

WEEBOST



TRILLINGSONDERZOEK T.B.V. NIEUWBOUW

**JOHAN DE WITTLAAN 12 B, C EN D
IN WOERDEN**

COLOFON

Auteur	Marjolein Hordijk marjolein@we-boost.nl
Controle en vrijgave	Pieter Boon pieter@we-boost.nl +31 6 10 03 94 54
Projectcode	WBD2021-034
Versienr	4.0
Datum	22 mei 2023
Status	Definitief
Opdrachtgever	Esprit Development BV



Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van metingen van

ALCEDO

© 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 Johan de Wittlaan 12 B, C en D in Woerden worden 29 grondgebonden woningen gerealiseerd. De planlocatie ligt langs de spoorlijn Gouda/Leiden – Woerden – Utrecht/Amsterdam. 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 woonblokken A tot en met E, en zo ja, voor een aanvaardbaar woon- en leefklimaat zorg te dragen.

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

De conclusie van het onderzoek is dat in de woonblokken A, B en C wordt voldaan aan de streefwaarden voor trillingshinder uit de SBR B-richtlijn (het beoordelingskader voor trillingshinder). In de dichter bij het spoor gelegen woonblokken D en E worden de streefwaarden als gevolg van zware goederentreinen over de wissels voor de planlocatie incidenteel overschreden. Het gaat om een beperkt aantal overschrijdingen (maximaal 2 per week in blok D, maximaal 2 per dag in blok E). De hoogte van de trillingen is afhankelijk van de afstand tot het spoor en de constructieve uitwerking van de woonblokken.



Ondanks dat de streefwaarden in de woonblokken D en E worden overschreden, is het treffen van maatregelen gezien de hoogte van de trillingen niet noodzakelijk om een aanvaardbaar woon- en leefklimaat op de planlocatie te laten ontstaan:

- ▶ Het gaat om een beperkt aantal overschrijdingen (maximaal 2 per dag na intensivering van het goederenvervoer) in blok E. In blok D zijn de trillingen lager en is maar maximaal 2 keer per week sprake van overschrijdingen. De trillingen van de meeste goederentreinen en alle reizigerstreinen voldoen wel aan het beoordelingskader.
- ▶ De trillingen voldoen weliswaar niet aan de strenge streefwaarden voor nieuwbouw uit de SBR B-richtlijn, maar wel aan de soepeler streefwaarden voor bestaande situaties uit de SBR B-richtlijn. In die soepeler streefwaarden voor bestaande situaties is een zekere mate van gewenning meegenomen.
- ▶ De woningen worden gerealiseerd in een zone dichtbij het spoor, waar nu ook al bebouwing is gerealiseerd die dichtbij het spoor ligt. Die bestaande bebouwing is bovendien ouder en meer trillingsgevoelig, waardoor de trillingen daar hoger zullen zijn dan in de nieuwe woningen. Ook zonder maatregelen tegen trillingen kan worden beargumenteerd dat er in

de geplande bebouwing daarom geen onacceptabele situatie ontstaat: de trillingen zijn immers lager dan in andere, al bestaande bebouwing rond deze locatie.

Omdat de trillingen in blok D en E niet voldoen aan het beoordelingskader, wordt in Bijlage 5 van de SBR B-richtlijn wel geadviseerd om te onderzoeken en af te wegen welke maatregelen kunnen worden getroffen om de trillingen te verminderen en zo een zo optimaal mogelijk woon- en leefklimaat te laten ontstaan. Hierbij dient te worden afgewogen of het effect van maatregelen opweegt tegen de meerkosten en risico's. Uiteindelijk kan een dergelijke afweging opleveren dat er alsnog geen maatregelen worden getroffen, bijvoorbeeld omdat die te kostbaar of onvoldoende effectief zijn.



