vier bouwlagen:

- Blok A bestaat uit vier bouwlagen met onderin een half verdiepte parkeergarage.
- Blok B bestaat uit twee en drie bouwlagen met onderin een half verdiepte parkeergarage en een berging.



Figuur 2 Bestaande en toekomstige bebouwing

De nieuwbouw bevindt zich op een afstand van zo'n 60 tot 110 meter van het spoor, deels met bestaande bebouwing tussen het spoor en de geplande nieuwbouw. Het aantal treinen per uur per richting en de rijdsnelheid van de treinen zijn weergegeven in Tabel 1. Deze gegevens zijn gebaseerd op gegevens uit het Geluidsregister Spoor en gegevens van vervoerders (NS, ProRail). Volgens de NMCA spoor 2030-2040 (vooruitblik voor goederenvervoer) en de Tracébesluiten en bestemmingsplannen van aanliggende

spoorprojecten (Doorstroomstation Utrecht, Driebergen-Zeist Stationsgebied, Ede Spoorzone, Sporen in Arnhem) zal er geen structureel goederenvervoer meer plaatsvinden op de spoorlijn Utrecht – Arnhem. In 2019 reden er gemiddeld nog 1 tot 2 goederentreinen per dag op dit traject, in 2020 is dit aantal al verder afgenomen naar incidentele passages in omleidingssituaties. Voor de toekomst wordt een verdere afname voorzien.

Voor reizigerstreinen wordt wel een toename voorzien. In het kader van PHS neemt het aantal intercity's toe van de huidige 4 naar 6 per uur per richting, en het aantal sprinters van 2 tot 4 naar 6.

Tabel 1 Treinen, rijsnelheid en aantal treinen per uur per richting (gemiddeld, per richting). Tussen haakjes de PHS prognose

Type trein	Rijsnelheid (km/h)	dag (7:00 – 19:00)	avond (19:00 – 23:00)	nacht (23:00 – 7:00)
Sprinter	40 – 80 km/h	4.00 (6.00)	2.50 (6.00)	0.88 (1.93)
Intercity en ICE	130 – 140 km/h	4.60 (7.00)	4.25 (7.00)	0.88 (1.93)
Goederen	80 – 90 km/h	0.03 (-.-)	0.03 (-.-)	0.03 (-.-)

Lokaal, zwaar verkeer kan ook voor voelbare trillingen zorgen, vooral op korte afstand van de wegen. De Schoudermantel en het Kosterijland zijn doorgaande wegen, waar ook zwaar vrachtverkeer rijdt. Met name over oneffenheden in het wegdek (drempels, putten, asfaltschades) en over de spoorwegovergang kan dit zware verkeer ook voor trillingen in de geplande woningen zorgen. Wegverkeer is in dit onderzoek niet nader kwantitatief beschouwd.

2.2 Uitgangspunten

In deze paragraaf lichten wij de gebruikte uitgangspunten toe. In het volgende hoofdstuk (onder werkwijze) leggen we uit hoe deze uitgangspunten zijn verwerkt in de berekeningen.

2.2.1 Gegevens bebouwing

In het plangebied worden 39 woningen, bestaande uit appartementen, gerealiseerd. Er is een schetsontwerp van de bebouwing beschikbaar, de voor trillingen meest relevante aspecten zijn weergegeven in Tabel 2. Omdat het een voorlopig ontwerp betreft, zijn de constructieve gegevens nog niet bekend. Daarom rekenen wij een aantal gebouwvarianten door. Het rekenmodel voor de bebouwing is gebaseerd op Tabel 2.

Tabel 2 Eigenschappen bebouwing

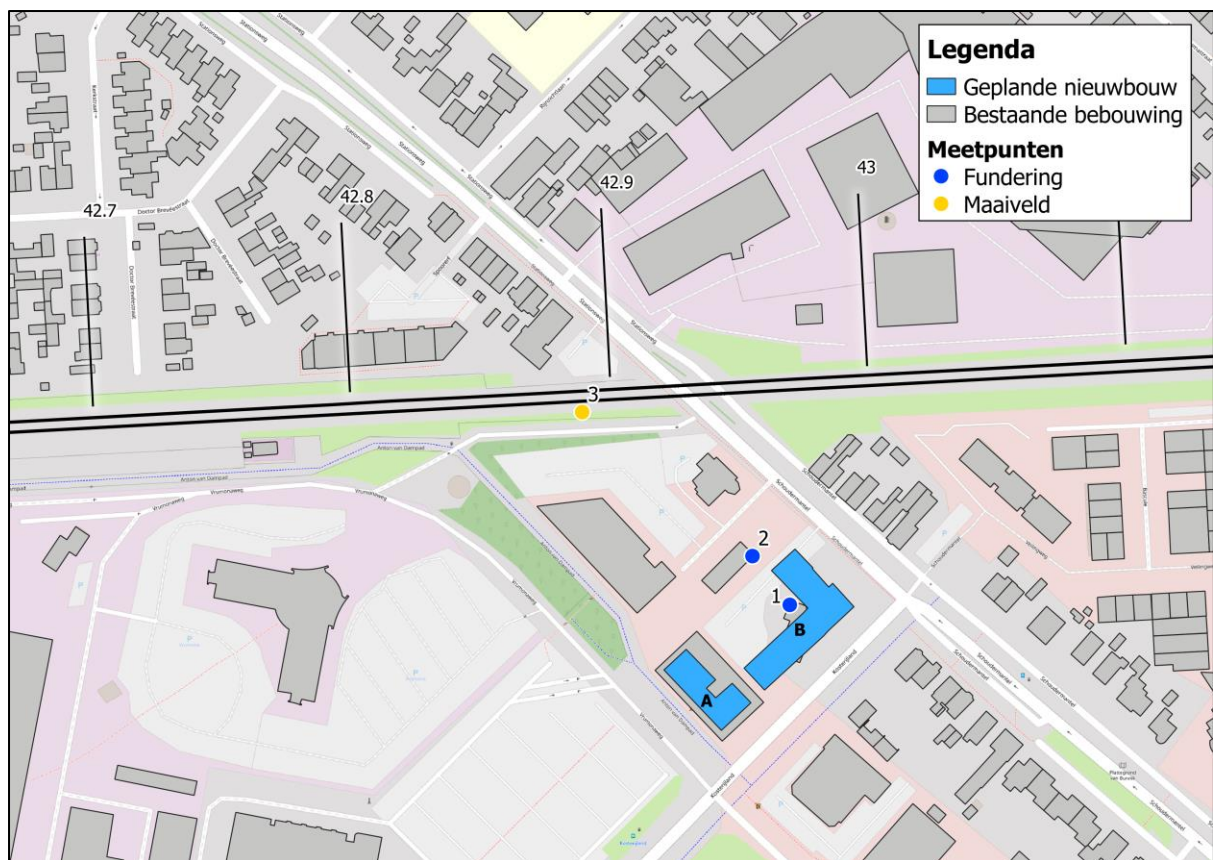
Parameter	Eigenschappen
Vloertype	Breedplaatvloer, kanaalplaatvloer en hout
Hoogte	8 tot 16 m
Lengte vloerveld	5.4 tot 8 m
Breedte vloerveld	9 tot 11 m
Fundering	Op staal
Stijfheid gebouw	Meerdere varianten: • Prefab beton • Wanden-vloeren (kalkzandsteen en metselwerk) • Houtskelet Parkeerbak van beton

2.2.2 Gegevens ondergrond

Voor gegevens van de ondergrond is gebruik gemaakt van beschikbare boringen en sonderingen uit Dinoloket en bodemonderzoeken die in de nabijheid van 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 op drie punten in en nabij het onderzoeksgebied, zie Figuur 3. De metingen zijn uitgevoerd in december 2020, en zijn verricht op maaiveld en aan de fundering van twee bestaande panden. De meetresultaten van het 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 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.

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

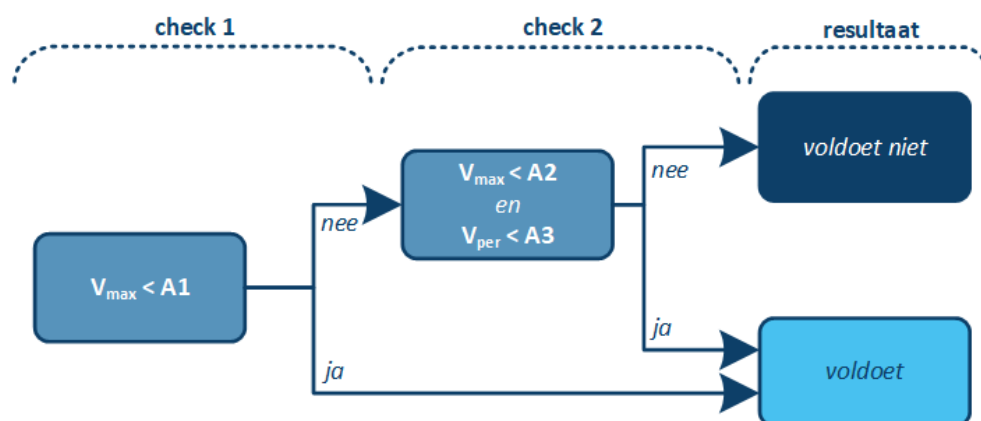
1. De richtlijn toetst zowel een maximaal optredende trillingssterkte (V_{max} , treedt op bij de trein die gedurende de meetperiode de hoogste trillingen veroorzaakt) als het tijdsgemiddelde van de trillingen (V_{per} , deze grootheid is in tegenstelling tot V_{max} dus ook afhankelijk van het aantal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

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.

