

WEBOOST



TRILLINGSONDERZOEK T.B.V. WONINGBOUW

STATIONSSTRAAT COEVORDEN

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	WBD2022-020
Versienr	2.0
Datum	19 juni 2023
Status	Definitief
Opdrachtgever	Sujo Projectontwikkeling



Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van metingen van



© We-Boost 2023

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

DE KERN VAN DIT RAPPORT

Aan de Stationsstraat 34-36 in Coevorden bevindt zich het voormalig tramstation van de Eerste Drentsche Stoomtramweg Maatschappij. Dit pand, met een kantoorfunctie, wordt herontwikkeld (deel sloop en nieuwbouw, deel renovatie) naar 18 appartementen. Het plangebied bevindt zich ten oosten van de spoorlijn Zwolle/Almelo – Marienberg - 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 bebouwing, en zo ja, met welke maatregelen een aanvaardbaar woon- en leefklimaat kan worden gegarandeerd (e.e.a. conform de Wro art. 3.1, wat in wezen niet verandert in de Omgevingswet (art. 4.2)). Voor het beoordelen van mogelijke trillingshinder maken we gebruik van de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Deze streefwaarden zijn voorkeurswaarden, waarbij het streven moet zijn om de trillingen in de beoogde bebouwing te laten voldoen aan deze waarden.

In dit onderzoek is met behulp van metingen in en aan het bestaande gebouw, en met modelberekeningen onderzocht wat de trillingen zullen zijn in de toekomstige bebouwing. Hierbij volgen we de aanpak zoals voorgeschreven in de *Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen* van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

CONCLUSIES

De conclusie van het onderzoek is dat in de nieuwbouw wordt voldaan aan het beoordelingskader, ongeacht de constructieve uitwerking (mits geen lichte houtskeletbouw wordt toegepast). In het bestaande, te renoveren gebouw, worden wel overschrijdingen verwacht in het appartement op de 1^e verdieping. Dit komt vooral doordat de relatief slappe constructie van de bestaande woning ervoor zorgt dat de trillingen met een factor 10 tot 12 worden versterkt in het gebouw. Het gaat om 1 tot 2 overschrijdingen per dag, veroorzaakt door goederentreinen. De gemiddelde trillingssterkte voldoet wel aan de streefwaarden.

In het plan is daarmee sprake van een situatie met *matige hinder* volgens bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, een situatie die kan worden geaccepteerd als er sprake is van een beperkt aantal overschrijdingen en als maatregelen niet doelmatig zijn, bijvoorbeeld vanwege hoge kosten of technische risico's. Verder gaat het om een beperkt aantal overschrijdingen van de streefwaarden.

AFWEGING VAN MAATREGELEN

Omdat er sprake is van overschrijdingen van de streefwaarden voor trillingshinder, is een onderzoek naar maatregelen uitgevoerd. Hierbij geldt dat voor de nieuwbouw (mits niet uitgevoerd in lichte houtskeletbouw), geen maatregelen nodig zijn, maar alleen voor de bestaande bebouwing.

Uit dit onderzoek naar maatregelen volgt dat maatregelen aan het spoor en in de bodem (hoewel effectief) gezien de zeer hoge kosten niet doelmatig zijn. Maatregelen aan het gebouw zijn ook zeer kostbaar of onvoldoende effectief. De kosten van effectieve maatregelen (zowel aan het

spoor, in de bodem als aan het gebouw) staan niet in relatie tot de economische waarde van het appartement, en zijn in alle gevallen hoger dan € 140.000.

We adviseren daarom om het volgende te doen:

1. Te kijken of verzachtende maatregelen mogelijk zijn, om het woon- en leefklimaat in het appartement op de 1^e verdieping zo goed mogelijk te maken. Concreet valt dan te denken aan:
 - a. Versterken van eventueel aanwezige stalen balken bij doorbraken, bijv. door HEA- of HEB-profielen van flenzen te voorzien (zodat er een kokerligger ontstaat), of, nog beter, door deze waar mogelijk te vervangen door dragende wanden (van bijv. kalkzandsteen of metselwerk)
 - b. Versterken van de vloer, door de houten balkenlaag van de 1^e verdieping te sandwichen (aan weerszijden voorzien van dikke planken of balken), zodat de eigenfrequentie van de vloer omhoog gaat.

Met bovenstaande maatregelen zijn de trillingen met maximaal zo'n 15 procent te reduceren, en resulteren nog slechts lichte, incidentele overschrijdingen.

2. We adviseren om de resterende overschrijdingen te accepteren, en te motiveren dat ook zonder maatregelen geen onaanvaardbaar woon- en leefklimaat ten aanzien van trillingshinder ontstaat in de woning. Het beoordelingskader voor trillingshinder, de SBR B-richtlijn, biedt de mogelijkheid tot het maken van een dergelijke afweging, mits goed gemotiveerd. Met een beroep op bijlage 5 van de SBR B-richtlijn kunnen hierbij de volgende argumenten worden gebruikt:
 - a. Er is sprake van *matige hinder*, een situatie die volgens bijlage 5 van de SBR B-richtlijn kan worden geaccepteerd als er sprake is van een beperkt aantal overschrijdingen (zoals in dit geval) en maatregelen niet goed zijn te treffen (bijvoorbeeld vanwege forse technische risico's of hoge kosten).
 - b. Er is sprake van een beperkt aantal overschrijdingen. Het gaat, na het treffen van de beschreven maatregelen, om minder dan 1 overschrijding per dag. Bovendien voldoet de gemiddelde trillingssterkte V_{per} aan de streefwaarden, een indicatie dat het om een beperkt aantal passages met hogere trillingen gaat.
 - c. De trillingen voldoen weliswaar niet aan de strenge streefwaarden voor nieuwbouw, maar in vrijwel alle gevallen wel aan de soepeler streefwaarden voor bestaande bouw. In die laatste streefwaarden is een zeker gewinningseffect meegenomen.

Gelet op bovenstaande kan daarmee gemotiveerd worden dat ook zonder maatregelen geen onaanvaardbaar woon- en leefklimaat ontstaat t.a.v. trillingshinder.



INHOUDSOPGAVE

I.	INLEIDING	8
1.1.	Aanleiding	8
1.2.	Doel	8
1.3.	Leeswijzer	9
2.	SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN	11
2.1.	Situatie	11
2.2.	Uitgangspunten	12
3.	BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE	15
3.1.	Trillingen en wetgeving	15
3.2.	De SBR-richtlijn	15
3.3.	Rekenmethode	16
4.	VERWACHTE TRILLINGEN	20
4.1.	Meetresultaten	20
4.2.	Trillingen in bestaande bebouwing	20
5.	MITIGERENDE MAATREGELEN	25
5.1.	Nut en noodzaak van maatregelen	25
5.2.	Analyse resultaten	25
5.3.	Maatregelen aan de trillingsbron	26
5.4.	Maatregelen in de bodem	26
5.5.	Maatregelen aan de gebouwen	28
5.6.	Advies voor maatregelen	29
5.7.	Onzekerheden in het onderzoek	29
II.	GRONDONDERZOEK	31
III.	REKENMODEL	33



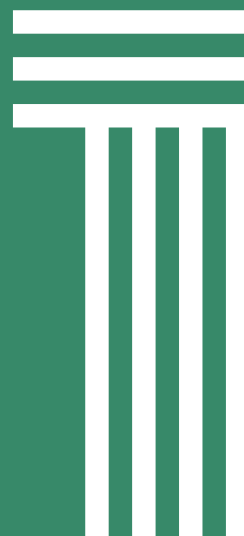




INLEIDING



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



INLEIDING

1.1. AANLEIDING

Aan de Stationsstraat 34-36 in Coevorden bevindt zich het voormalig tramstation van de Eerste Drentsche Stoomtramweg Maatschappij. Dit pand, met een kantoorfunctie, wordt herontwikkeld (deel sloop en nieuwbouw, deel renovatie) naar appartementen. Het plangebied bevindt zich ten oosten van de spoorlijn Zwolle/Almelo – Marienberg - 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

1.2. DOEL

Doel van dit onderzoek is om vast te stellen of er sprake zal zijn van trillingshinder in de bestaande bebouwing met herbestemming wonen, en zo ja, met welke maatregelen deze hinder is te voorkomen. Hiervoor maken wij een nauwkeurige predictie van de trillingen in de bestaande bebouwing, conform de in de *Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen* omschreven aanpak. Deze trillingen toetsen we aan het van toepassing zijnde beoordelingskader. Als we overschrijdingen van het beoordelingskader verwachten, dan geven we aan met welke constructieve aanpassingen of maatregelen kan worden voldaan aan de streefwaarden uit het beoordelingskader.

1.3. LEESWIJZER

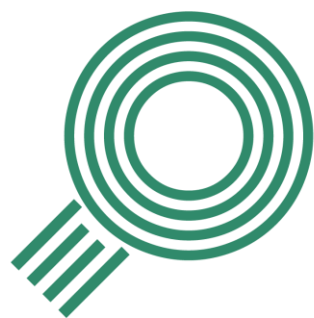
Wij beschrijven de situatie in het onderzoeksgebied en de uitgangspunten in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 lichten we het beoordelingskader en de gevolgde rekenmethodiek toe. Met behulp van de uitgangspunten berekenen we de trillingen in de woning op basis van de gemeten trillingen en de eigenschappen van het gebouw. Het resultaat van deze stap wordt in hoofdstuk 4 beschreven. In hoofdstuk 5 gaan we in op mitigerende maatregelen om de trillingen te verminderen.

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





SITUATIEBESCHRIJVING



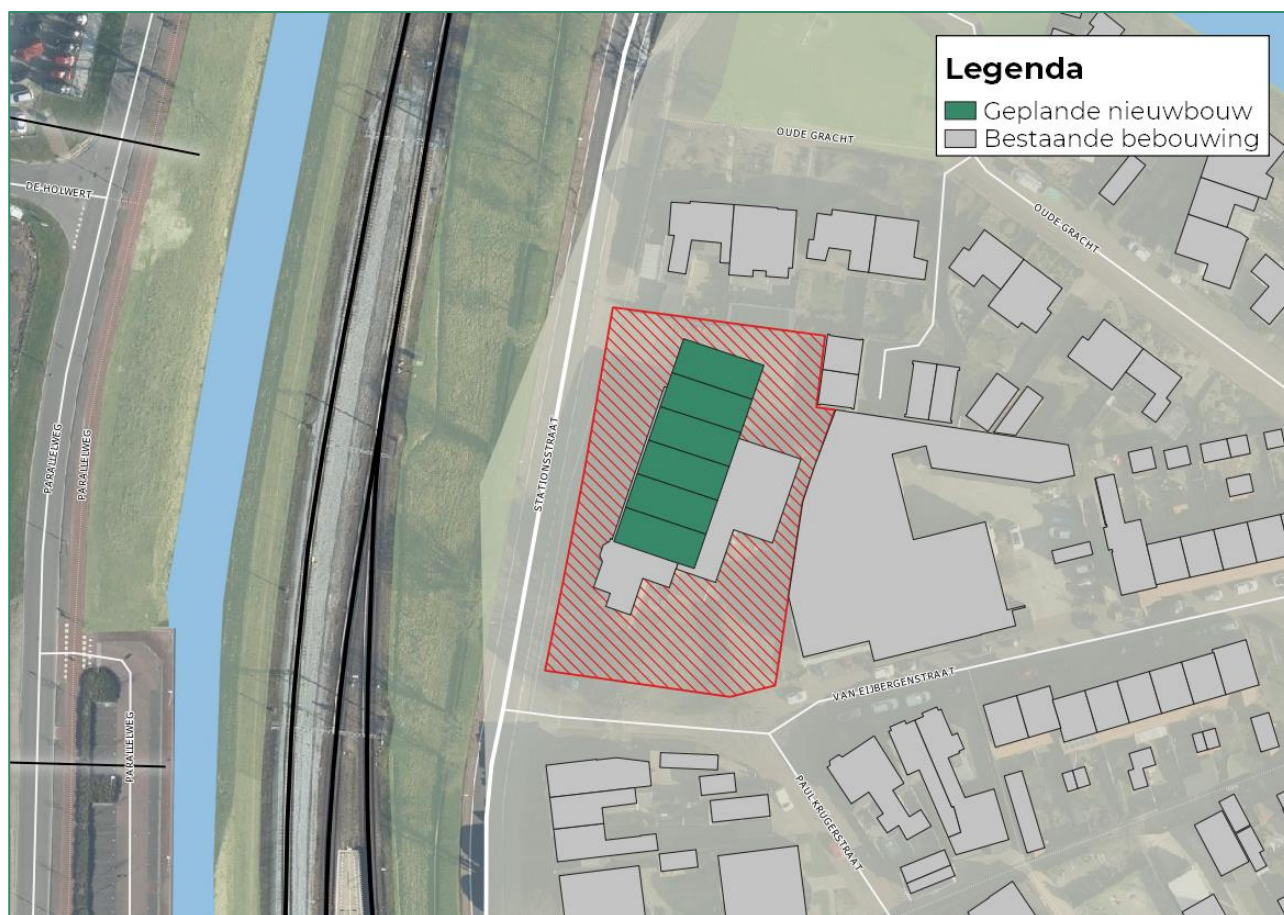
In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op de beoogde toekomstige situatie en worden de uitgangspunten van het onderzoek weergegeven.



2. SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN

2.1. SITUATIE

Op de planlocatie aan de Stationsstraat 34-36 in Coevorden bevindt zich een pand met een kantoorfunctie. Een deel van het oude pand wordt gesloopt en vervangen door nieuwbouw (3 woonlagen), het bestaande voormalige woonhuis wordt herbestemd naar 2 appartementen (begane grond en 1^e verdieping). In totaal gaat het om 18 appartementen. De bestaande en nieuwe bebouwing is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Situering van de bebouwing op de planlocatie. Het woonhuis aan de zuidzijde wordt herbestemd.

De bebouwing bevindt zich in een zone van 40 tot 65 meter van het spoor. De rijsnelheid en het aantal treinen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 1. De gegevens in Tabel 1 zijn gebaseerd op het Geluidsregister Spoor en gegevens van de vervoerders. Volgens de Integrale Mobiliteitsanalyse Spoor (IMA-2021) wordt er geen toename in het aantal reizigers- en goederentreinen 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	30 - 40 km/h	3.00	2.00	0.88
Sneltrain	60 km/h	1.00	1.00	0.13
Goederentrein	60 km/h	0.00	0.05	0.11

Andere trillingsbronnen, zoals wegverkeer over de Stationsstraat, zullen naar verwachting niet voor waarneembare trillingen in de bebouwing zorgen, en zijn daarom niet nader beschouwd.

2.2. UITGANGSPUNTEN

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een aantal uitgangspunten, deze worden in de volgende subparagrafen beschreven. In het volgende hoofdstuk wordt toegelicht hoe deze uitgangspunten zijn verwerkt in de berekeningen.

2.2.1. GEGEVENS BEBOUWING

Er is een structuurstudie van de bebouwing beschikbaar, met daarin meerdere opties. Er is nog geen uitgewerkt ontwerp van de bebouwing. Daarom hebben we een aantal varianten doorgerekend qua afmetingen en constructietype voor de nieuwe woningen, zodat we robuuste uitspraken kunnen doen over de verwachte trillingen. Een impressie van de toekomstige bebouwing is weergegeven in Figuur 3. In Tabel 2 zijn de beschouwde constructievarianten weergegeven. Het rekenmodel voor de bebouwing is hierop gebaseerd en op metingen aan de huidige constructie.

Tabel 2 Eigenschappen bebouwing

Parameter	Eigenschappen
Vloertype	Diverse varianten: • Kanaalplaatvloer, 200, 260 en 320 mm, met 70 mm zandcement dekvloer • Breedplaatvloer, 200, 250 en 300 mm, met 70 mm zandcement dekvloer • Appartementenvloer, 260 mm, met 70 mm zandcement dekvloer
Hoogte	10.0 meter
Lengte vloerveld	10.0 tot 15.0 meter
Breedte vloerveld	6.0 tot 8.0 meter
Constructietype	Diverse varianten: • Kalkzandsteen en metselwerk • Prefab beton en i.h.w.g. beton
Fundering	Op staal en op palen



Figuur 3 Schets van geplande vormgeving, vanaf oostzijde gezien, links de te handhaven woning

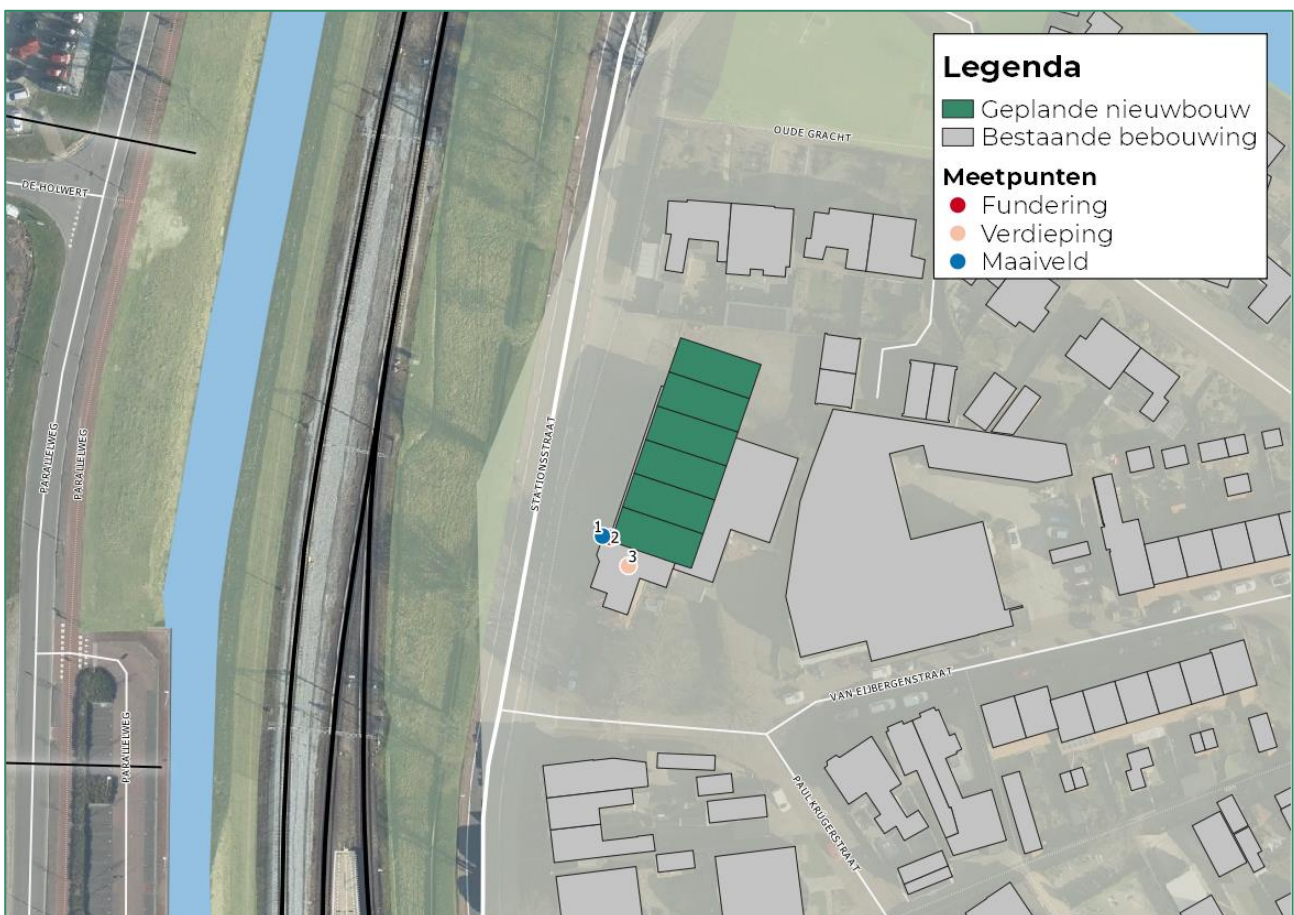
De trillingen in de bestaande woning zijn met metingen vastgesteld. Dit betreft een metselwerkconstructie met houten vloeren, op staal gefundeerd.

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 het gebouw reageert op trillingen. De gegevens zijn opgenomen in Bijlage I.

2.2.3. MEETRESULTATEN

Zoals te zien in Figuur 4 zijn door Alcedo op drie locaties metingen uitgevoerd. Het gaat hierbij om één meetpunt op het maaiveld, één meetpunt aan de fundering en één meetpunt op de vloer van de bestaande bebouwing. De metingen zijn uitgevoerd van 4 tot en met 14 juli 2022.



Figuur 4 Meetpunten



BEOORDELINGSKADER



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



BEOORDELINGSKADER EN WERKWIJZE

3.1. TRILLINGEN EN WETGEVING

Er bestaat in Nederland geen wettelijk kader voor de beoordeling van trillingshinder in gebouwen. Wel geldt dat in het kader van een goede ruimtelijke ordening o.b.v. de Wet Ruimtelijke Ordening (Wro) kan worden verzocht om trillingen mee te nemen bij de wijziging van bestemmingsplannen waar trillingen een rol kunnen spelen.

Per 1 januari 2023 wordt de Omgevingswet (Ow) naar verwachting van kracht. Ook in de Ow zijn geen streef- en grenswaarden opgenomen voor trillingen afkomstig van hoofd- en spoorwegen. Het begrip 'goede ruimtelijke ordening' uit de Wro art. 3.1 is in de Ow vervangen door het begrip 'evenwichtige toedeling van functies aan locaties', art. 4.2. Vanuit dit artikel moet ook in het kader van een omgevingsplan onder de Ow trillingshinder (waar relevant) in kaart worden gebracht en betrokken worden bij de afweging in het kader van het beschermen van de fysieke leefomgeving. Net als onder de Wro zijn hulpmiddelen als de Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen en de SBR-richtlijn van toepassing om mogelijke trillingshinder in kaart te brengen respectievelijk te beoordelen.

3.2. DE SBR-RICHTLIJN

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 het gebouw 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

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.

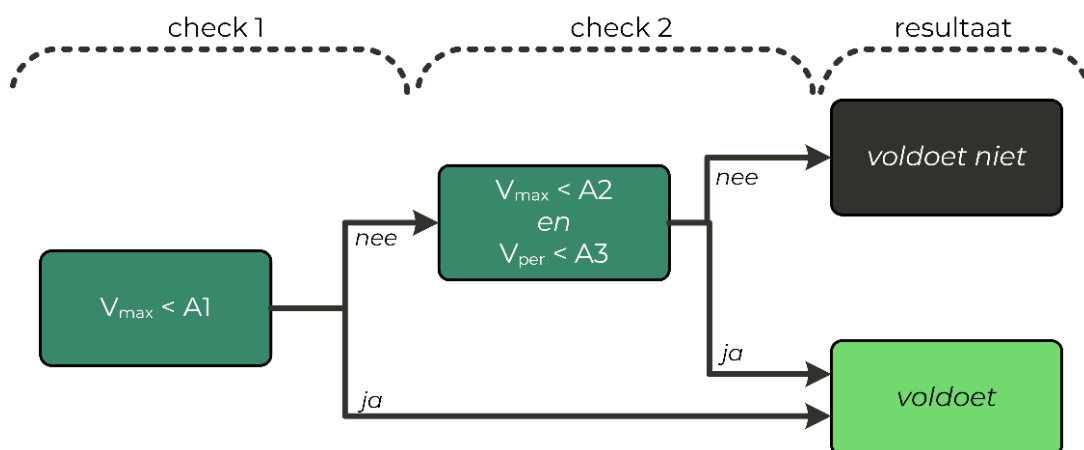
reduceren. In dit plan gaat het deels om nieuwbouw, deels om herbestemming. In de geest van de SBR B-richtlijn dient voor de her te bestemmen bebouwing met de strenge nieuwbouw streefwaarden te worden gerekend.

- 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 dit plan gaat het om gebouwen met een woonfunctie.
- 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.

Een gebouw 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 5. Bij overschrijdingen van dit beoordelingskader dienen maatregelen te worden afgewogen op doelmatigheid. Hiervoor worden in bijlage 5 van de SBR B-richtlijn handvatten gegeven.