INHOUDSOPGAVE

I.	INLEIDING	7
1.1.	Aanleiding	7
1.2.	Doel	7
1.3.	Leeswijzer	7
2.	SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN	10
2.1.	Situatie	10
2.2.	Uitgangspunten	11
3.	BEOORDELINGSKADER	14
3.1.	Beoordelingskader	14
3.2.	Rekenmethode	15
4.	VERWACHTE TRILLINGEN IN DE WONINGEN	18
4.1.	Meetresultaten	18
4.2.	Trillingen in geplande nieuwbouw	18
4.3.	Advies voor maatregelafweging	21
4.4.	Onzekerheden in het onderzoek	22
I.	GRONDONDERZOEK	24
II.	GEBRUIKT REKENMODEL	26
III.	RESULTATEN METINGEN	30

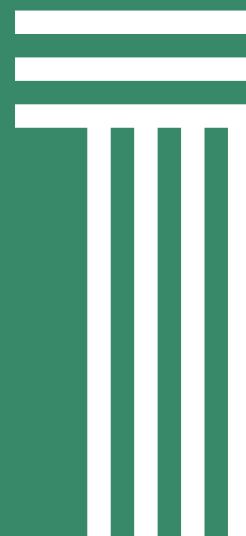




INLEIDING



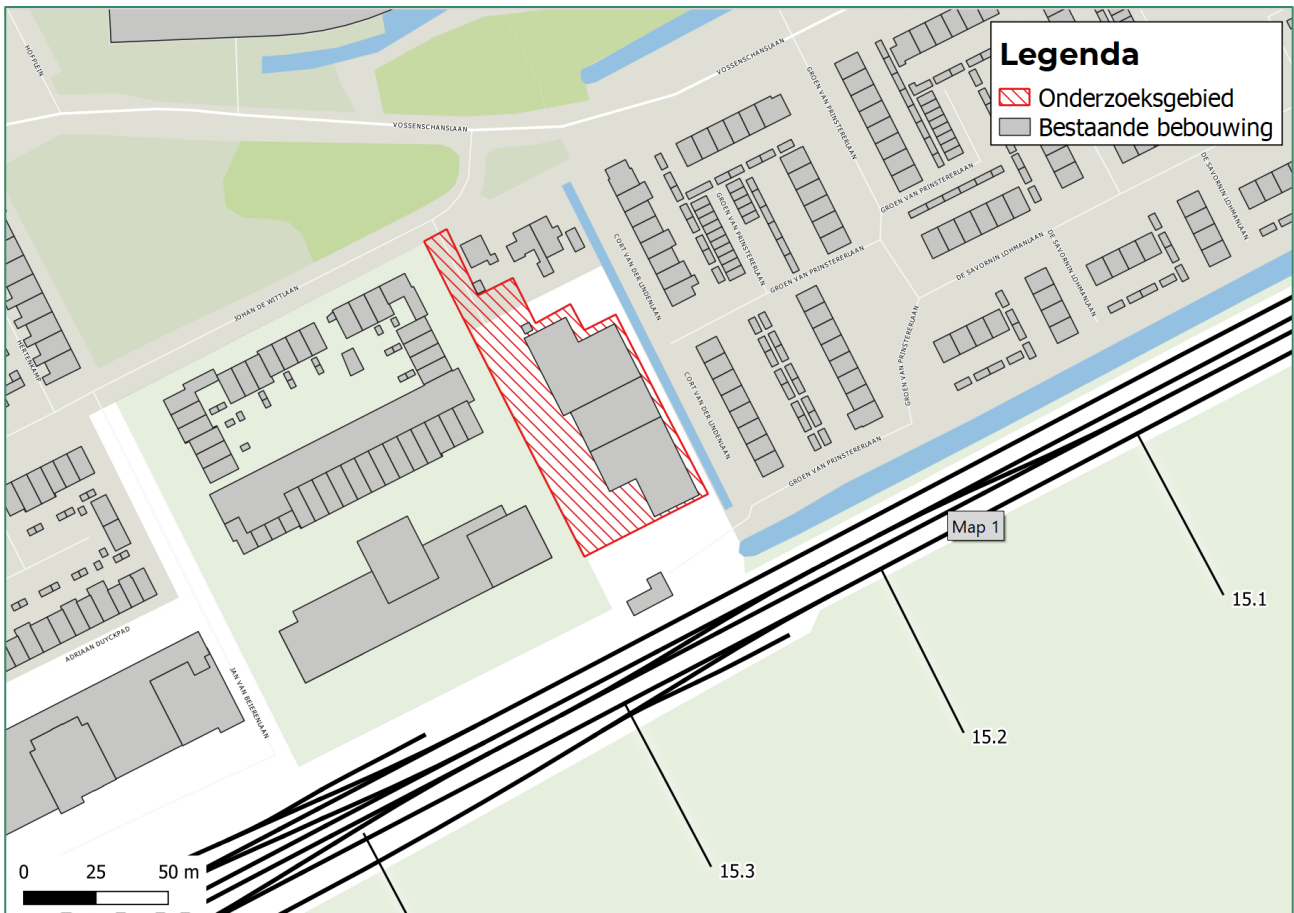
In dit hoofdstuk geven we een korte omschrijving van de inhoud van dit onderzoek: de aanleiding, het doel van het onderzoek en een beknopte leeswijzer om informatie snel te kunnen vinden.