- c. De nacht, omdat de meeste hinder vaak in rust wordt ervaren. De streefwaarden voor overdag zijn ca. een factor 2 minder streng dan 's nachts.
3. Een woning kan op twee manieren voldoen aan de richtlijn: de trillingssterkte V_{max} moet lager zijn dan de onderste streefwaarde A1 (zie Tabel 3), óf V_{max} moet lager zijn 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

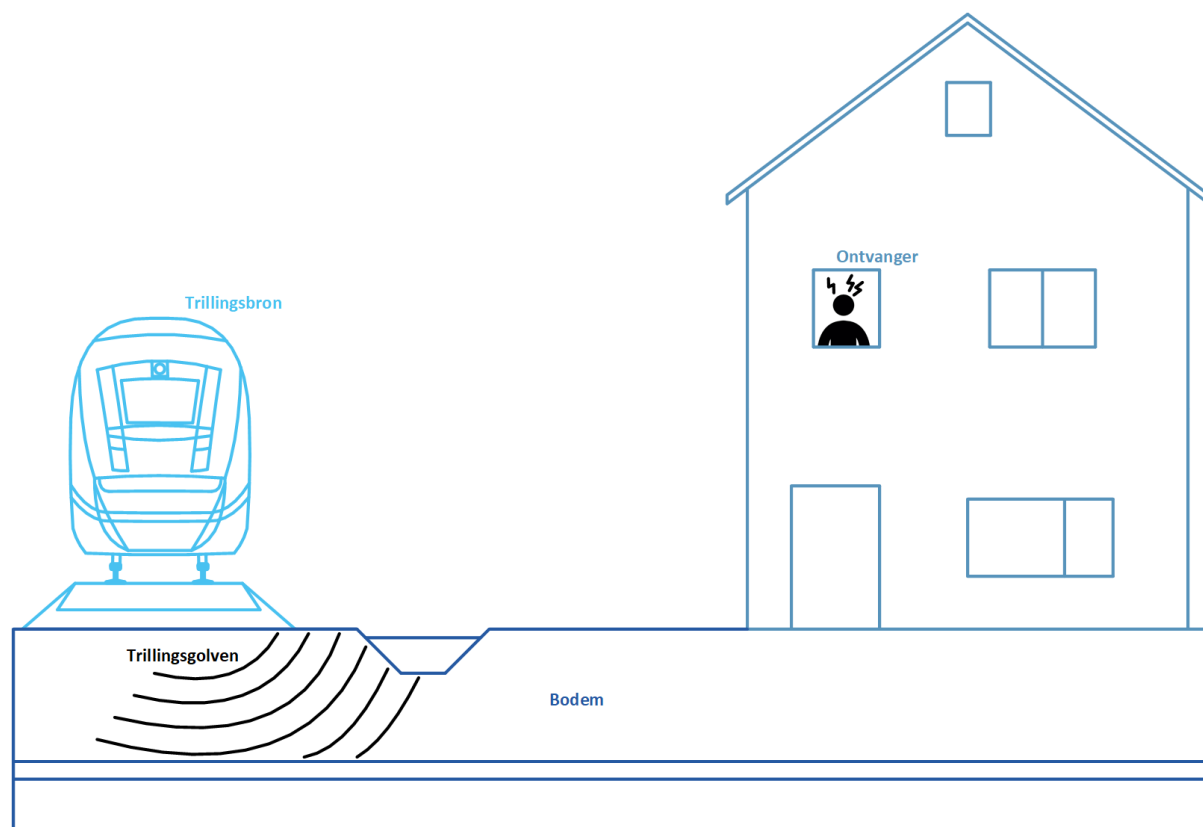
In de SBR-richtlijn deel B worden de trillingen beoordeeld in gebouwen. Omdat het bij dit project gaat om nog niet gerealiseerde gebouwen, wordt op basis van metingen aan bestaande bebouwing een berekening gemaakt van de verwachte trillingen in de geplande nieuwe bebouwing. Deze verwachte trillingen 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 de omgeving van het plangebied, onder meer aan de fundering van bestaande panden. 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 klei- en zandlagen, 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, de constructieve eigenschappen en de gebruikte materialen van de gebouwen. Hiervoor maken we gebruik van het rekenmodel Buildyn,

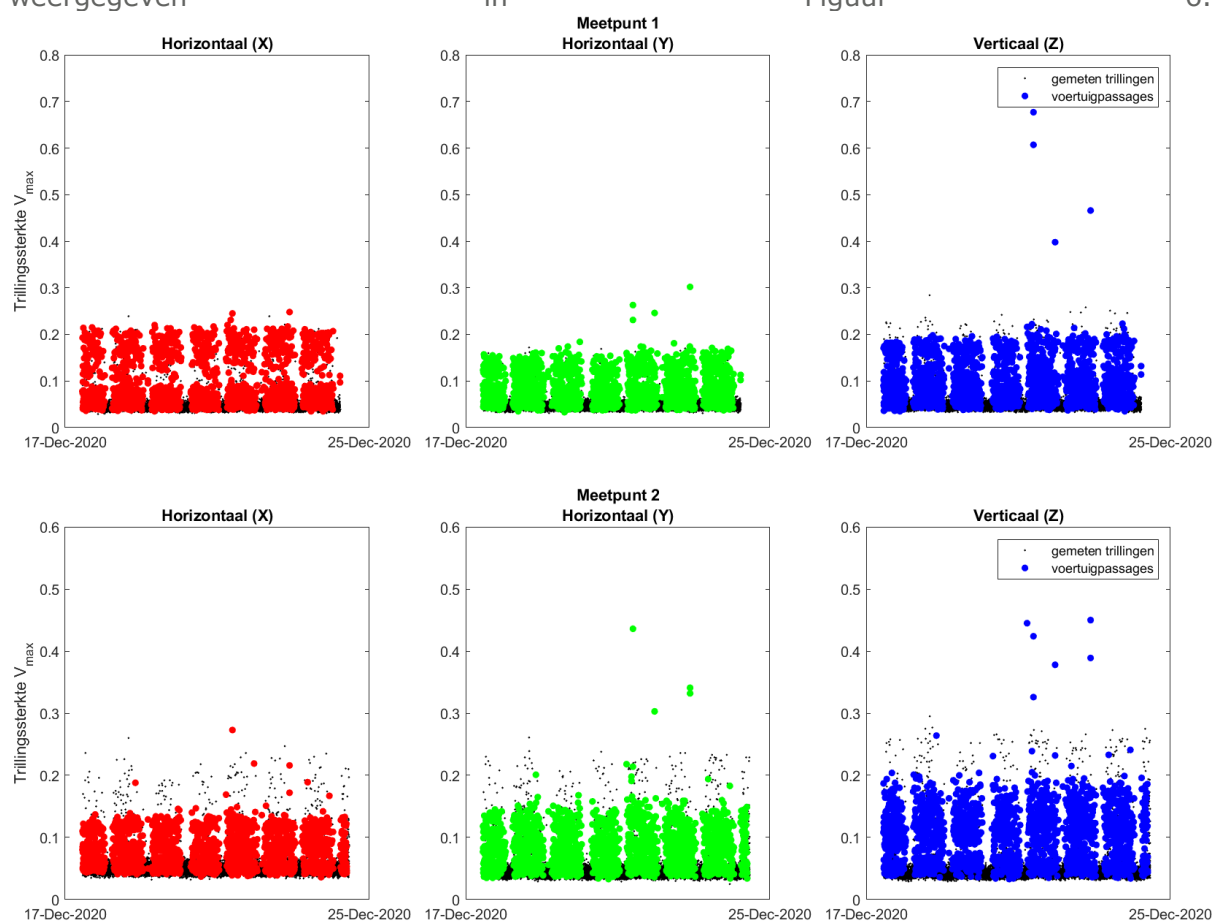
een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin de gebouwen gemodelleerd en doorgerekend zijn. De resultaten van het model zijn geijkt met praktijkresultaten uit metingen. Een toelichting op het rekenmodel Buildyn is gegeven in bijlage II.

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 bestaande panden en op maaiveld in de nabijheid van de onderzoekslocatie. De trillingen op meetpunt 1 en 2 zijn weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6 Gemeten trillingen op meetpunt 1 (boven, fundering Schoudermantel 6) en meetpunt 2 (onder, fundering Schoudermantel 4)

In Figuur 6 valt het volgende op:

1. De trillingen zijn, gezien de afstand tot het spoor (80 meter bij meetpunt 1, 60 meter bij meetpunt 2) erg hoog, zeker voor reizigerstreinen. Dit komt vooral door de spoorwegovergang, vermoedelijk is de spoorligging rond de spoorwegovergang slechter, waardoor de trillingen hoger zijn.
2. De trillingen van sprinters zijn laag (vergelijkbaar met achtergrondtrillingen), door de lage rijsnelheid en het feit dat dit relatief lichte treinen zijn. Intercity's geven fors

hogere trillingen, terwijl de hoogste trillingen door enkele incidenteel passerende goederentreinen worden veroorzaakt.