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 5 Schema beoordeling SBR B-richtlijn

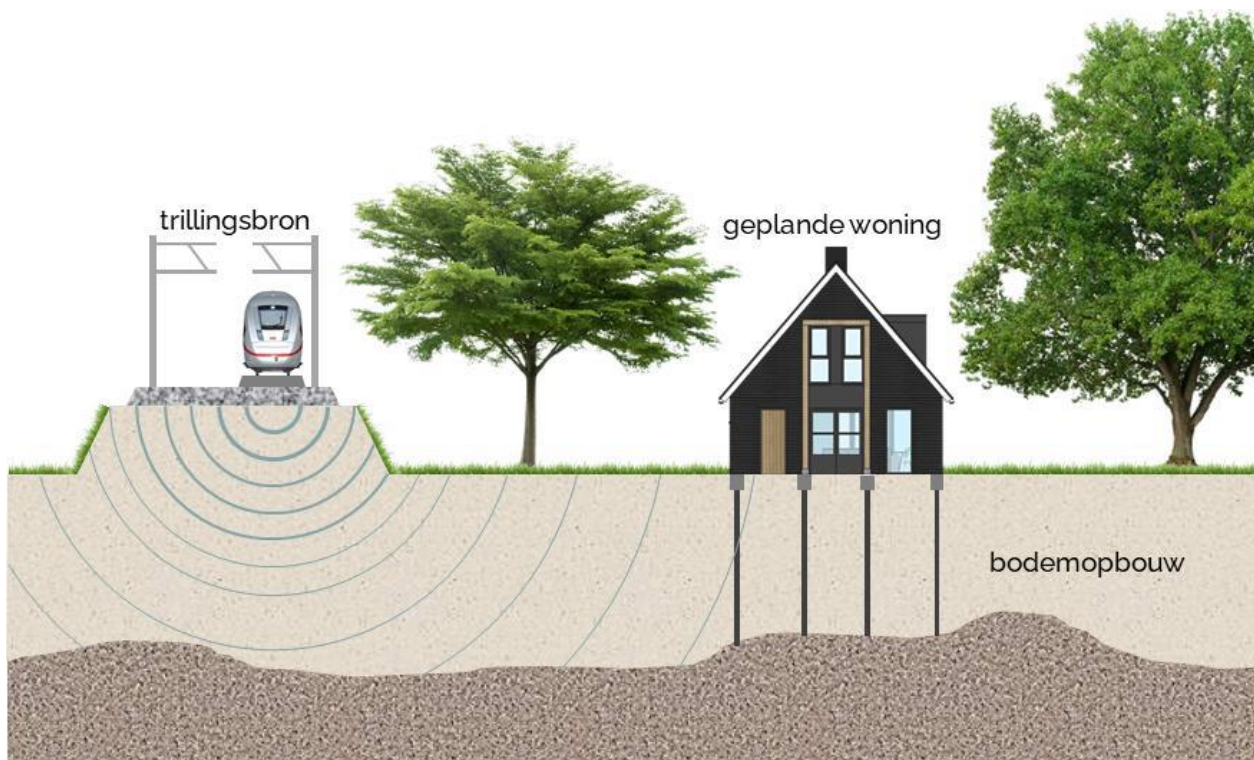
3.3. REKENMETHODE

In de SBR-richtlijn deel B worden de trillingen beoordeeld in gebouwen. Omdat het bij dit project gaat om de herbestemming van een bestaand gebouw en de bouw van een nieuw gebouw, wordt op basis van metingen in de omgeving en in de bebouwing (op maaiveld en in en aan bestaande bebouwing) een berekening gemaakt van de verwachte trillingen in de appartementen. Deze verwachte trillingen zijn afhankelijk van de constructieve eigenschappen van de bestaande 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. In de volgende subparagrafen wordt beschreven hoe dat is vertaald naar een rekenmodel.

3.3.1. 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 6.

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



Figuur 6 Trillingen – het systeem van trillingsbron, de bodem als doorgeefmedium en het gebouw als ontvanger

3.3.2. DE TRILLINGSBRON

In dit onderzoek zijn treinen de bron van de trillingen. De trillingen van het treinverkeer zijn gemeten door Alcedo op meerdere punten op maaiveld in het plangebied en aan de fundering van het bestaande gebouw. De beoordeling van de trillingen in de bestaande bebouwing heeft plaatsgevonden op basis van deze metingen.

3.3.3. DE BODEM

De bodem op deze locatie bestaat voornamelijk uit 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.



3.3.4. HET GEBOUW

De trillingen gaan via de fundering een gebouw binnen. Afhankelijk van het type fundering, de bodem, de massa en afmetingen van het gebouw zal de fundering de trillingen meer of minder uitdempen. Vervolgens worden de trillingen in het gebouw weer versterkt door bewegingen van het gebouw en de vloeren. Het gebouwgedrag is in dit onderzoek bepaald op basis van de bodemopbouw, de constructieve eigenschappen en de gebruikte materialen van het gebouw. Hiervoor maken we gebruik van het rekenmodel Buildyn, een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin het gebouw gemodelleerd en dynamisch doorgerekend wordt. De resultaten van het model zijn geijkt met praktijkresultaten uit metingen. Een toelichting op het rekenmodel Buildyn is gegeven in bijlage II.





VERWACHTE TRILLINGEN



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



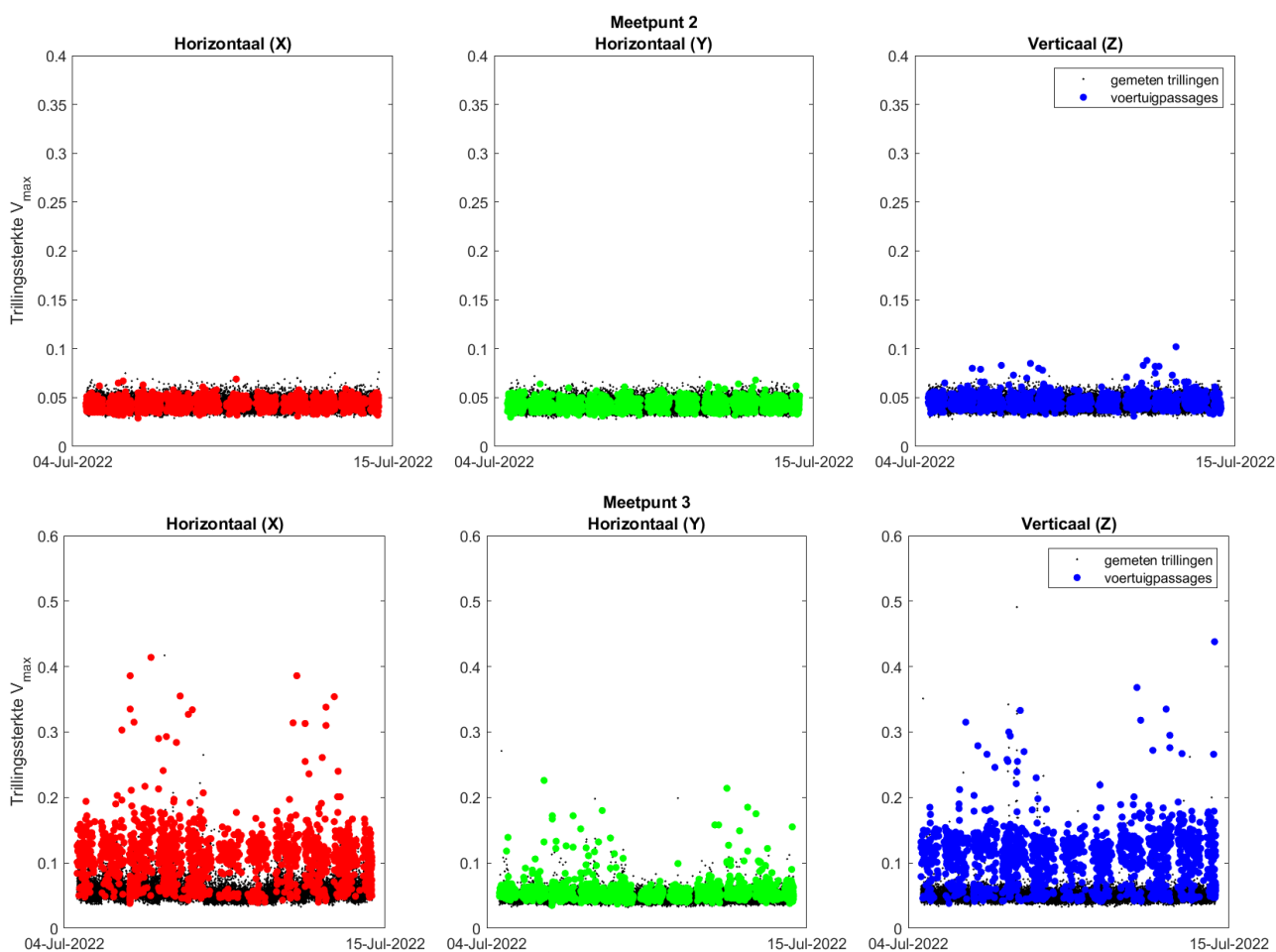


VERWACHTE TRILLINGEN

4.1. MEETRESULTATEN

Alcedo heeft metingen uitgevoerd op maaiveld, aan de fundering en op de vloer van het bestaande gebouw. De trillingen op de fundering en de 1^e verdiepingvloer zijn weergegeven in Figuur 7. Overige gegevens uit de metingen hebben we opgenomen in bijlage III. In Figuur 7 valt het volgende op:

- De trillingen op de verdieping zijn veel hoger dan aan de fundering (ruim een factor 6 hoger). Blijkbaar is het bestaande gebouw gevoelig voor trillingen.
- Ook de trillingen van de (langzaam passerende) reizigerstreinen zijn op de verdieping goed zichtbaar, terwijl deze op de fundering wegvallen in het achtergrondsignaal.
- De hoogste trillingen zijn afkomstig van goederentreinen. Een deel rijdt door richting Emmen, een deel maakt kop in Coevorden en gaat naar Duitsland.



Figuur 7 Gemeten trillingen aan fundering (boven) en op 1^e verdieping bestaand pand (onder)

4.2. TRILLINGEN IN BESTAANDE BEBOUWING

De bestaande bebouwing is gemodelleerd op basis van de informatie uit Tabel 2, waarbij de modelresultaten voor het bestaande gebouw zijn gekalibreerd met de metingen in en aan het gebouw, zie ook bijlage II voor meer informatie over het gebruikte rekenmodel. Met deze resultaten is bepaald in welke mate de trillingen worden versterkt tussen de huidige meetpunten

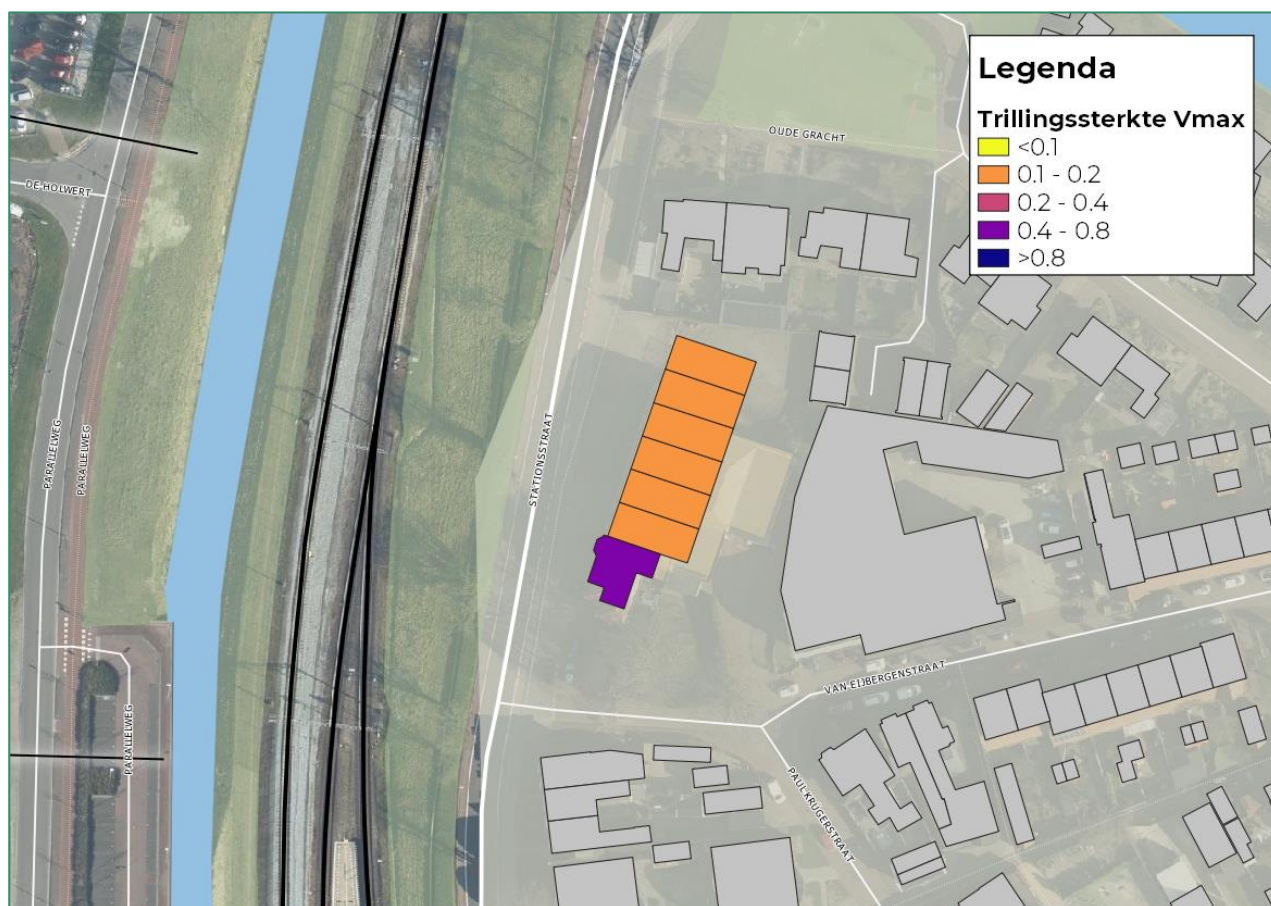


en de vloeren in zowel het nieuw te realiseren als het bestaande, te renoveren gebouw. De resultaten hebben we weergegeven in Tabel 4, samen met een beoordeling van de trillingen. De trillingen zijn weergegeven als een bandbreedte, omdat de trillingen afhankelijk zijn van de constructieve uitwerking. **Oranje** arcering geeft aan dat er sprake is van een overschrijding van de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn, **gele** arcering dat overschrijdingen afhankelijk zijn van de constructieve uitwerking.