INLEIDING

1.1. AANLEIDING

Aan de Johan de Wittlaan 12 B, C en D in Woerden worden 29 grondgebonden woningen gerealiseerd. De planlocatie ligt langs de spoorlijn Gouda/Leiden – Woerden – Utrecht/Amsterdam – Lelystad – Zwolle, zie Figuur 1. Gezien de beperkte afstand tot het spoor kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet op voorhand worden uitgesloten.



Figuur 1 Plangebied Johan de Wittlaan 12 B, C en D in Woerden

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 trillingen zijn te verminderen. 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 we overschrijdingen van het beoordelingskader verwachten, dan geven we aan welke vervolgstappen nodig zijn bij de verdere uitwerking van de plannen.

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.

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





SITUATIEBESCHRIJVING



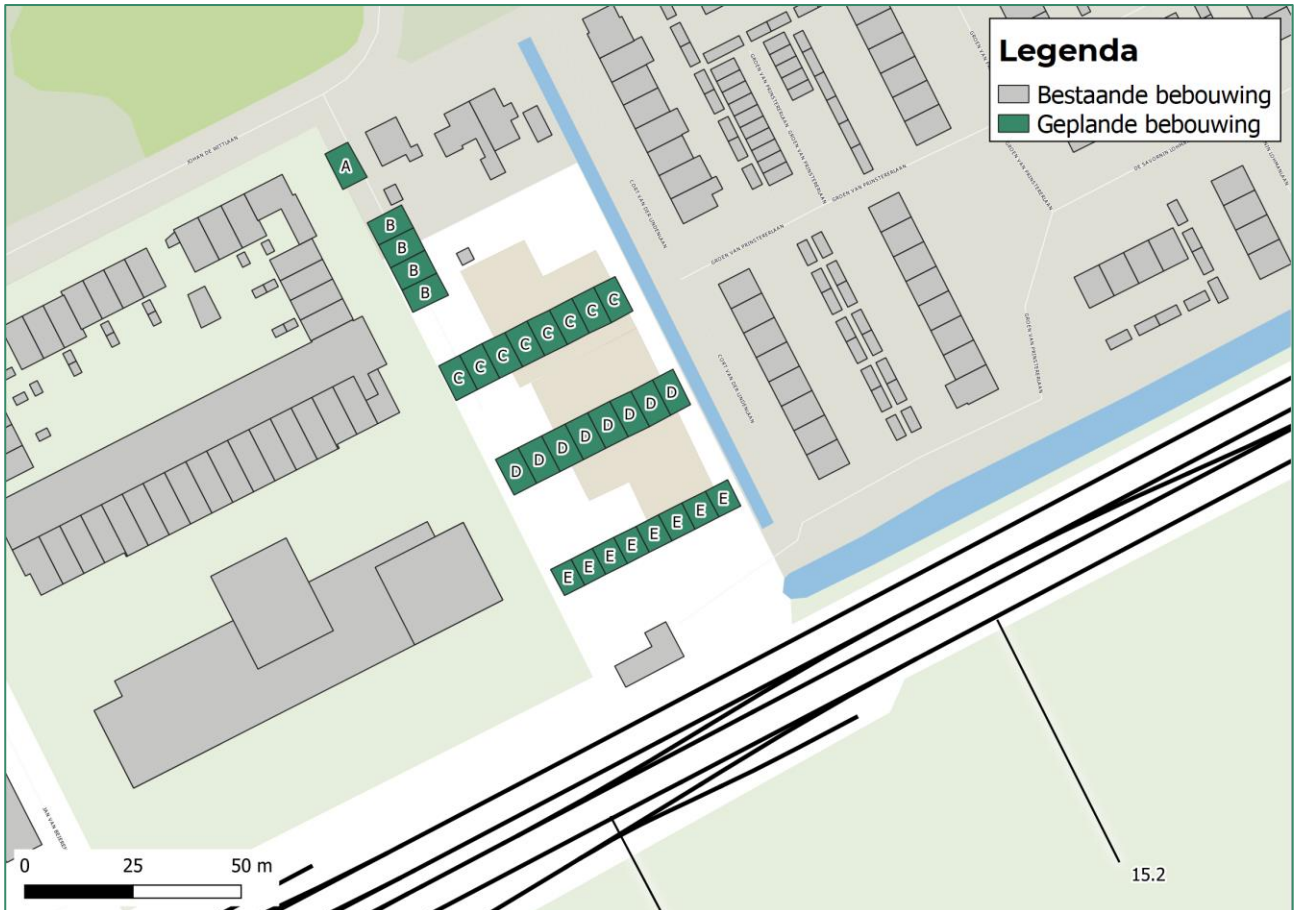
In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op de beoogde toekomstige situatie en worden de uitgangspunten van het onderzoek weergegeven.



2.1.1. SITUATIE EN UITGANGSPUNTEN

2.1. SITUATIE

In het plangebied aan de Johan de Wittlaan 12 B, C en D bevinden zich op dit moment drie loodsën. Hiervoor in de plaats komen 29 grondgebonden woningen, verdeeld over 5 bouwblokken: 12 grondgebonden woningen (blokken B en C), 16 stadswoningen (blokken D en E) en 1 vrijstaande woning (blok A). Zie Figuur 2 voor de locaties van de toekomstige bebouwing. Tussen blok D en E is een parkeergarage gelegen.