3. Lokaal wegverkeer veroorzaakt, met name in verticale richting, ook hoge trillingen (hoger dan de meeste treinen). Het betreft vooral verkeer dat over de spoorwegovergang rijdt. Dit effect is het beste zichtbaar bij Schoudermantel 4, dit gebouw ligt dicht bij de spoorwegovergang dan Schoudermantel 6, waardoor de trillingen van het wegverkeer over de spoorwegovergang hier hoger zijn.
4. Opvallend is dat de trillingen bij Schoudermantel 6 hoger zijn dan bij Schoudermantel 4, ondanks de grotere afstand tot het spoor. Dit komt doordat Schoudermantel 6 een ouder pand betreft, met een slechtere fundering dan Schoudermantel 4. In de berekeningen is hier rekening mee gehouden.

4.2 Trillingen in geplande nieuwbouw

De geplande gebouwen zijn gemodelleerd op basis van de input uit hoofdstuk 2. Het (frequentie-afhankelijke) gedrag van de gebouwen 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 gebouwen varieert per trillingsfrequentie en trillingsrichting (X, Y of Z).

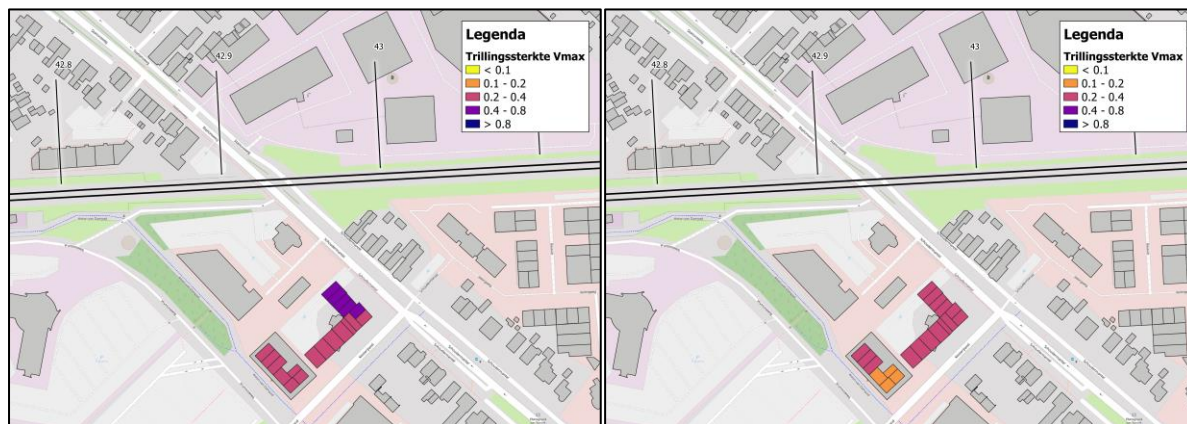
Met deze overdrachten is op basis van de metingen bepaald wat de verwachte trillingen zullen zijn in de woningen (resultaten zijn weergegeven op de hoogste verdieping, op lagere verdiepingen worden lagere trillingen verwacht) in de PHS-situatie (geen goederentreinen, meer reizigerstreinen). De resultaten voor de trillingssterkte V_{max} , de trillingsintensiteit V_{per} en de beoordeling van de trillingen aan de SBR B-richtlijn (zie hoofdstuk 3) zijn weergegeven in Tabel 4. De resultaten zijn soms weergegeven als een bandbreedte, omdat er nog sprake kan zijn van verschillen tussen het ontwerp en de uiteindelijke realisatie (bijv. variatie in materiaalkwaliteit (hout, gescheurdheid van beton), sterkte van de constructieve verbindingen, etc.), en tussen delen in de bouwblokken.

Tabel 4 Trillingen per bouwblok en beoordeling op SBR B-richtlijn (bouwbloknummers corresponderen met bouwbloknummers in Figuur 2)

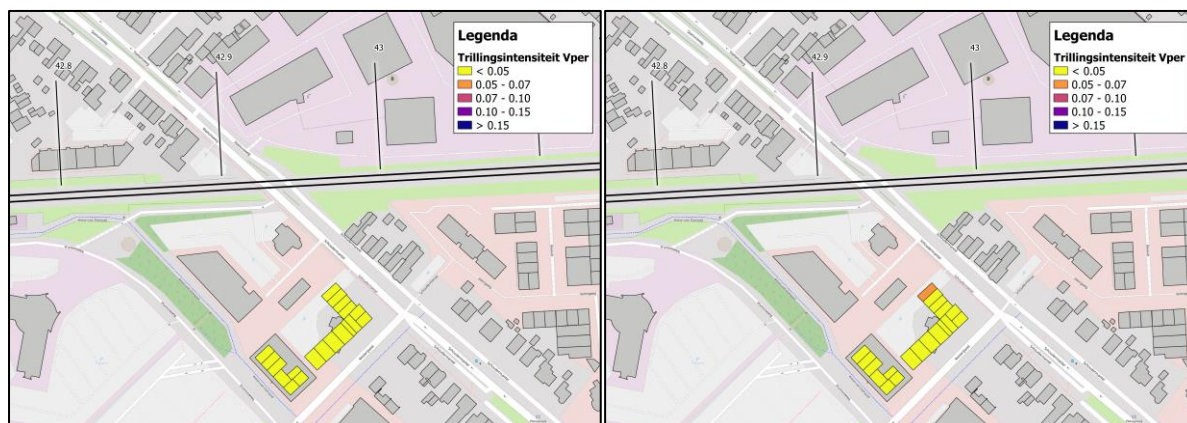
Constructietype	Bouwblok	V_{max}	V_{per}	Beoordeling
Prefab beton, zeer stijf, breedplaatvloeren 260 mm	A	0.2 – 0.3	0.02 – 0.03	Voldoet
Prefab beton, zeer stijf, breedplaatvloeren 260 mm	B	0.3	0.02 – 0.07	Voldoet niet, minder dan 3 overschrijdingen per dag
Conventioneel, breedplaatvloeren 200 mm	A	0.2 – 0.3	0.01 – 0.03	Voldoet
Conventioneel, breedplaatvloeren 200 mm	B	0.3	0.01 – 0.06	Voldoet niet, minder dan 1 overschrijding per week
Conventioneel, kanaalplaatvloeren 200 mm	A	0.2 – 0.3	0.02 – 0.04	Voldoet
Conventioneel, kanaalplaatvloeren 200 mm	B	0.3	0.02 – 0.07	Voldoet niet, minder dan 3 overschrijdingen per dag
Houtskeletbouw	A	0.2 – 0.3	0.02 – 0.04	Voldoet
Houtskeletbouw	B	0.3 – 0.4	0.02 – 0.08	Voldoet niet, minder dan 6 overschrijdingen per dag

De bovengrens van de verwachte trillingssterkte V_{max} voor een conventionele bouw met breedplaatvloeren van 200 mm is weergegeven in Figuur 7, de verwachte trillingsintensiteit V_{per} in Figuur 8 en de beoordeling van de trillingen aan de SBR B-richtlijn

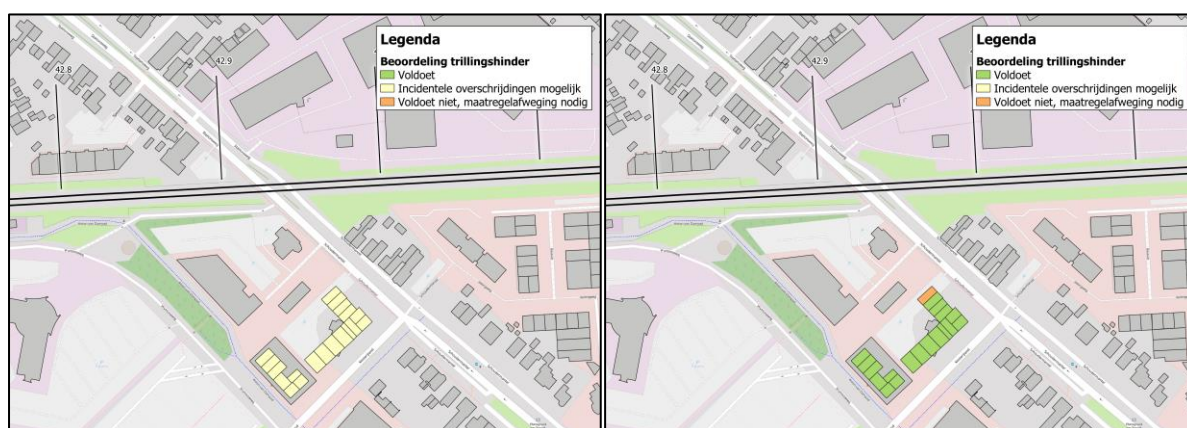
(zie hoofdstuk 3) is weergegeven in Figuur 9. De beoordeling is zowel weergegeven voor de huidige situatie (eind 2020, nog wel incidentele goederentreinen, maar nog niet de PHS-prognose voor reizigerstreinen), als voor de toekomstige situatie (geen goederentreinen, PHS-prognose voor reizigerstreinen).