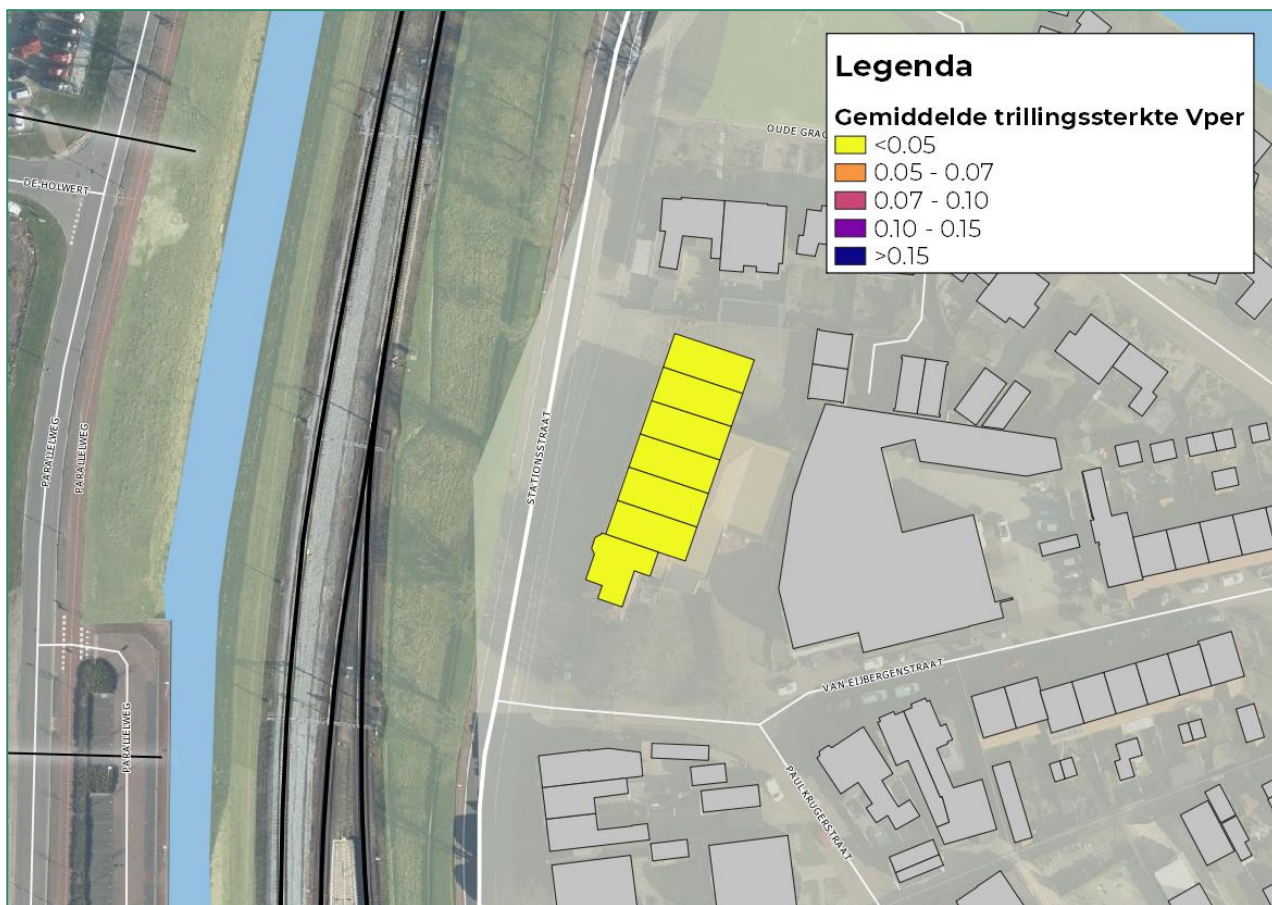
Tabel 4 Trillingen per bouwconcept en beoordeling op SBR B-richtlijn

Gebouw	V _{max} , dag	V _{max} , nacht	V _{per}	Beoordeling
Bestaand begane grond	0.2	0.2	0.01 – 0.02	Voldoet
Bestaand 1 ^e verdieping	0.4 – 0.5	0.3	0.03 – 0.04	Voldoet niet, 1 tot 2 overschrijdingen per dag
Nieuw	0.1 – 0.2	0.1 – 0.2	< 0.01	Voldoet

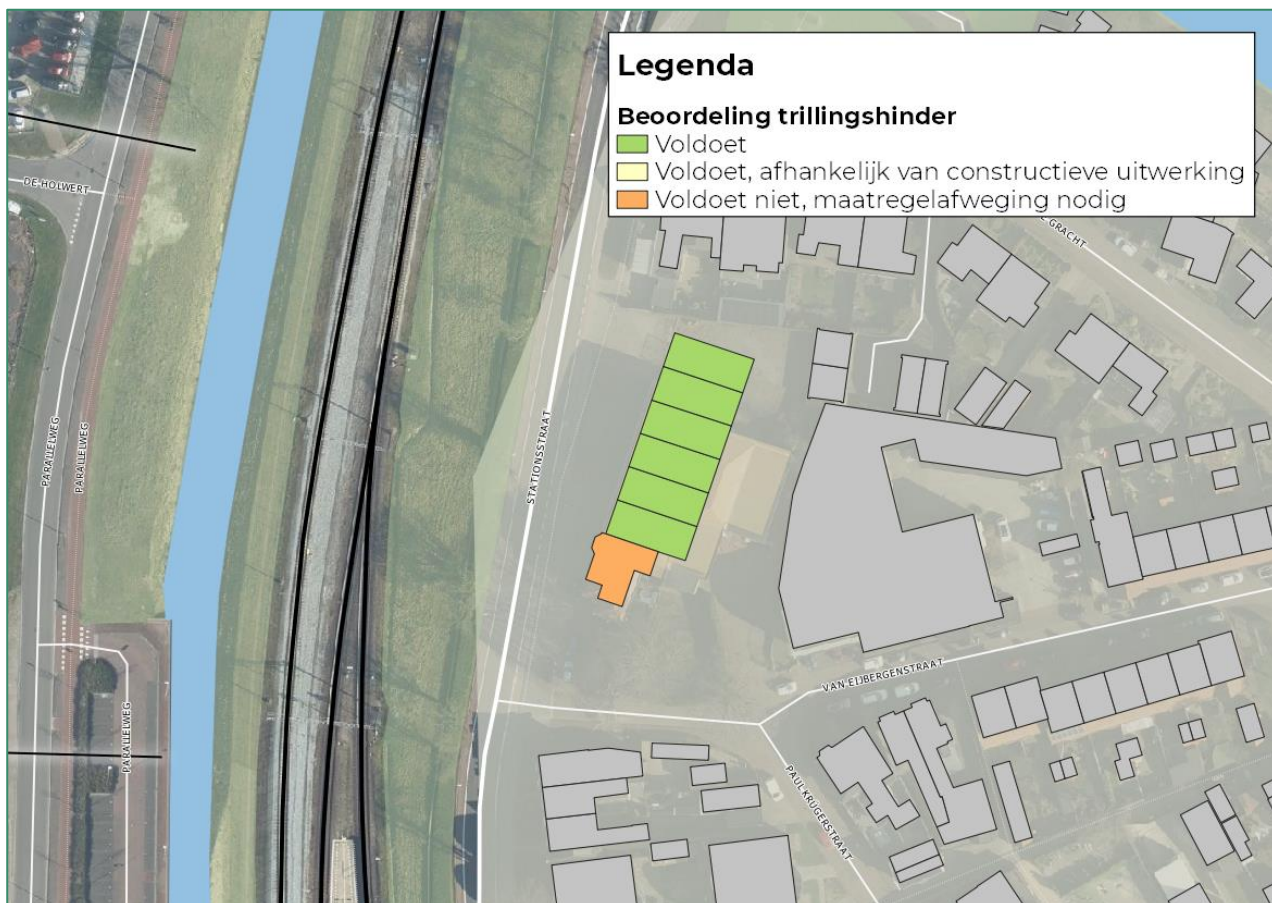
Conclusie is dat alleen in het appartement op de 1^e verdieping van het bestaande gebouw sprake zal zijn van overschrijdingen van de streefwaarden. Het gaat om 1 of 2 overschrijdingen per dag, waarbij de overschrijdingen vooral in de nacht optreden, als de streefwaarden voor trillingshinder strenger zijn. De trillingen per appartement zijn weergegeven in Figuur 8, Figuur 9 en Figuur 10.



Figuur 8 Bovengrens van de trillingssterkte V_{max}



Figuur 9 Bovengrens van de gemiddelde trillingssterkte V_{per}



Figuur 10 Beoordeling van de trillingshinder op basis van de SBR B-richtlijn

Uit het variantenonderzoek voor de nieuwbouw zijn verder nog de volgende conclusies te trekken:

- De trillingen zijn wat lager bij een zware constructie, zoals betonnen wanden of een zware fundering (paalfundering).
- De trillingen zijn wat lager bij vloeren met een hogere demping (zoals breedplaatvloeren) dan bij vloeren met een lagere demping (zoals kanaalplaat- of appartementenvloeren).

Omdat er in het bestaande gebouw sprake is van overschrijdingen van de streefwaarden, geven we in het volgende hoofdstuk handvatten voor de optimalisatie van de constructie en voor maatregelen.





MAATREGELEN



In dit hoofdstuk worden handvatten gegeven om de woningen trillingsarm te ontwerpen, en wordt aangegeven welke maatregelen mogelijk zijn om de trillingen te verminderen.

Hierbij worden ook handvatten gegeven voor een juridisch houdbare afweging tussen effect en kosten van maatregelen.



MITIGERENDE MAATREGELEN

Door de passage van goederentreinen zijn incidentele overschrijdingen van de streefwaarden in de nacht voor trillingshinder mogelijk op de 1^e verdieping van het bestaande gebouw. Omdat er sprake is van overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder, beschrijven we in dit hoofdstuk de mogelijke maatregelen waarmee de trillingen kunnen worden voorkomen of zoveel mogelijk beperkt..

5.1. NUT EN NOODZAAK VAN MAATREGELEN

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:

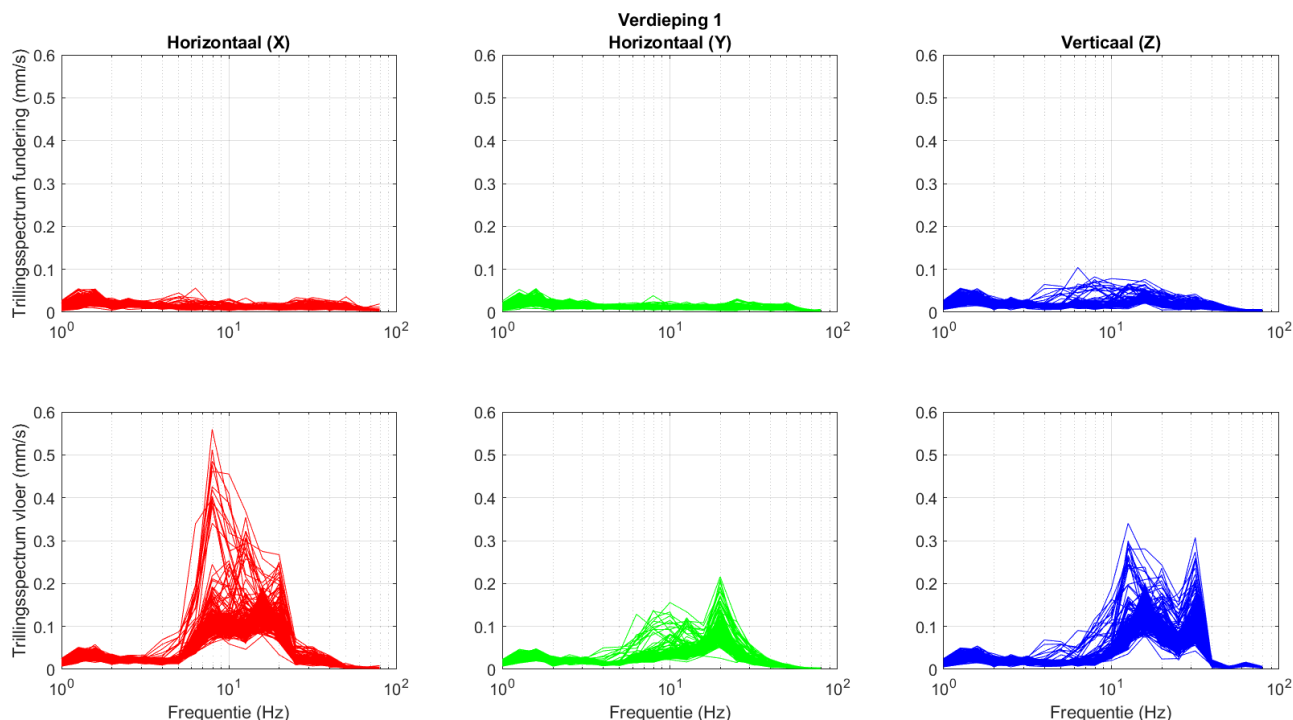
1. De mate waarin de trillingssterkte voorkomt. Hiervoor geldt dat de gemiddelde trillingssterkte V_{per} een goede indicatie is. De gemiddelde trillingssterkte is lager dan de streefwaarde. Het gaat verder om een relatief beperkt aantal overschrijdingen: 1 of 2 per dag.
2. De aanwezigheid van achtergrondtrillingen die de trillingen van het treinverkeer kunnen maskeren. Hiervoor geldt dat de trillingen van wegverkeer lager zijn dan van het treinverkeer. Van een maskerend effect is dus geen sprake.
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.