Figuur 2 Toekomstige bebouwing op de planlocatie

De geplande nieuwbouw bevindt zich in een zone van 35 tot 150 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 NMCA Spoor (vooruitblik voor goederenvervoer) kan het aantal goederentreinen licht toenemen. Er wordt geen toename van het aantal reizigerstreinen voorzien.

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

Type trein	Rijsnelheid	dag (7:00 – 19:00)	avond (19:00 – 23:00)	nacht (23:00 – 7:00)
Sprinter	40-70 km/h	6.00	4.50	1.75
Intercity	130-140 km/h	8.00	8.00	2.75
Goederentrein	90-95 km/h	0.28	0.37	0.36

Andere trillingsbronnen (zoals wegverkeer) zullen, gezien de afstand tot de wegen en de opbouw van de weg, niet voor voelbare trillingen zorgen in de geplande bebouwing. De trillingen van wegverkeer zijn daarom niet nader kwantitatief beschouwd in dit onderzoek.

2.2. UITGANGSPUNTEN

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

2.2.1. GEGEVENS BEBOUWING

Constructieve details van de woningen zijn nog niet beschikbaar, daarom hebben we voor dit trillingsonderzoek qua constructieve uitwerking meerdere varianten doorgerekend, zie Tabel 2. Het rekenmodel voor de bebouwing is gebaseerd op Tabel 2. In Figuur 3 is een aanzicht van de bebouwing van blok D en E weergegeven, waarin de parkeergarage zichtbaar is.