Figuur 7 Trillingssterkte V_{max} per bouwblok, conventionele bouw met breedplaatvloeren 200 mm. Links huidige situatie, rechts PHS-prognose (geen goederentreinen, meer reizigerstreinen)



Figuur 8 Trillingsintensiteit V_{per} per bouwblok, conventionele bouw met breedplaatvloeren 200 mm. Links huidige situatie, rechts PHS-prognose (geen goederentreinen, meer reizigerstreinen)



Figuur 9 Beoordeling van de trillingen aan de SBR B-richtlijn voor nieuwe situaties, conventionele bouw met breedplaatvloeren 200 mm. Links huidige situatie, rechts PHS-prognose (geen goederentreinen, meer reizigerstreinen)

Globaal geldt het volgende:

1. In de huidige situatie zijn overal overschrijdingen van het beoordelingskader. Het gaat om incidentele overschrijdingen (2 per week in de verst van het spoor gelegen woningen, 1 per dag in de meest dichtbij het spoor gelegen woning). De overschrijdingen worden vooral veroorzaakt door goederentreinen, in de meer nabij het spoor gelegen woningen ook door reizigerstreinen (intercity's) met een afwijkende trillingssterkte.
2. In de PHS-situatie neemt de trillingssterkte V_{max} af doordat er dan niet meer structureel goederentreinen passeren. Deze treinen hebben namelijk de hoogste trillingssterktes. De trillingsintensiteit (V_{per} , tijdsgemiddelde) neemt daarentegen toe doordat er meer reizigerstreinen gaan rijden. In de PHS-situatie is de trillingsintensiteit hoger dan de grenswaarde in de meest nabij het spoor gelegen woning, in de andere woningen wordt voldaan aan het beoordelingskader. Hierbij geldt echter wel dat er af en toe reizigerstreinen zijn met een afwijkende trillingssterkte (hoger dan de streefwaarde van 0.2 voor de nacht). Tijdens de meting passeerden deze treinen alleen overdag of 's avonds, wanneer de streefwaarden soepeler zijn. Hierdoor zijn er, op basis van de huidige meting, geen overschrijdingen in de overige woningen. Wanneer deze treinen in de nacht zouden passeren, zouden er wel overschrijdingen zijn. Het gaat ook dan echter om incidenten (naar verwachting ca. 1 per week).
3. Wanneer gekeken wordt naar de bouwconcepten, dan valt op dat er relatief weinig verschillen zijn tussen de bouwconcepten. Wel geldt dat een conventioneel (wanden-vloeren) concept met breedplaatvloeren net iets gunstiger scoort dan de overige concepten. Bij lichte houtskeletbouw worden de meeste overschrijdingen verwacht.

Omdat de trillingen in de toekomstige situatie niet voldoen aan het beoordelingskader in de woning die het dichtst bij het spoor ligt, wordt in de volgende paragraaf ingegaan op mogelijke maatregelen om de trillingen te reduceren.

4.3 Maatregelen

In het plangebied zijn overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder voor nieuwe situaties niet uit te sluiten. Door de spoorwegovergang in de buurt bij het plangebied worden hoge trillingen veroorzaakt door passerende treinen in de woning die het dichtst bij het spoor ligt. Daarom hebben we een maatregelafweging uitgevoerd. Deze afweging beschrijven we in deze paragraaf. Deze afweging baseren we op de PHS-situatie, waarbij er geen (of uitsluitend zeer incidenteel) goederentreinen rijden, maar wel meer reizigerstreinen. Hiermee wordt een toekomstvaste afweging gemaakt.

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:

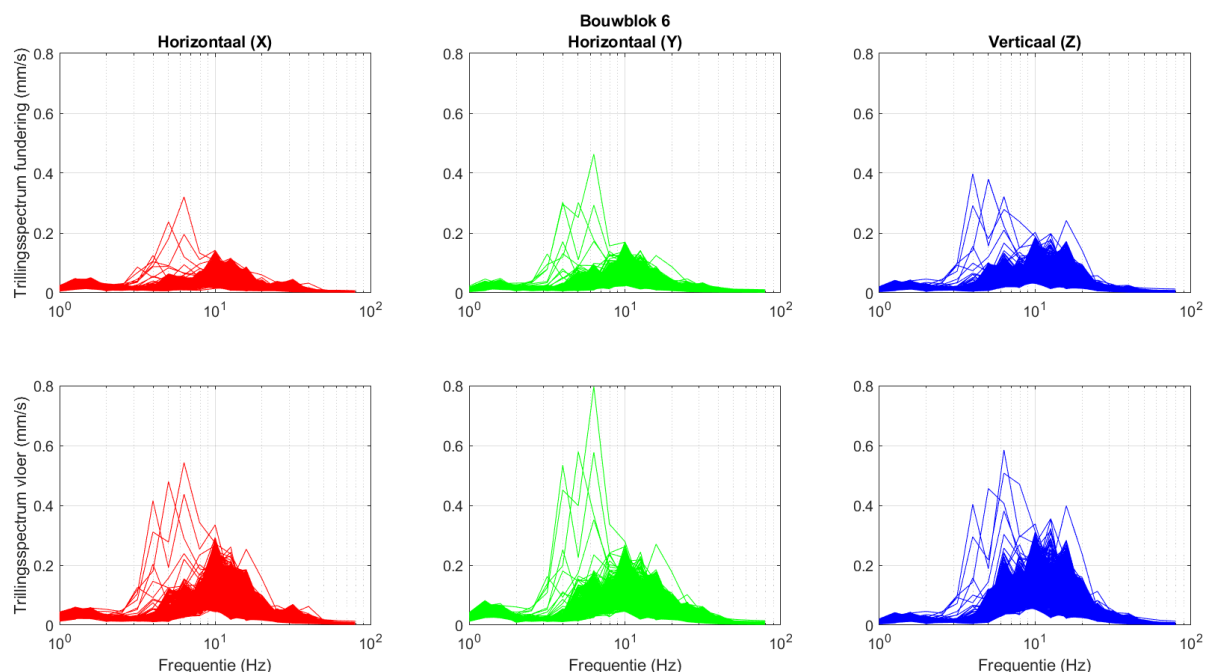
1. De mate waarin de trillingssterkte voorkomt. Hiervoor geldt dat de trillingsintensiteit V_{per} een goede indicatie is. Die is relatief hoog (V_{per} bedraagt 0.06, dus hoger dan de streefwaarde van 0.05). Het aantal overschrijdingen van de streefwaarden is weliswaar beperkt, maar een dergelijke relatief hoge waarde van V_{per} geeft aan dat er regelmatig treinen passeren die bewoners kunnen voelen (en dus, afhankelijk van hoe gevoelig iemand is voor trillingen, als hinderlijk kunnen worden ervaren).

2. De aanwezigheid van achtergrondtrillingen die de trillingen van het treinverkeer kunnen maskeren. Hiervoor geldt dat ook wegverkeer over de spoorwegovergang ook tot voelbare trillingen in de woningen met overschrijdingen kan leiden. Er kan dus sprake zijn van een maskerend effect van de spoortrillingen door wegverkeerstrillingen, anderzijds geldt dat hierdoor het gemiddelde trillingsniveau nog hoger wordt. Wegverkeer is in het huidige onderzoek niet kwantitatief meegenomen.
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 voorwaarden 1 en 2 niet van toepassing zijn, 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, zie Figuur 10. In deze figuur is de trillingsnelheid per treinpassage weergegeven als tertsbandspectrum op zowel de fundering als op de hoogste verdieping van de woning met een overschrijding. Hieruit kan worden afgeleid bij welke frequentie en in welke trillingsrichting de trillingen het hoogst zijn.



Figuur 10 Verwachte trillingen in woning dichtst bij het spoor (huidige situatie, conventionele bouw met breedplaatvloeren van 200 mm dik).

De getoonde trillingsspectra zijn voor de huidige situatie (dus met goederentreinen en minder reizigerstreinen). Uit deze analyse volgt dat de hoogste trillingen optreden in de

horizontale Y-richting, dit is parallel aan de Schoudermantel. Het betreft vooral het in zijn geheel roteren en buigen van de woningen. De trillingen zijn vooral hoog tussen de 4 en 6 Hz. Wanneer deze goederentreinen (met hoge trillingen tussen 3 en 7 Hz) buiten beschouwing worden gelaten (dus in de PHS-situatie), dan zijn de trillingen vooral hoog in verticale Z-richting, tussen 6 en 20 Hz.

Maatregelen die genomen worden moeten daarom vooral effectief zijn tegen de trillingen tussen de 6 en 20 Hz, omdat daar de meeste trillingsenergie zit. Bij voorkeur zijn de maatregelen ook effectief bij lagere frequenties om ook te voorkomen dat de trillingen van incidenteel passerende goederentreinen (bijvoorbeeld in bijsturingssituaties) als hinderlijk worden ervaren. 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). De overweg is een belangrijke bron van de hoge trillingen, vermoedelijk is de aansluiting tussen het spoor in ballast naast de overweg en het spoor op de overweg zelf niet optimaal, waardoor de treinen over een soort oneffenheid rijden. Dit is een bekend probleem bij overwegen, dat vaak voor veel extra trillingen zorgt. Het meest effectief is daarom het vervangen van de overweg door een onderdoorgang, omdat dan ook de trillingen van het wegverkeer over de overweg afnemen. Er zijn echter geen plannen voor het verwijderen van deze overweg. Verder valt deze maatregel buiten de scope van dit onderzoek, omdat deze buiten het plangebied moet worden getroffen, en omdat de kosten van een dergelijke ingreep zeer hoog zijn.