Gelet op bovenstaande dient daarom een afweging plaats te vinden waarbij maatregelen worden afgewogen op doelmatigheid (kosten vs. effect). Daarom gaan we hierna in op maatregelen om de trillingen te reduceren. Om effectieve maatregelen te treffen, stellen we eerst 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 het gebouw. Daarbij bespreken we ook bouwkundige optimalisaties.

5.2. ANALYSE RESULTATEN

Om te bepalen welke trillingsrichting en trillingsfrequenties in het gebouw maatgevend zijn, is een nadere analyse uitgevoerd van de gemeten trillingen, zie Figuur 11. In deze figuur is de trillingssnelheid per treinpassage weergegeven als tertsbandspectrum op de fundering en de vloer van de 1^e verdieping. Hieruit kan worden afgeleid bij welke frequentie en in welke trillingsrichting de trillingen het hoogst zijn.

Uit Figuur 11 volgt dat de hoogste trillingen optreden in horizontale richting. De trillingen zijn vooral hoog tussen de 6 en 15 Hz. Deze trillingen worden in het gebouw met een factor 10 tot 12 versterkt, iets wat voor de bouwperiode van dit gebouw vaker voorkomt door de combinatie van relatief dunne buitenmuren, een zware kapconstructie en een lichte fundering. Om de trillingen in het pand te verminderen zijn vooral maatregelen effectief die de forse opslinging van de trillingen in het gebouw (ook in verticale richting) verminderen. In de volgende subparagrafen wordt ingegaan op mogelijke maatregelen aan de trillingsbron, in de bodem of aan de gebouwen.



Figuur 11 Verwachte trillingen op fundering (boven) en op de vloer van de 1^e verdieping (onder)

5.3. 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 meeste effectieve maatregel aan het spoor is het toepassen van een betonplaat met ballastmat onder het spoor. Veel andere maatregelen aan het spoor zijn minder effectief of niet inpasbaar: goedkopere maatregelen zoals under sleeper pads hebben onvoldoende effect tegen de laagfrequente trillingen van de goederentreinen en verlagen van de rijnsnelheid is, gezien de al lage snelheid, niet effectief. Het verplaatsen of vernieuwen van het wissel is onvoldoende effectief en daarom niet nader beschouwd.

Nadeel van maatregelen aan het spoor zijn de hoge kosten hiervan (m.n. doordat een buitendienststelling nodig is), bovendien vallen deze maatregelen buiten het plangebied. Een eventuele betonplaat met ballastmat moet worden toegepast onder alle sporen over een lengte van ca. 100 meter per spoor. De kosten van deze maatregel bedragen ca. € 1.2 tot € 1.9 mln, en staan volstrekt niet in verhouding tot de economische waarde van het ene appartement met een overschrijding². Kosten voor tijdelijk vervoer van treinreizigers en herstel van de omgeving zijn hierin niet meegenomen.

5.4. MAATREGELEN IN DE BODEM

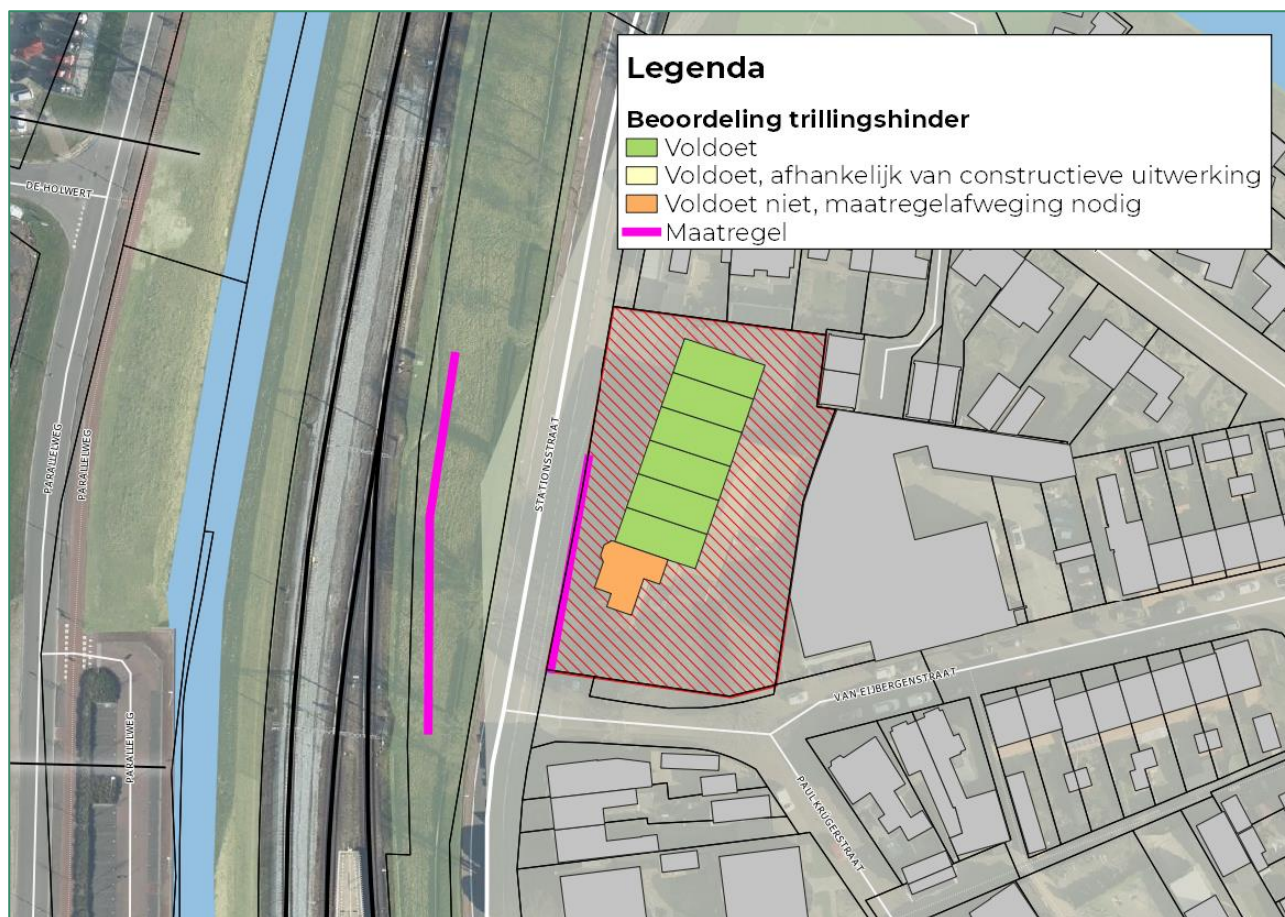
Bij maatregelen in de bodem kan gedacht worden aan het toevoegen van obstakels in de bodem, die ervoor zorgen dat het gebouw wordt afgeschermd. Voorbeelden zijn het toevoegen van een trillingsscherm van piepschuim (EPS), beton, damwand, of jet-grout (soil-mix methode voor beton), of een diepe spoorsloot.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

² Ter indicatie: ProRail hanteert bij doelmatigheidsafwegingen een bedrag van € 47.000 per adres



zich meebrengen en dat ze, met uitzondering van een spoorstoot, niet aanpasbaar zijn aan toekomstige situaties.

Verder is een trillingsscherm alleen effectief dichtbij de bron of dichtbij de ontvanger. Op basis daarvan zijn er twee locaties mogelijk: dichtbij de bebouwing, op het eigen perceel (lengte 40 meter) of in de groenstrook tussen de Stationsstraat en het spoor (lengte 65 meter), zie Figuur 12.



Figuur 12 Locatie van mogelijk trillingsscherm

De diepte van een scherm moet, gezien de dominante trillingsfrequenties, voor veel schermtypes minimaal 20 meter zijn om echt effectief te zijn. Mogelijke maatregelen in de bodem met een inschatting van het effect en de kosten zijn weergegeven in Tabel 5. Hierbij is uitgegaan van de locatie op het eigen perceel, met uitzondering van de sloot, deze is alleen goed inpasbaar op het perceel van ProRail, dichtbij het spoor.

Tabel 5 Mogelijke maatregelen in de bodem, effect op trillingen en kosten

Maatregel	Effect	Kosten ³
Betonnen wand (diepwandmethode)	20 – 35%	€ 0.9 – 1.5 mln
Jet-grout wand	15 – 25%	€ 0.9 – 1.5 mln

³ Totale investeringskosten, incl. BTW, prijspeil 2022, met een bandbreedte van +/-25%. Kosten zijn exclusief kosten voor grondverwerving, verleggen van kabels en leidingen en kosten voor een vergunningsprocedure. De werkelijke kosten van maatregelen zullen daardoor hoger uitvallen.

Maatregel	Effect	Kosten ³
Damwand (intrillen)	0 – 10%	€ 0.5 – 0.7 mln
Betonnen wand, bekleed met rubber	30 – 55%	€ 1.1 – 1.8 mln
Damwand met EPS (piepschuim)	15 – 25%	€ 0.6 – 1.0 mln
Damwand met sleuf (luchtspouw)	10 – 25%	€ 0.8 – 1.3 mln
L-wand 4.0 m diep	5 – 15%	€ 0.1 – 0.2 mln
CSM-wand (Cutter Soil Mix of Mix-In-Place)	0 – 10%	€ 0.5 – 0.9 mln
Trillingsscherm EPS (piepschuim), 1 m dik, 5.0 m diep	5 – 10%	€ 0.1 – 0.3 mln
Spoorsloot, 2 m diep	10 – 25%	€ 0.1 – 0.2 mln
Spoorsloot, 2 m diep, met prefab L-wand 4 m diep	20 – 35%	€ 0.1 – 0.3 mln

De benodigde reductie om te voldoen aan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn bedraagt 30%. Met een aantal maatregelen is dit te realiseren, maar de kosten van al deze maatregelen zijn hoog. De goedkoopste maatregel met naar verwachting voldoende effect is een spoorsloot van 2 meter diep, met aan een zijde een prefab L-wand van 4 meter diep om het ruimtebeslag te beperken. Deze maatregel kost nog altijd meer dan € 150.000 voor het ene appartement, bovendien is hier nog veel afstemming met ProRail over nodig en moet met allerlei aanvullende kosten rekening worden gehouden op het gebied van bijv. vergunningverlening, taludstabiliteit en kabels en leidingen. Andere maatregelen zijn nog veel kostbaarder.

5.5. MAATREGELEN AAN DE GEBOUWEN

Tenslotte zijn ook maatregelen aan de bebouwing mogelijk, hoewel de mogelijkheden bij een bestaande woning beperkt zijn. Het gaat dan vooral om het verstijven van de constructie van het gebouw en de vloeren. Het globale effect en de kosten van de mogelijke maatregelen aan het gebouw zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 Mogelijke maatregelen aan gebouw.

Maatregel	Effect	Kosten
Afgeveerde vloer	0%	€ 25 – 50k
Afveren van gebouw (vervangen fundering, plaatsen veren onder gebouw)	60 – 80%	€ 140 – 200k
Inpakken van de fundering met 150 mm rubber	5 – 15%	€ 40 – 60k
Afschermen van de fundering met 1 m dik EPS	15 – 25%	€ 25 – 40k
Afschermen van de fundering met bijv. L-wand of MIP-wand	15 – 25%	€ 15 – 30k
Verstevigen van tussenwanden	5 – 15%	€ 25 – 40k
Verstevigen van buitengevels	5 – 10%	€ 40 – 70k
Aanbrengen stabiliteitswanden aan buitenzijde	10 – 15%	€ 20 – 40k
Verstevigen vloer (sandwichen houten balkconstructie verdiepingsvloer)	0%	€ 5 – 20k

De enige voldoende effectieve maatregel is het afveren van het gebouw. Dit is een maatregel die technisch zeer risicovol is, en bij bestaande bebouwing nog niet eerder toegepast. De maatregel komt neer op het ondersteunen van de bestaande fundering, het aanbrengen van een nieuwe plaatfundering daaronder en vervolgens het plaatsen van veren tussen de nieuwe en bestaande fundering, afgeveerd op maximaal 4 Hz. Dit betreft een kostbare, risicovolle operatie met een grote kans op schade aan de constructie, en zeer hoge kosten.

Andere maatregelen zijn onvoldoende effectief, of, zoals het verstevigen van de verdiepingsvloer, hebben alleen effect op de verticale trillingen, maar niet op de horizontale trillingen die maatgevend zijn.