Tabel 2 Eigenschappen bebouwing

Parameter	Eigenschappen
Vloertype	Meerdere varianten: <ul style="list-style-type: none"> • Kanaalplaatvloer 200mm en 260mm, 70mm zandcement dekvloer • Breedplaatvloer 200mm en 300mm, 70mm zandcement dekvloer
Hoogte	9.0 tot 12.0 meter
Lengte vloerveld	5.4 tot 6.0 meter
Breedte vloerveld	9.5 meter
Constructietype	Meerdere varianten: <ul style="list-style-type: none"> • Kalkzandsteen en metselwerk • Prefab of i.h.w.g. betonnen skelet
Fundering	Op palen, 10 meter lang, 0.25 x 0.25 m (A, B, C) en 0.35 x 0.35 (D en E)



Figuur 3 Doorsnede bebouwing ter hoogte van blok D en E

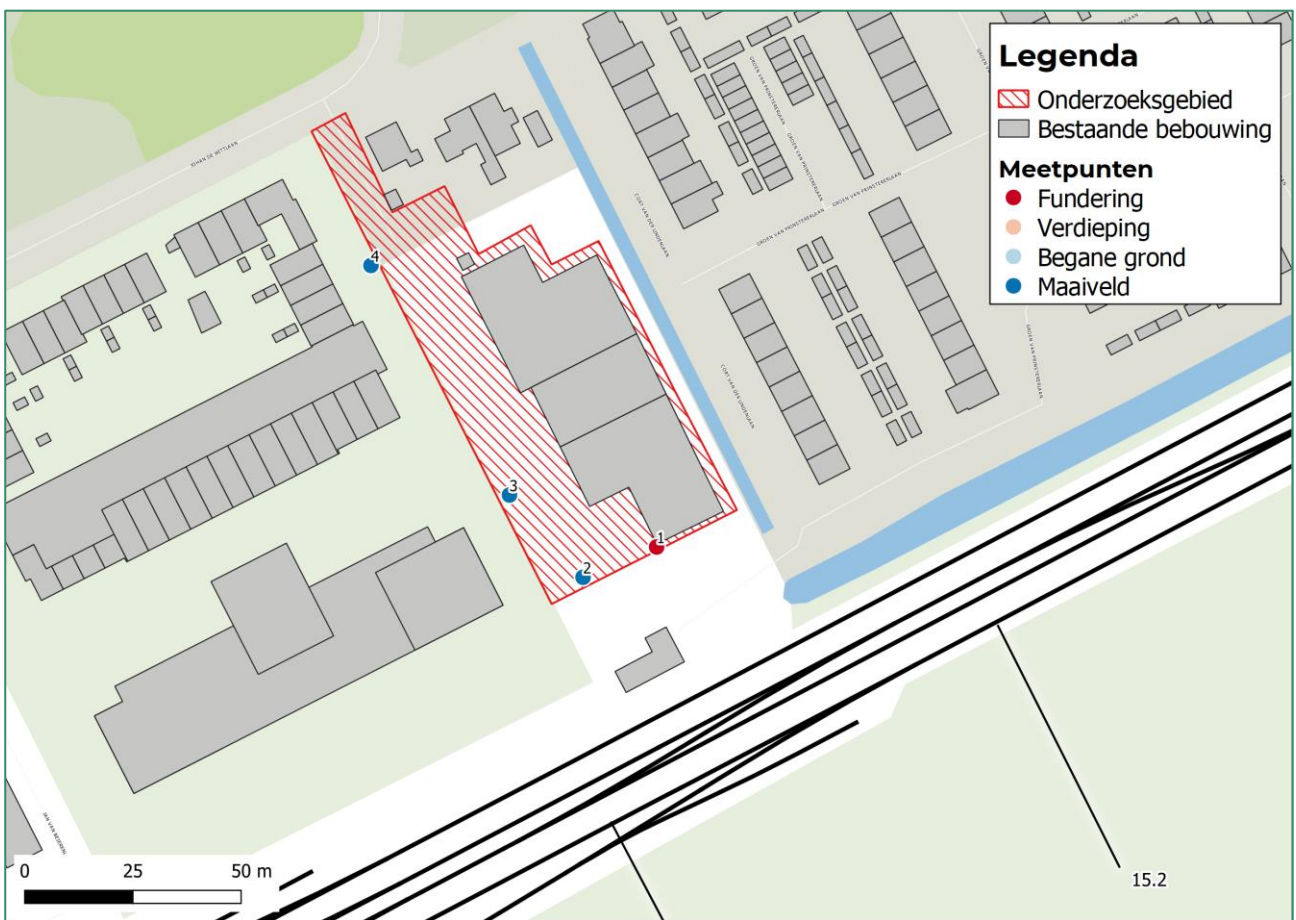


2.2.2. GEGEVENS ONDERGROND

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

2.2.3. MEETRESULTATEN

Zoals te zien in Figuur 4 zijn door Alcedo op vier locaties metingen uitgevoerd. Het gaat hierbij om drie locaties op het maaiveld en een meting aan de fundering van een bestaande loods. De metingen zijn uitgevoerd van 19 november 2021 tot 26 november 2021.



Figuur 4 Meetpunten



BEOORDELINGSKADER



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