Andere effectieve maatregelen zijn het stijver maken van de spoorconstructie, zodat de laagfrequente trillingen afnemen, bijvoorbeeld door het aanbrengen van een betonplaat onder de sporen, of het aanpassen van de rijsnelheid van de treinen (een effectieve maatregel, omdat de langzamer rijdende sprinters hier ook veel minder trillingen veroorzaken). Deze maatregelen vallen echter buiten de scope van dit onderzoek, omdat deze maatregelen allemaal buiten het plangebied moeten worden getroffen. Bovendien brengen dergelijke maatregelen zeer hoge kosten met zich mee (o.a. door stagnatie van het treinverkeer gedurende langere tijd).

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 trillingsscherm van piepschuim (EPS), beton, jet-grout (soil-mix methode voor beton) of een damwand. Deze maatregelen hebben een aantal nadelen:

1. Ze zijn vooral effectief dicht op de trillingsbron (het spoor, maar valt buiten het plangebied) en (in mindere mate ook) dicht op de bebouwing. Dichtbij het spoor is complex, omdat hier sprake is van een spoorwegovergang. In dat geval moet het trillingsscherm dus onder de weg worden aangebracht, maar de trillingen zullen dan nog deels worden doorgegeven door het wegdek dat op het scherm ligt. Bovendien valt deze zone buiten het plangebied. Meer voor de hand liggend is een maatregel in een hoek om de meest dichtbij het spoor gelegen woning heen, over een lengte van ca. 40 meter. Er is weinig werkruimte om een dergelijke maatregel aan te brengen,

zelfs als dit wordt gedaan voorafgaand aan de realisatie van de woningen, omdat veel werkruimte nodig is, en ook een deel van de Schoudermantel moet worden afgezet.

2. De toekomstvastheid van de maatregelen is laag, ze zijn niet of zeer slecht aanpasbaar aan toekomstige wijzigingen aan het spoor of aan wijzigingen in het ruimtegebruik.
3. De kosten van deze maatregelen zijn hoog.

Mogelijke maatregelen in de bodem met een inschatting van het effect en de kosten voor een maatregel op de perceelgrens zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Mogelijke maatregelen in de bodem

Maatregel	Effect	Kosten
Betonnen wand	10 – 20%	€ 0.5 – 0.9 mln
Jet-grout wand	5 – 15%	€ 0.7 – 1.2 mln
Damwand	0 – 10%	€ 0.4 – 0.8 mln
Beton met rubber	20 – 50%	€ 1.0 – 1.6 mln
Damwand met EPS	10 – 25%	€ 0.6 – 1.1 mln
Damwand met sleuf	10 – 30%	€ 0.9 – 1.4 mln
Prefab L-wand 4 m diep, bekleed met 120 mm rubber	10 – 25%	€ 0.3 – 0.5 mln
CSM-wand	0 – 15%	€ 0.3 – 0.5 mln

Om ook in de ene woning met overschrijdingen te voldoen aan het beoordelingskader, is een maatregel nodig met een effect van minimaal 15 procent. Uit het overzicht met maatregelen volgt dat de kosten van de maatregelen zonder uitzondering hoog zijn². De goedkoopste maatregel is een CSM-wand, maar deze is mogelijk onvoldoende effectief. Ook deze maatregel heeft nog steeds zeer hoge kosten van minimaal € 300.000 voor de ene woning. Maatregelen in de bodem zijn daarmee niet doelmatig³.

4.3.4 Maatregelen aan de gebouwen

Bij maatregelen aan de woningen is een breed scala aan maatregelen mogelijk. Die variëren van het verder van het spoor plaatsen van de woningen, het toepassen van een zwaardere fundering (zwaardere of grotere onderkeldering bij deze woning), het toepassen van meer dempende materialen (metselwerk i.p.v. prefab beton) tot het ontkoppelen van de fundering of de vloeren door middel van stalen veren of een dikke rubberen oplegging. Een deel van deze maatregelen is mogelijk inpasbaar bij de detaillering van het ontwerp zonder hoge kosten met zich mee te brengen. Het globale effect en de kosten van de mogelijke maatregelen aan de woningen zijn weergegeven in Tabel 6, hierbij is het effect weergegeven ten opzichte van woningen met een breedplaatvloer van 200 mm.

² Mogelijk kunnen de kosten van sommige maatregelen worden gereduceerd door deze te combineren met de half verdiepte kelder, afhankelijk van de daar te gebruiken bouwmethode.

³ 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 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.

Tabel 6 Mogelijke maatregelen aan de gebouwen (uitgaande van conventioneel bouwconcept met 200 mm breedplaatvloeren)

Maatregel	Effect	Kosten ⁴
Toepassen van dempende materialen	0 – 10%	< 2% SK
Beukmaat vergroten van 5.4 naar 6.0 m	0%	< 1% SK
Ontkoppelen van de vloeren met 15 mm dikke rubberen oplegging	0%	2 – 4% SK
Ontkoppelen van de fundering (afveren op 3 Hz, 10% damping)	30 – 40%	6 – 10% SK
Afschermen fundering met 150 mm rubber	5 – 15%	3 – 5% SK
Afschermen fundering met 500 mm EPS250	0 – 10%	1 – 3% SK
Zwaardere fundering (dikkere keldervloer, dikkere dwarswanden in kelder)	10 – 20%	3 – 5% SK
Stijvere constructie	0%	2 – 5% SK
Zwaardere bouwconstructie (hoger, breder, zwaarder)	10 – 25%	NTB

De meest effectieve (maar ook meest kostbare) maatregel is het ontkoppelen van de fundering. Hierbij worden stalen veerdozen (met eigenfrequentie onder 4 Hz en toegevoegde damping) aangebracht tussen de kolomkoppen van de parkeerkelder en de vloer van de woningen, zodat de woningen worden afgeveerd. Probleem bij deze maatregel is dat deze niet alleen bij de woning met een overschrijding kan worden toegepast, maar ook bij de hieraan constructief verbonden woningen, zodat de kosten fors oplopen. Deze maatregel is daarmee niet doelmatig (kosten bedragen meer dan € 100.000). Andere effectieve maatregelen zijn het verzwaren van de constructie (dit vraagt om een aanpassing van een deel van het concept). Denk hierbij aan het vergroten van het bouwvolume in de woningen dichtbij het spoor, zodat deze minder makkelijk in beweging worden gebracht. Andere maatregelen met mogelijk voldoende effectiviteit zijn het verzwaren van de funderingsconstructie onder de woning met overschrijdingen. Denk hierbij aan het realiseren van een zware plaatfundering (ca. 700 mm dikte) in plaats van een balkenfundering en het lokaal verzwaren van de kelderconstructie (50 procent dikkere kelderwanden en keldervloer, inclusief dikkere dwarswanden). Ook het aan de buitenzijde bekleden van de fundering met ca. 150 mm dik rubber kan voldoende effectief zijn. Voor het onderkelderde gedeelte kan deze maatregel nog achteraf worden toegepast omdat alleen de zijkant behoeft te worden bekleed, voor het niet onderkelderde gedeelte moet deze maatregel ook aan de onderzijde van de fundering worden toegepast. Met al deze maatregelen is het naar verwachting mogelijk om te voldoen aan de streefwaarden. Alleen incidenteel passerende goederentreinen in bijsturingssituaties zorgen dan nog voor trillingen boven de streefwaarden.

4.3.5 Afweging van maatregelen

Door vermoedelijk een slechte spoorligging rond de overweg zijn de trillingen van de passerende treinen relatief hoog op deze locatie. In 1 woning, de woning die het meest dichtbij het spoor wordt gerealiseerd, verwachten we ongeacht de constructieve uitwerking overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder. Deze overschrijdingen treden pas op in de PHS-situatie, waarbij er meer treinen rijden. Daarom

⁴ SK = Stichtingskosten

hebben we een maatregelafweging uitgevoerd op basis van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn.

Hieruit volgt dat maatregelen aan het spoor niet mogelijk zijn (vallen buiten het onderzoeksgebied, hoge kosten) en dat maatregelen in de bodem ook hoge kosten met zich meebrengen en daarom niet doelmatig zijn (kosten staan niet in relatie tot de economische waarde van de woningen, en zijn ook veel hoger dan de kosten die ProRail hanteert in doelmatigheidsafwegingen).

Met maatregelen aan de bebouwing is wel te voldoen aan de streefwaarden voor trillingshinder. Daarom adviseren we om bij de verdere uitwerking van het project de volgende afwegingen te maken:

1. Is het mogelijk om de funderingsconstructie onder de eerste woning te verzwaren, bijvoorbeeld door de kelder daar te vergroten (zodat de eerste woning volledig onderkelderd is), of de fundering onder deze woning uit te voeren met een 700 mm dikke plaatfundering (in plaats van een balkenfundering) in combinatie met een zwaardere kelderconstructie (50 procent dikkere kelderwanden en vloeren, inclusief dikkere dwarswanden ter plekke van de eerste woning)?
2. Is het mogelijk om de fundering van de eerste woning rondom te bekleden met 150 mm dik rubber (bijv. CDM-RAFT)? Nadeel van deze oplossing is dat de trillingen van incidenteel passerende goederentreinen hierdoor wel kunnen toenemen, maar de verwachting is dat het aantal goederentreinen in de toekomst verder afneemt: er is geen structureel goederenverkeer voorzien voor deze lijn.
3. Is het mogelijk om het concept nog aan te passen, zodat de eerste woning zwaarder (groter bouwvolume) wordt uitgevoerd? Een constructie zoals van bouwblok A (hoger, breder) op deze plek zou bijvoorbeeld wel voldoen aan de streefwaarden.