5.6. ADVIES VOOR MAATREGELEN

In het appartement op de 1^e bouwlaag van het bestaande gebouw zijn overschrijdingen van het beoordelingskader mogelijk. Het gaat vooral om goederentreinen in de nacht, door de relatief slappe constructie van het gebouw worden de trillingen in het gebouw met een factor 10 tot 12 versterkt. Het gaat om 1 tot 2 overschrijdingen per dag.

Uit het onderzoek naar maatregelen volgt dat maatregelen aan het spoor en in de bodem (hoewel effectief) gezien de zeer hoge kosten niet doelmatig zijn. Maatregelen aan het gebouw zijn ook zeer kostbaar of onvoldoende effectief. De kosten van effectieve maatregelen (zowel aan het spoor, in de bodem als aan het gebouw) staan niet in relatie tot de economische waarde van het appartement, en zijn in alle gevallen hoger dan € 140.000.

We adviseren daarom om het volgende te doen:

1. Te kijken of verzachtende maatregelen mogelijk zijn, om het woon- en leefklimaat in het appartement op de 1^e verdieping zo goed mogelijk te maken. Concreet valt dan te denken aan:
 - a. Verstevigen van eventueel aanwezige stalen balken bij doorbraken, bijv. door HEA- of HEB-profielen van flenzen te voorzien (zodat er een kokerligger ontstaat), of, nog beter, door deze waar mogelijk te vervangen door dragende wanden (van bijv. kalkzandsteen of metselwerk)
 - b. Verstevigen van de vloer, door de houten balkenlaag van de 1^e verdieping te sandwichen (aan weerszijden voorzien van dikke planken of balken), zodat de eigenfrequentie van de vloer omhoog gaat.

Met bovenstaande maatregelen zijn de trillingen met maximaal zo'n 15 procent te reduceren, en resulteren nog slechts lichte, incidentele overschrijdingen.

2. We adviseren om de resterende overschrijdingen te accepteren, en te motiveren dat ook zonder maatregelen geen onaanvaardbaar woon- en leefklimaat ten aanzien van trillingshinder ontstaat in de woning. Het beoordelingskader voor trillingshinder, de SBR B-richtlijn, biedt de mogelijkheid tot het maken van een dergelijke afweging, mits goed gemotiveerd. Met een beroep op bijlage 5 van de SBR B-richtlijn kunnen hierbij de volgende argumenten worden gebruikt:
 - a. Er is sprake van *matige hinder*, een situatie die volgens bijlage 5 van de SBR B-richtlijn kan worden geaccepteerd als er sprake is van een beperkt aantal overschrijdingen (zoals in dit geval) en maatregelen niet goed zijn te treffen (bijvoorbeeld vanwege forse technische risico's of hoge kosten).
 - b. Er is sprake van een beperkt aantal overschrijdingen. Het gaat, na het treffen van de beschreven maatregelen, om minder dan 1 overschrijding per dag. Bovendien voldoet



de gemiddelde trillingssterkte V_{per} aan de streefwaarden, een indicatie dat het om een beperkt aantal passages met hogere trillingen gaat.

- c. De trillingen voldoen weliswaar niet aan de strenge streefwaarden voor nieuwbouw, maar in vrijwel alle gevallen wel aan de soepeler streefwaarden voor bestaande bouw. In die laatste streefwaarden is een zeker gewenningseffect meegenomen.

Gelet op bovenstaande kan daarmee gemotiveerd worden dat ook zonder maatregelen geen onaanvaardbaar woon- en leefklimaat ontstaat t.a.v. trillingshinder.

5.7. ONZEKERHEDEN IN HET ONDERZOEK

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

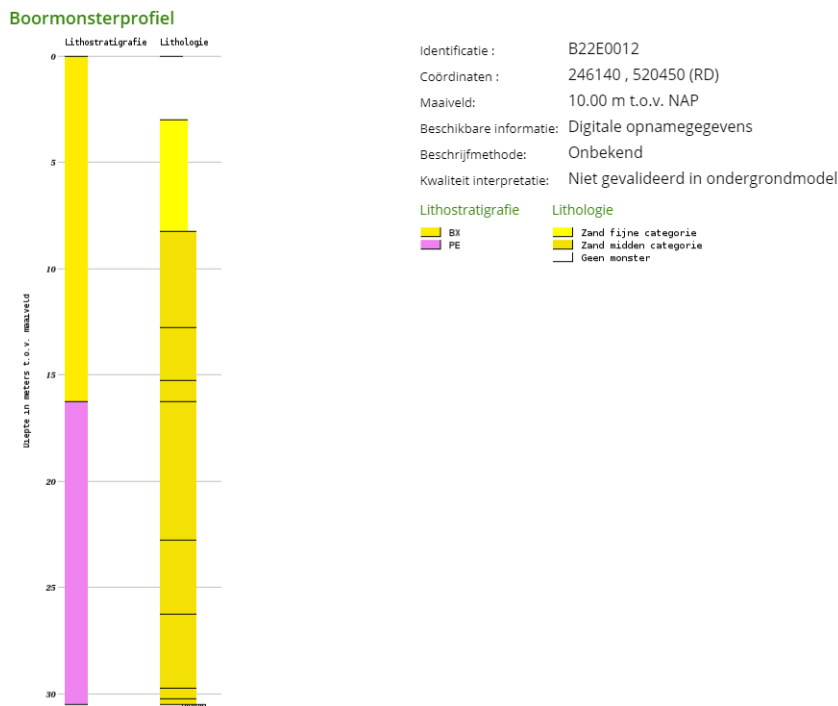
- Ten aanzien van de trillingsbron: de natuurlijke variatie als gevolg van spooronderhoud en de temperatuur kunnen zorgen voor zo'n 30% variatie in de trillingen, afhankelijk van de spoorconstructie en de bodemopbouw. Er is gemeten in een klimatologisch als normaal te typeren periode. Er is geen informatie bekend over de huidige status van de spoorligging, op grotere afstand van het spoor is de invloed van die variaties echter beperkt. Door te meten op meerdere punten hebben we variaties waar mogelijk meegenomen in de analyse en berekeningen. Er is op basis van bovenstaande informatie geen reden om te twijfelen aan de representativiteit van de berekeningen voor de toekomstige trillingen.
- 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 het gebouw op wat grotere afstand van het spoor staat, is deze onzekerheid beperkt.
- Ten aanzien van het nieuwe gebouw geldt dat er altijd verschillen zijn tussen het beoogde ontwerp en het gerealiseerde ontwerp (verschillen tussen as-built en definitief ontwerp). Bovendien is het dynamische gedrag van bijvoorbeeld beton afhankelijk van de mate van gescheurdheid van het beton en zijn er natuurlijke variaties in materiaalgedrag (van bijvoorbeeld hout, metselwerk en beton). In de berekeningen is gerekend met een verwachtingswaarde van de trillingen op basis van een aan de hand van praktijkmetingen geijkt rekenmodel. Hiermee wordt een resultaat verkregen dat representatief is voor de toekomstige situatie. Bij het bestaande gebouw wordt de constructie maar beperkt aangepast. De modelberekeningen zijn gekalibreerd met metingen in het gebouw, zodat de nauwkeurigheid van de prognoses voor dit gebouw hoog is.

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



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.

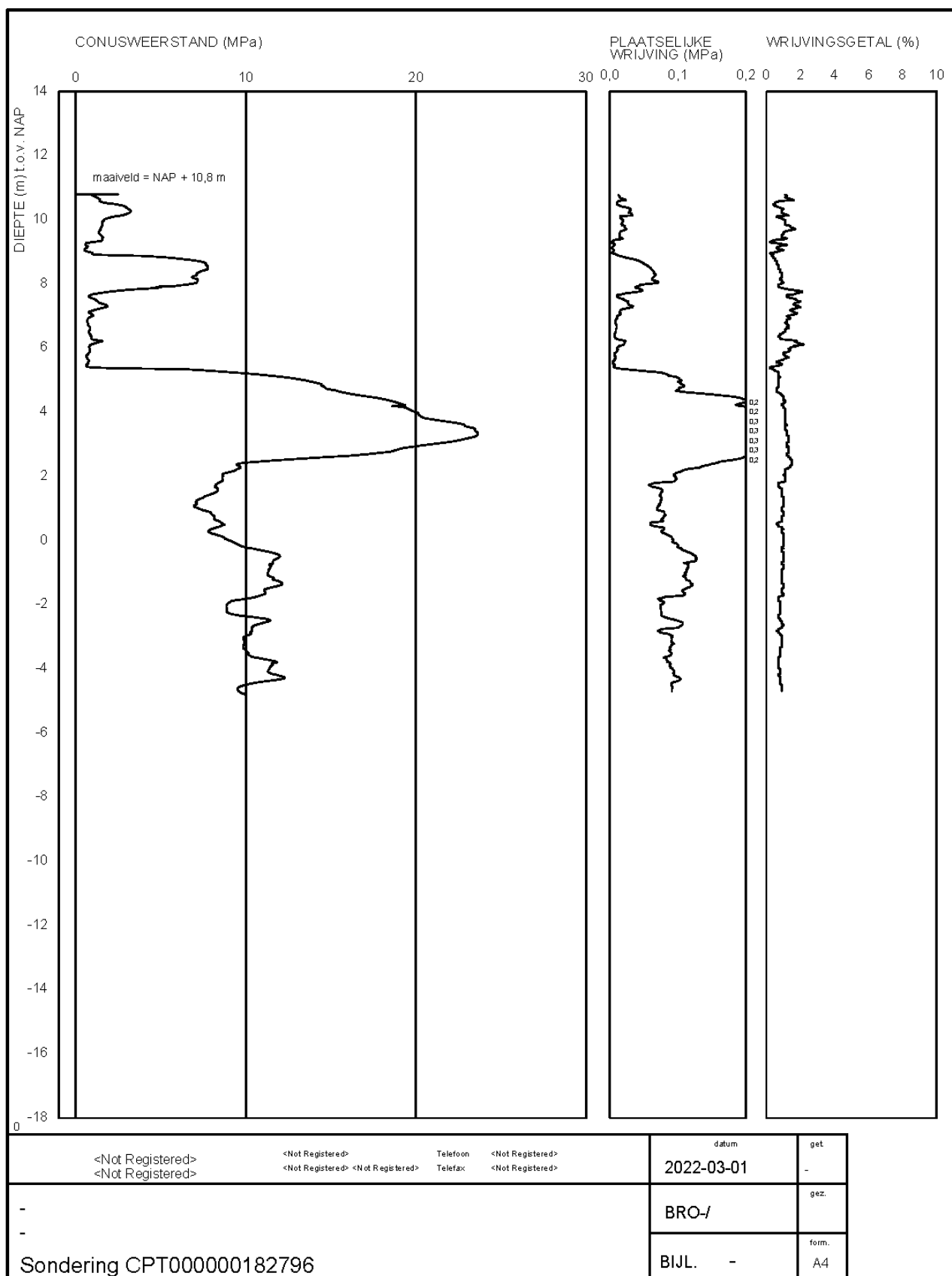
Een grondboring in de nabijheid van het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 13. De bodem is opgebouwd uit zandlagen. Hierdoor dempen de trillingen relatief slecht uit met de afstand.



Figuur 13 Boring in het onderzoeksgebied

Een representatieve sondering uit het onderzoeksgebied, waarin onder meer de conusweerstand te zien is, is weergegeven in Figuur 14. Ook hier is te zien dat de bodem weinig wrijving kent en relatief stijf is (en dus uit zandlagen bestaat).