De kosten van bovenstaande maatregelen zijn in alle gevallen hoog, maar met deze maatregelen is wel te voldoen aan de streefwaarden voor trillingshinder. Bovendien geldt voor al deze maatregelen dat de trillingen van zwaar wegverkeer over de spoorwegovergang hiermee ook zullen afnemen, zodat het comfortniveau in de woning wordt vergroot.

Indien geen van bovenstaande ontwerpoptimalisaties bij de verdere uitwerking doelmatig blijkt te zijn (omdat de meerkosten bijvoorbeeld niet opwegen tegen het effect), dan kan op basis van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn worden beargumenteerd dat er geen onacceptabele situatie ontstaat in de geplande bebouwing: er is in de geplande woningen sprake van matige hinder, een situatie die kan worden geaccepteerd als de kosten of impact van maatregelen niet in verhouding staan tot het bereikte effect. Verder geldt dat de woningen voorzien zijn van een relatief zware onderkelderde constructie, zodat de trillingen, ook gezien de grotere afstand tot het spoor, fors lager zullen zijn zoals die momenteel optreden in de bestaande (oudere, en dus trillingsgevoeliger) bebouwing aan de Schoudermantel.

4.4 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 kan 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. Er is geen informatie bekend over de status van de spoorligging op het moment van de metingen, wel is bekend dat die sterk kan variëren rond spoorwegovergangen. Gezien de relatief hoge trillingen, is het vermoeden dat de spoorligging momenteel niet optimaal is. Mogelijk zijn de resultaten van dit onderzoek daarom relatief conservatief (lees: een bovengrens voor de werkelijke 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 zijn er natuurlijke variaties in materiaalgedrag (van bijvoorbeeld hout). In de berekeningen is gerekend met een verwachtingswaarde van de trillingen op basis van een aan de hand van praktijkmetingen geijkt rekenmodel, en zijn meerdere varianten doorgerekend. Hiermee wordt een resultaat verkregen dat representatief is voor de toekomstige situatie.

Bovenstaande onzekerheden geven geen aanleiding tot andere conclusies van het onderzoek.

5 Conclusies en aanbevelingen

In het voorliggende onderzoek zijn de verwachte trillingen in nieuw te bouwen woningen aan de Schoudermantel in Bunnik bepaald. Hierbij zijn meerdere constructieve uitwerkingsvarianten beschouwd voor de bebouwing. Uit het onderzoek volgt dat, ongeacht de constructieve uitwerking (binnen het kader van het stedenbouwkundig ontwerp) in de huidige situatie sprake is van incidentele overschrijdingen van het beoordelingskader, de SBR B-richtlijn, als gevolg van goederentreinen. In het kader van het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer (PHS) zullen deze goederentreinen de komende jaren verdwijnen van dit traject, terwijl het aantal reizigerstreinen toeneemt. In de PHS-prognose is alleen in de woning die het dichtst bij het spoor ligt nog sprake van overschrijdingen van het beoordelingskader. De trillingen zijn, ondanks de grote afstand tot het spoor, relatief hoog op deze locatie, vermoedelijk als gevolg van een slechte spoorligging rond de overweg. Dit is een veel vaker voorkomend probleem rond overwegen.

Omdat de trillingen in 1 van de 39 woningen niet voldoen aan het beoordelingskader, hebben wij een maatregelonderzoek uitgevoerd. Op basis daarvan concluderen wij het volgende:

1. Maatregelen aan het spoor of de treinen vallen buiten de planologische grenzen van het onderzoeksgebied en zijn zeer kostbaar. Deze maatregelen zijn niet doelmatig.
2. Maatregelen in de bodem (zoals trillingsschermen) zijn zeer kostbaar en ruimtetechnisch lastig inpasbaar. Deze maatregelen zijn niet doelmatig.
3. Een conventioneel bouwkundig concept (wanden-vloeren) met 200 mm dikke breedplaatvloeren leidt tot de laagste trillingen in de woningen. Zeker in het oostelijke deel van bouwblok B adviseren wij om een dergelijk bouwconcept toe te passen, voor bouwblok A en het zuidelijke deel van bouwblok B kunnen ook houtskeletbouw, zware prefab betonconstructies of conventionele concepten met kanaalplaatvloeren worden toegepast. Ook met dit bouwkundig concept wordt echter nog niet voldaan aan de streefwaarden. Wij adviseren daarom om in de constructieve uitwerking van het plan de volgende mogelijkheden af te wegen op doelmatigheid:
 - a. Is het mogelijk om de funderingsconstructie onder de eerste woning te verzwaren, bijvoorbeeld door de kelder daar te vergroten (zodat de eerste woning volledig onderkelderd is), of de fundering onder deze woning uit te voeren met een 700 mm dikke plaatfundering (in plaats van een balkenfundering) in combinatie met een zwaardere kelderconstructie (50 procent dikkere kelderwanden en vloeren, inclusief dikkere dwarswanden ter plekke van de eerste woning)?
 - b. Is het mogelijk om de fundering van de eerste woning rondom te bekleden met 150 mm dik rubber (bijv. CDM-RAFT)? Nadeel van deze oplossing is dat de trillingen van incidenteel passerende goederentreinen hierdoor wel kunnen toenemen, maar de verwachting is dat het aantal goederentreinen in de

toekomst verder afneemt: er is geen structureel goederenverkeer voorzien voor deze lijn.

- c. Is het mogelijk om het stedenbouwkundig concept nog aan te passen, zodat de eerste woning zwaarder (groter bouwvolume) wordt uitgevoerd? Een constructie zoals van bouwblok A (hoger, breder) op deze plek zou bijvoorbeeld wel voldoen aan de streefwaarden.

De kosten van bovenstaande maatregelen zijn in alle gevallen hoog, maar met deze maatregelen is wel te voldoen aan de streefwaarden voor trillingshinder. Bovendien geldt voor al deze maatregelen dat de trillingen van zwaar wegverkeer over de spoorwegovergang hiermee ook zullen afnemen, zodat het comfortniveau in de woning wordt vergroot. Andere maatregelen zijn niet doelmatig, omdat de woningen, mits gebouwd volgens het geadviseerde bouwconcept, al relatief ongevoelig voor trillingen zijn.

Indien geen van bovenstaande ontwerpoptimalisaties bij de verdere uitwerking doelmatig blijkt te zijn (omdat de meerkosten bijvoorbeeld niet opwegen tegen het effect), dan kan worden beargumenteerd dat er geen onacceptabele situatie ontstaat in de geplande bebouwing: er is in de geplande woningen sprake van matige hinder, een situatie die volgens bijlage 5 van de SBR B-richtlijn kan worden geaccepteerd als de kosten of impact van maatregelen niet in verhouding staan tot het bereikte effect. Bovendien voldoen de trillingen wel aan de streefwaarden voor een bestaande situatie uit de SBR B-richtlijn, in deze streefwaarden is een zeker gewenningseffect meegenomen. In bepaalde gevallen met hoge brontrillingen (zoals hier met een spoorwegovergang) worden deze streefwaarden gehanteerd bij de beoordeling. Verder geldt dat de woningen voorzien zijn van een relatief zware onderkelderde constructie, zodat de trillingen, ook gezien de grotere afstand tot het spoor, fors lager zullen zijn dan zoals die momenteel optreden in de bestaande (oudere, en dus trillingsgevoeliger) bebouwing aan de Schoudermantel.