Figuur 14 Sondering nabij het onderzoeksgebied

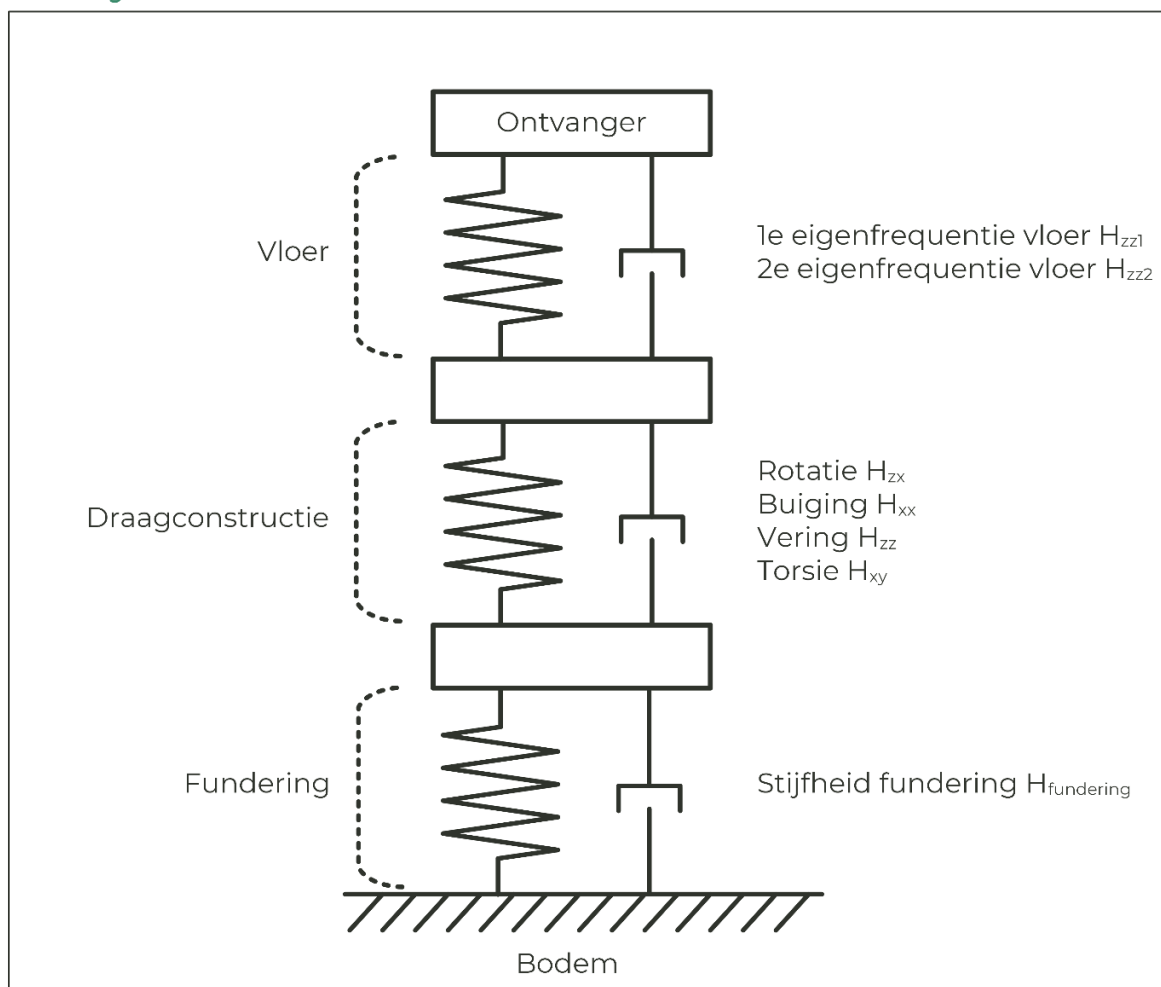
REKENMODEL

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van het rekenmodel Buildyn om de trillingen in de bestaande bebouwing te berekenen. In Buildyn wordt de dynamische responsie van een gebouw berekend met behulp van een beam-element model (BEM). Buildyn is met behulp van een slim algoritme gekalibreerd met meer dan 600 praktijkmetingen. Uit evaluatiemetingen blijkt dat het model hierdoor een nauwkeurigheid heeft die vrijwel altijd significant beter is dan een Eindige Elementenmodel. Dat komt doordat de resultaten van het Buildyn-model gebaseerd zijn op werkelijke (as-built) data, terwijl een Eindige Elementenmodel zeer gevoelig is voor de gebruikte input t.a.v. bijv. demping en stijfheden. Qua detailniveau, zoals omschreven in de *Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen* (Tabel 10.3), gaat het om een model op niveau IV: een 3D-model, mits lokale onderdelen (zoals uitkragingen) zijn mee gemodelleerd omdat de empirische praktijkdata hierop minder nauwkeurig is.

In Buildyn wordt een gebouw gemodelleerd door middel van gekoppelde massa-veersystemen, zie Figuur 15. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 15, worden in deze bijlage nader toegelicht. Afhankelijk van de constructie van het gebouw wordt de draagconstructie als één (lage bebouwing, starre bebouwing), of als meerdere elementen (hoge bebouwing, slappere bebouwing) gemodelleerd.

Buildyn

WB



Figuur 15 Principe van Buildyn met een gebouw als gekoppeld massaveersysteem. Rechts de verschillende componenten van het rekenmodel

FUNDERING

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

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

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

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

DRAAGCONSTRUCTIE

De trillingen worden door de draagconstructie vaak versterkt. Hierbij zijn meerdere effecten te onderscheiden, waarbij met name rotatie van het gebouw als geheel (op de ondergrond), doorbuiging en vering van het gebouw op zijn fundatie een rol spelen. Bij hogere of slappere gebouwen speelt ook doorbuiging en torsie (rotatie om een verticale as in het gebouw) een rol.

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

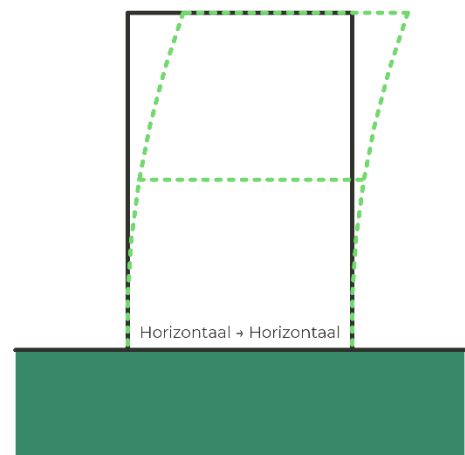
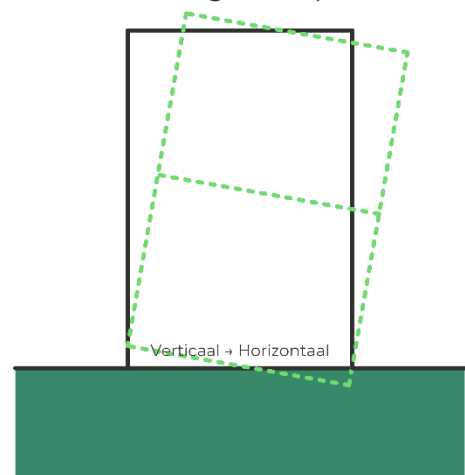
Dit effect noemen we H_{zx} , en is afhankelijk van:

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

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

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

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

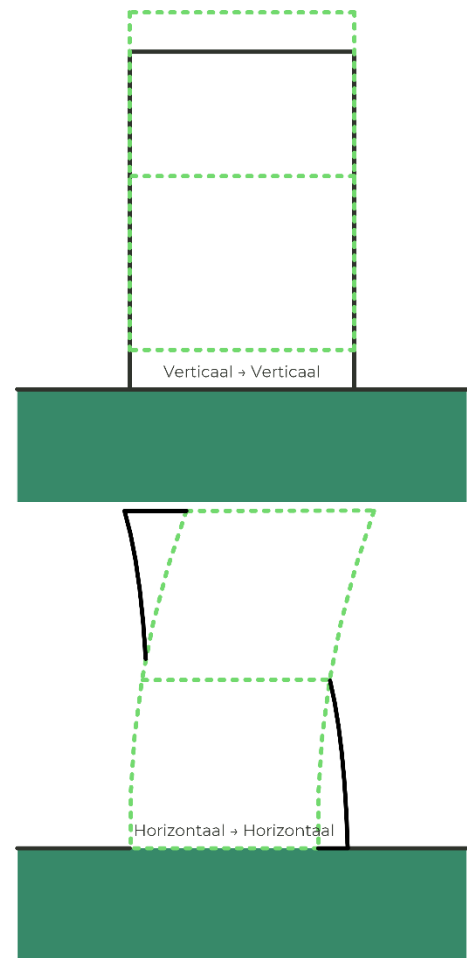


Het derde principe, dat van vering van het gebouw op zijn fundatie, is rechts weergegeven. Dit principe speelt vooral een rol bij wat hogere gebouwen, of bij gebouwen met een slappe onderlaag of lokaal slappere elementen (denk aan kolommen en balkenstructuren). Dit effect noemen we H_{zz} , en is afhankelijk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

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

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

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



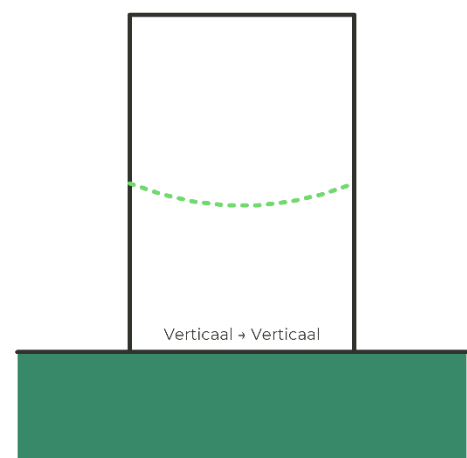
VLOEREN

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

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

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

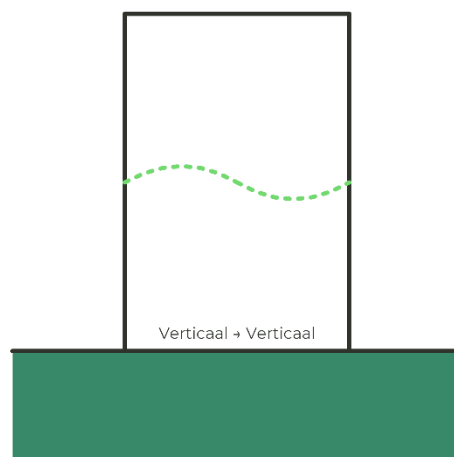
- » Type vloer (doorsnede, materiaal, en bij beton: gescheurd of ongescheurd)
- » Afmetingen van de vloer
- » Type oplegging



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

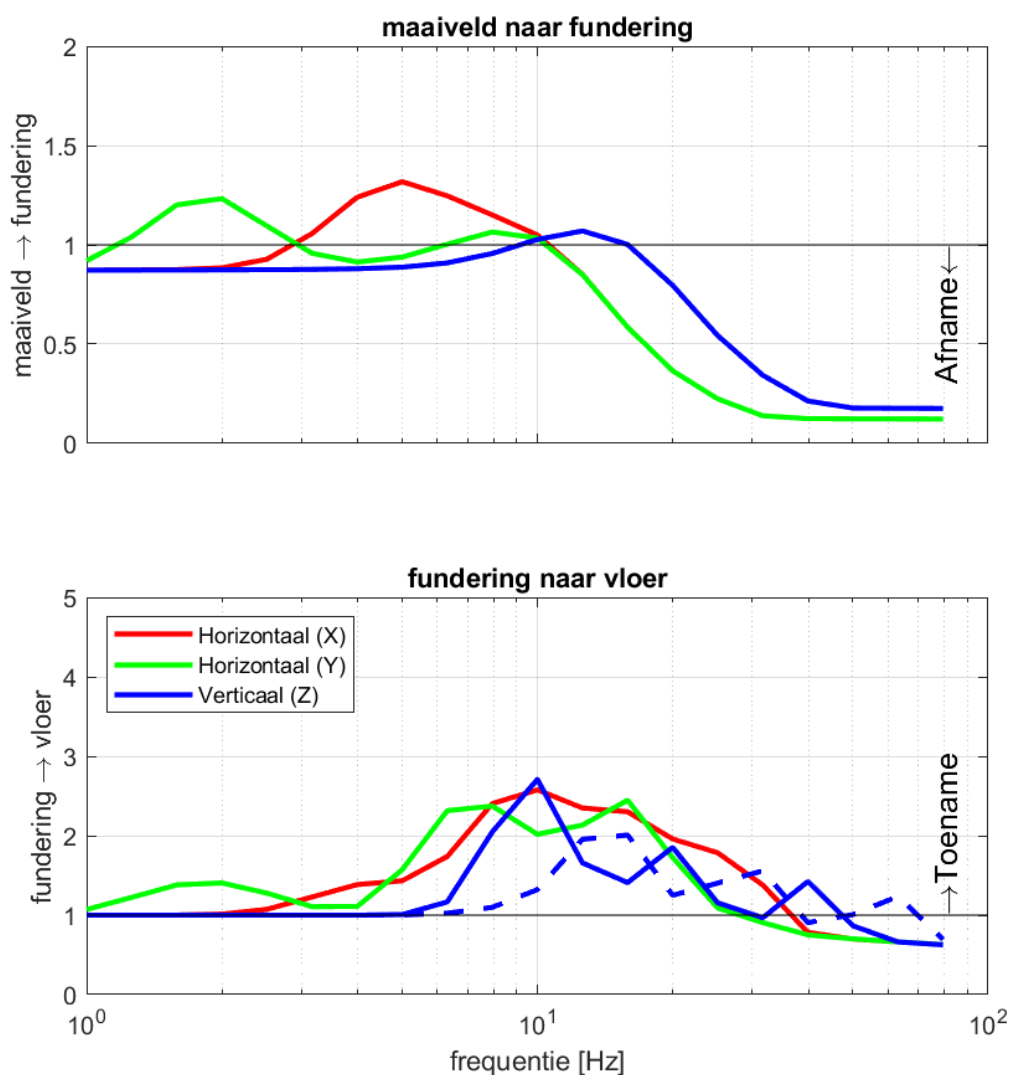
Dit effect noemen we H_{zz2} , en is afhankelijk van dezelfde parameters als H_{zz1} .

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



RESULTATEN

Ter illustratie zijn de resultaten uit de Buildyn-berekeningen voor het maatgevende punt op de hoogste verdieping van de nieuwbouw weergegeven in Figuur 16.