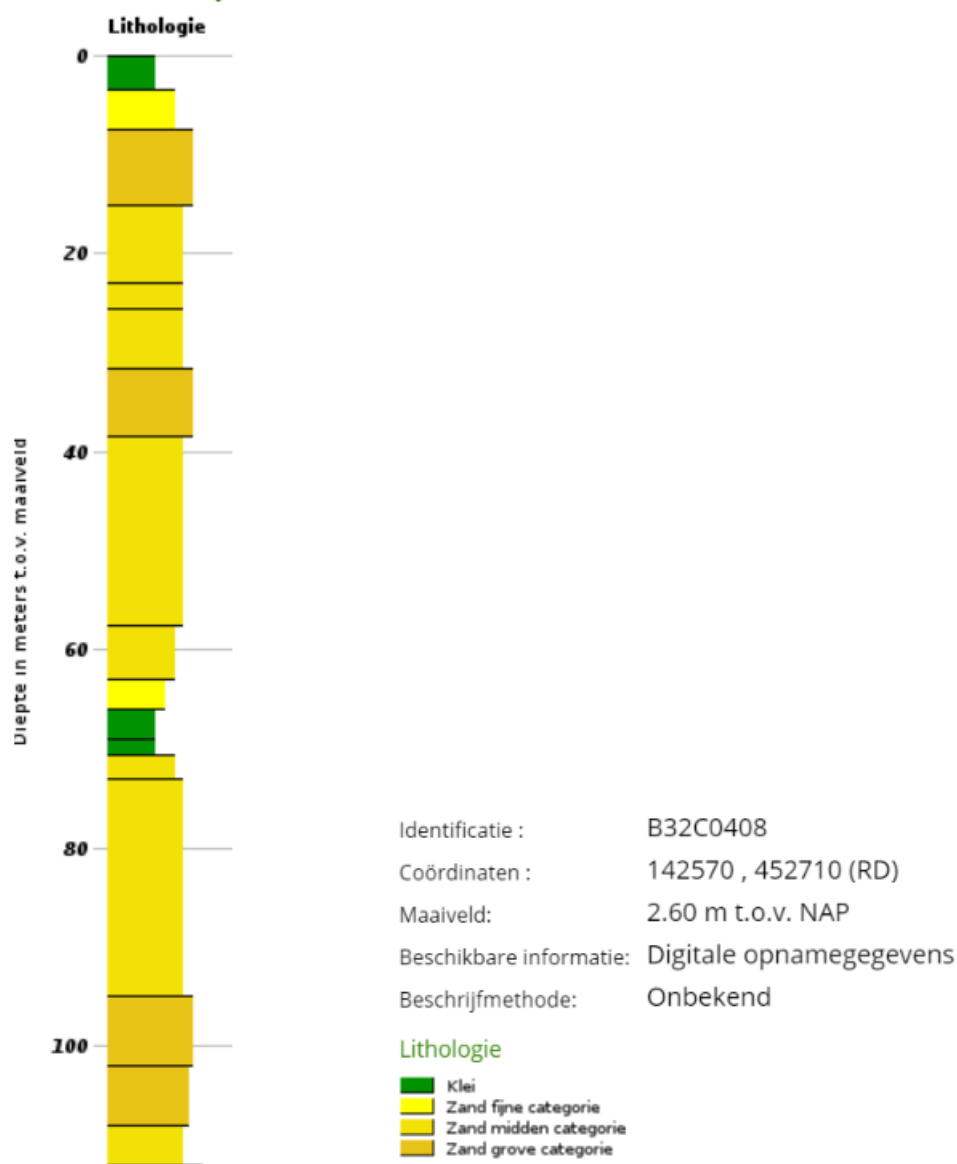
Op basis van bovenstaande afwegingen kan worden gemotiveerd dat in het licht van bijlage 5 van de SBR B-richtlijn ook zonder maatregelen tegen trillingen geen onacceptabele situatie ontstaat in de geplande bebouwing.

Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek

Deze bijlage bevat geotechnische achtergrondinformatie. Deze informatie is gebruikt om bijvoorbeeld de 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.

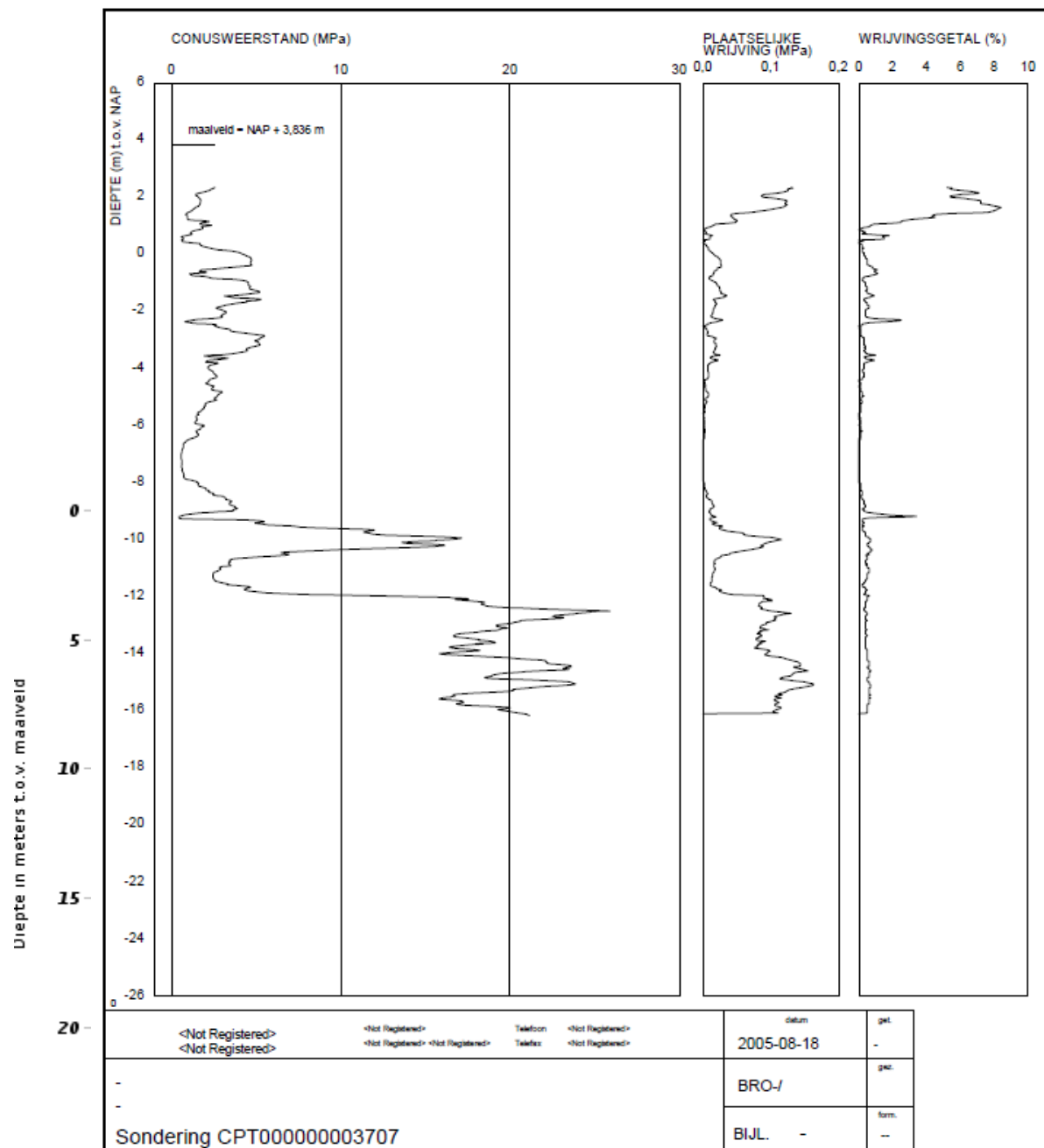
Een boring in het onderzoeksgebied (nr. B32C0408) is weergegeven in Figuur 11. Hier is te zien dat de bodem voornamelijk is opgebouwd uit zand- en kleilagen. Door de gelaagde bodem en de aanwezigheid van zandlagen dempen de trillingen relatief slecht uit met de afstand.

Boormonsterprofiel



Figuur 11 Boring nabij het onderzoeksgebied, B32C0408

Een representatieve sondering uit het onderzoeksgebied, waarin onder meer de conusweerstand te zien is, is weergegeven in Figuur 12.

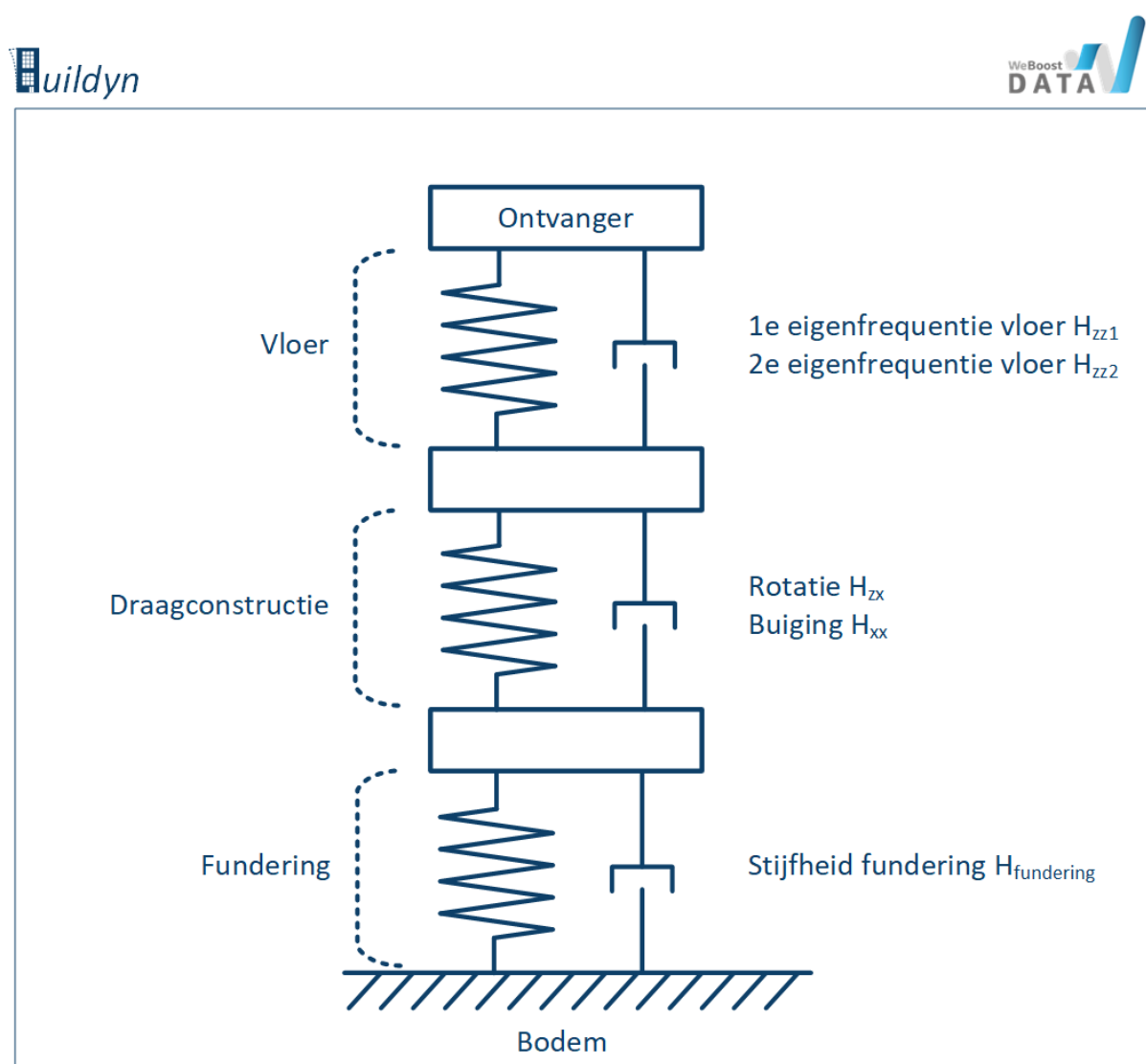


Figuur 12 Sondering nabij het onderzoeksgebied, CPT000000003707

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.