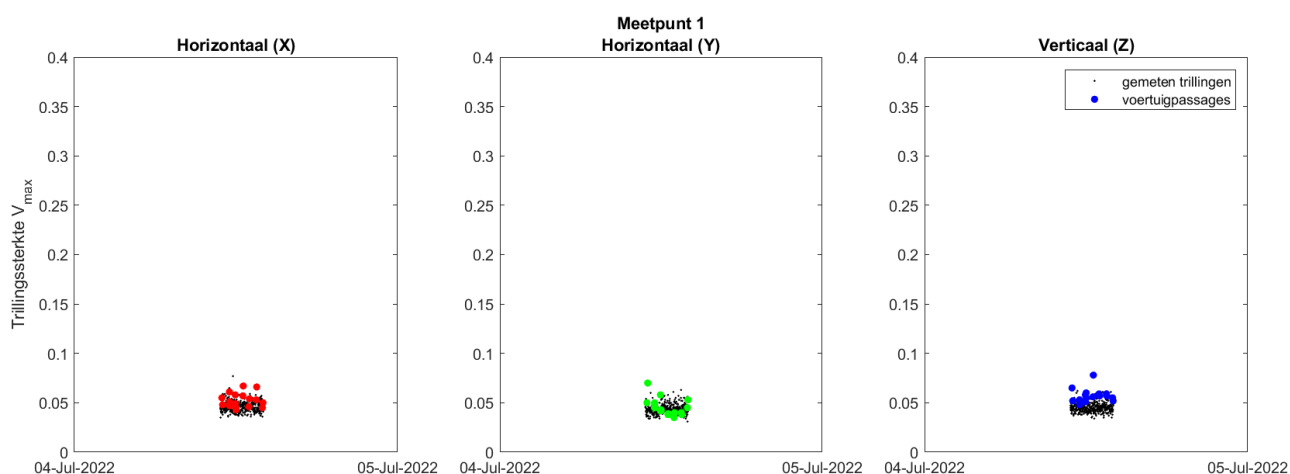
Figuur 16 Buildyn-resultaten voor bovenste verdieping nieuwbouw, kanaalplaatvloer 200 mm, kalkzandsteen en metselwerk, 6.2 m vloeroverspanning. Doorgaande lijn verticaal is midden vloer, onderbroken lijn is op $\frac{1}{4}$ en $\frac{3}{4}$ van overspanning



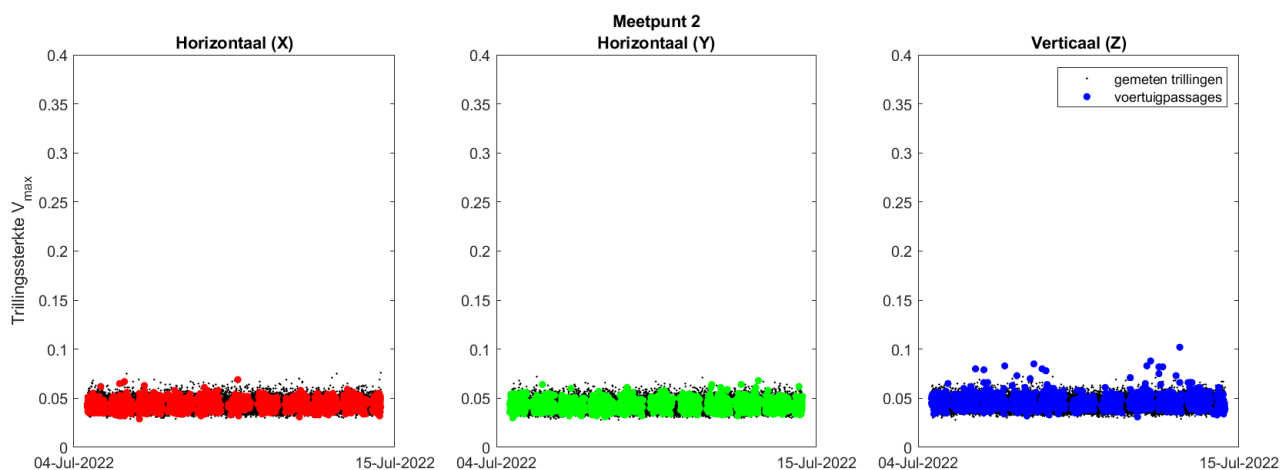


RESULTATEN METINGEN

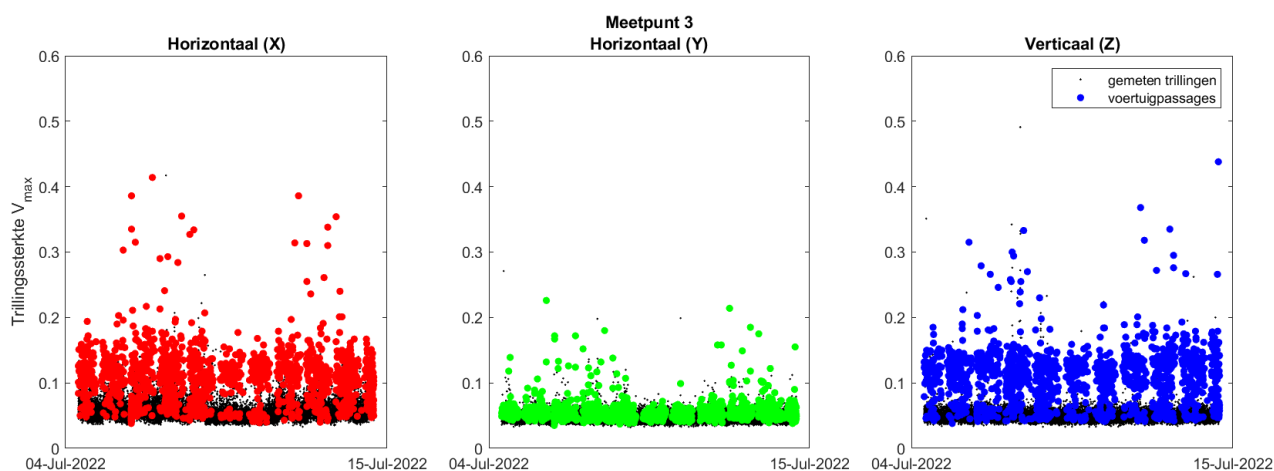
Deze bijlage bevat de resultaten van de metingen van Alcedo. Per meetpunt zijn de gemeten trillingen en de tertsbandspectra per treinpassage weergegeven.



Figuur 17 Gemeten trillingen bij meetpunt 1 (maai veld voor bestaand gebouw)

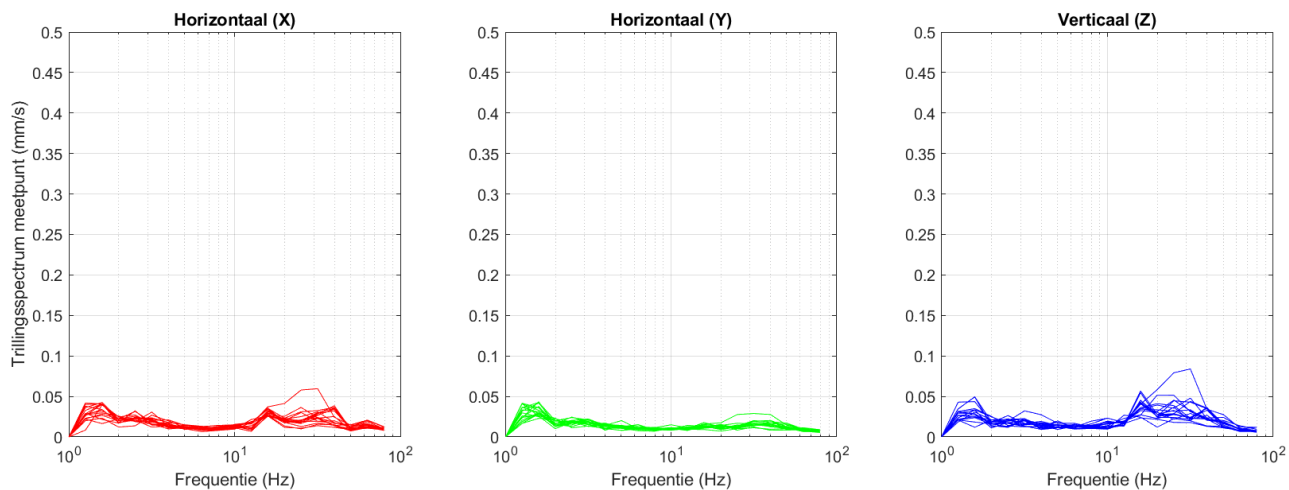


Figuur 18 Gemeten trillingen bij meetpunt 2 (fundering bestaand gebouw)

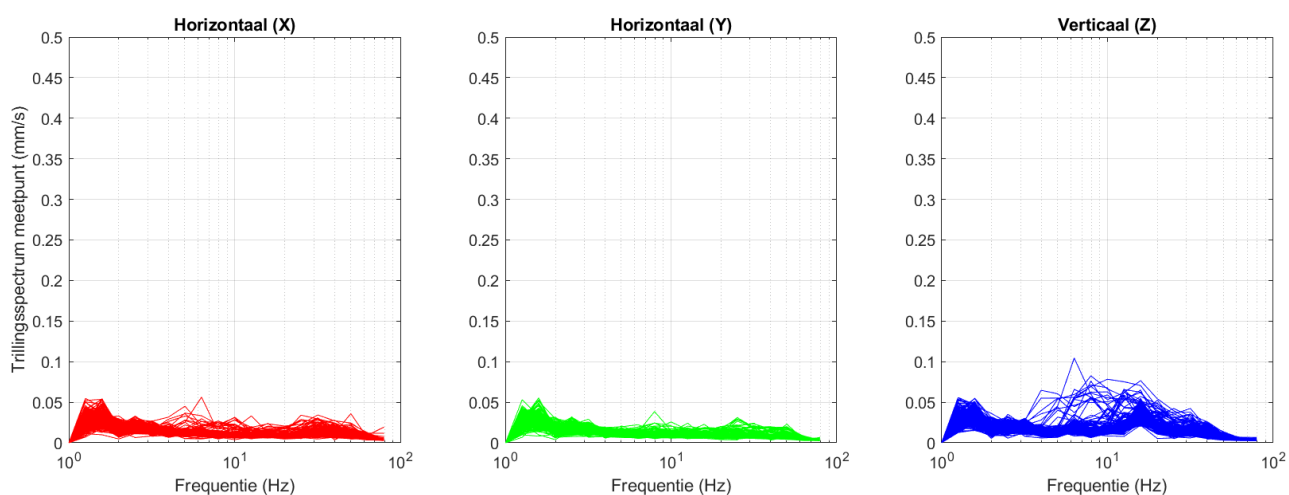


Figuur 19 Gemeten trillingen bij meetpunt 3 (midden vloerveld 1e verdieping bestaand gebouw)

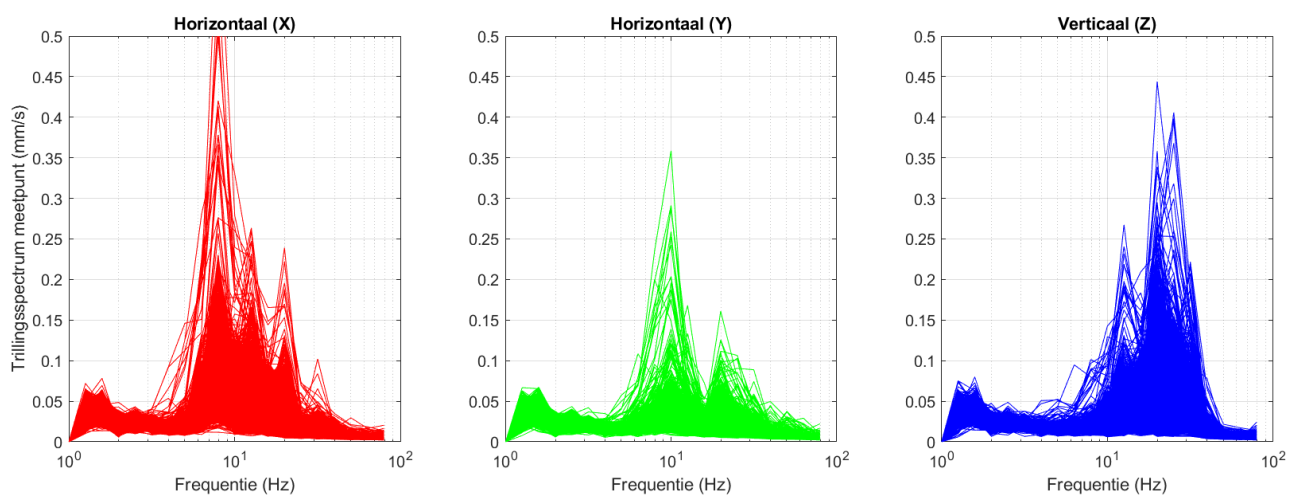




Figuur 20 Tertsbandspectra bij meetpunt 1



Figuur 21 Tertsbandspectra bij meetpunt 2



Figuur 22 Tertsbandspectra bij meetpunt 3