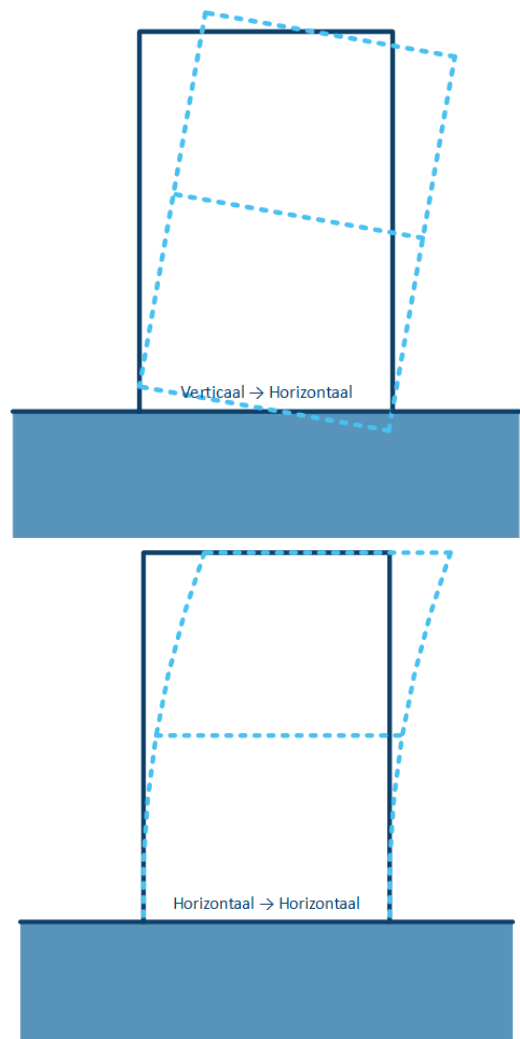
Dit effect noemen we H_{zx} , en is afhankelijk van:

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

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

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

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



- Gebruikte materialen

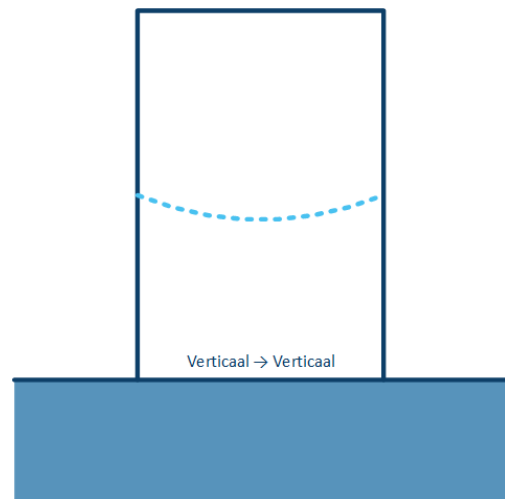
Vloeren

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

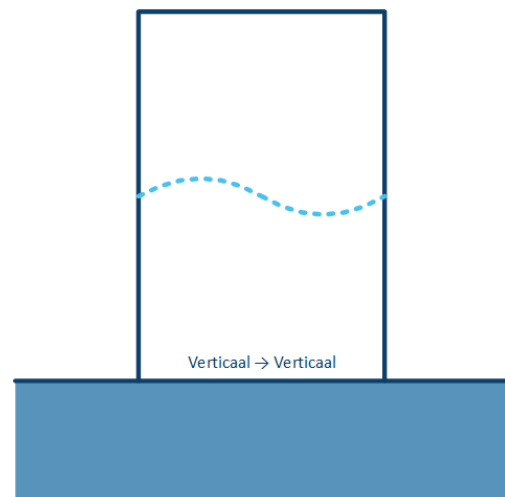
- Type vloer (doorsnede, materiaal, en bij beton: gescheurd of ongescheurd)
- Afmetingen van de vloer
- Type oplegging



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

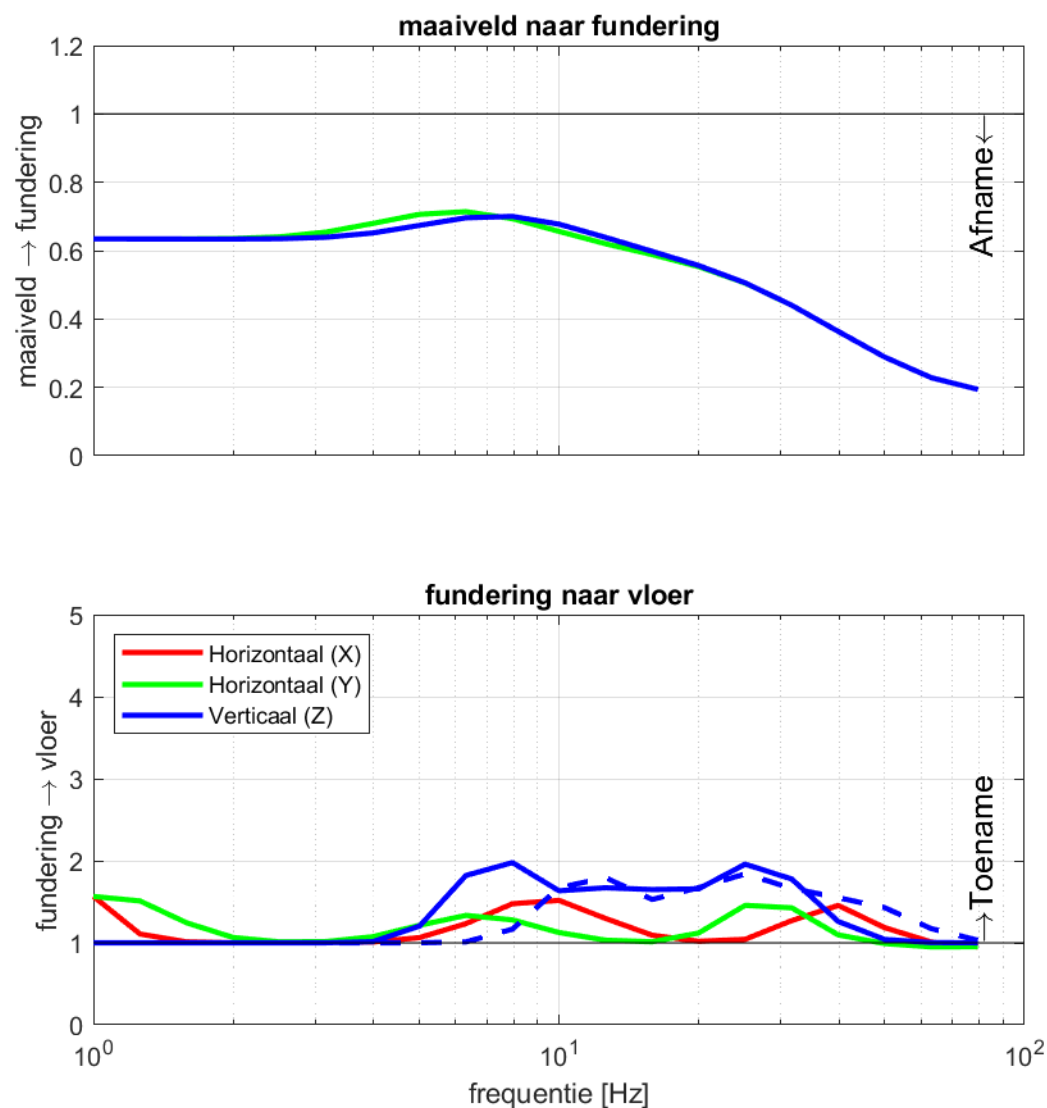
Dit effect noemen we H_{zz2} , en is afhankelijk van dezelfde parameters als H_{zz1} .

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



Resultaten

De resultaten uit de Buildyn-berekeningen voor de woning het dichtst bij het spoor, in een conventioneel bouwconcept met 200 mm dikke breedplaatvloeren, zijn weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14 Buildyn-resultaten voor woning dichtst bij het spoor. Midden vloer is weergegeven als doorgetrokken blauwe lijn, de overdracht op een kwart van de randen als een onderbroken blauwe lijn.