BEOORDELINGSKADER

3.1. BEOORDELINGSKADER

Er bestaat in Nederland geen wettelijk kader voor de beoordeling van trillingshinder in gebouwen. Wel geldt dat in het kader van een goede ruimtelijke ordening kan worden verzocht om trillingen mee te nemen bij de wijziging van bestemmingsplannen waar trillingen een rol kunnen spelen. Op basis van jurisprudentie wordt al enkele decennia gebruik gemaakt van de SBR-richtlijn om trillingen in gebouwen te beoordelen.¹

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

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

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

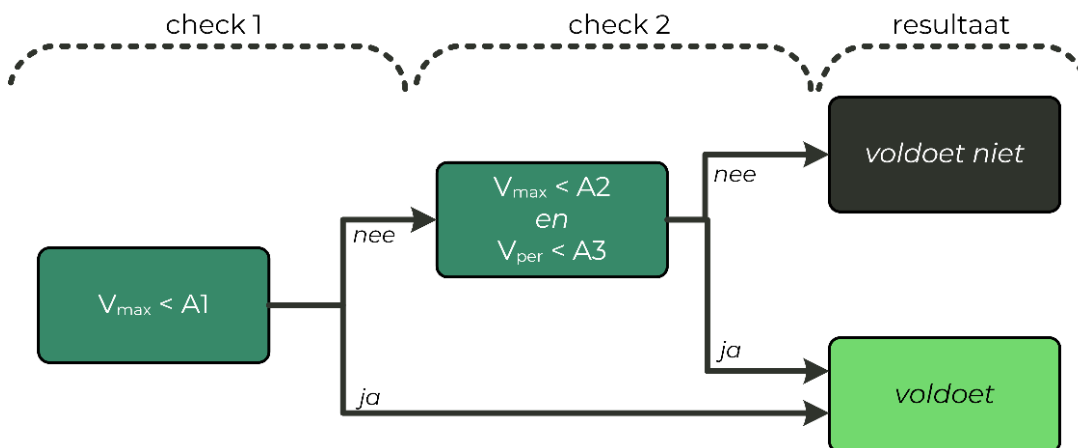
Een woning kan op twee manieren voldoen aan de richtlijn: de trillingssterkte V_{max} moet lager zijn dan de onderste streefwaarde A1 (zie Tabel 3), óf V_{max} moet lager zijn dan de bovenste streefwaarde A2, waarbij tegelijkertijd de trillingsintensiteit V_{per} lager is dan de streefwaarde A3. Zie ook het schema in Figuur 5.

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.



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

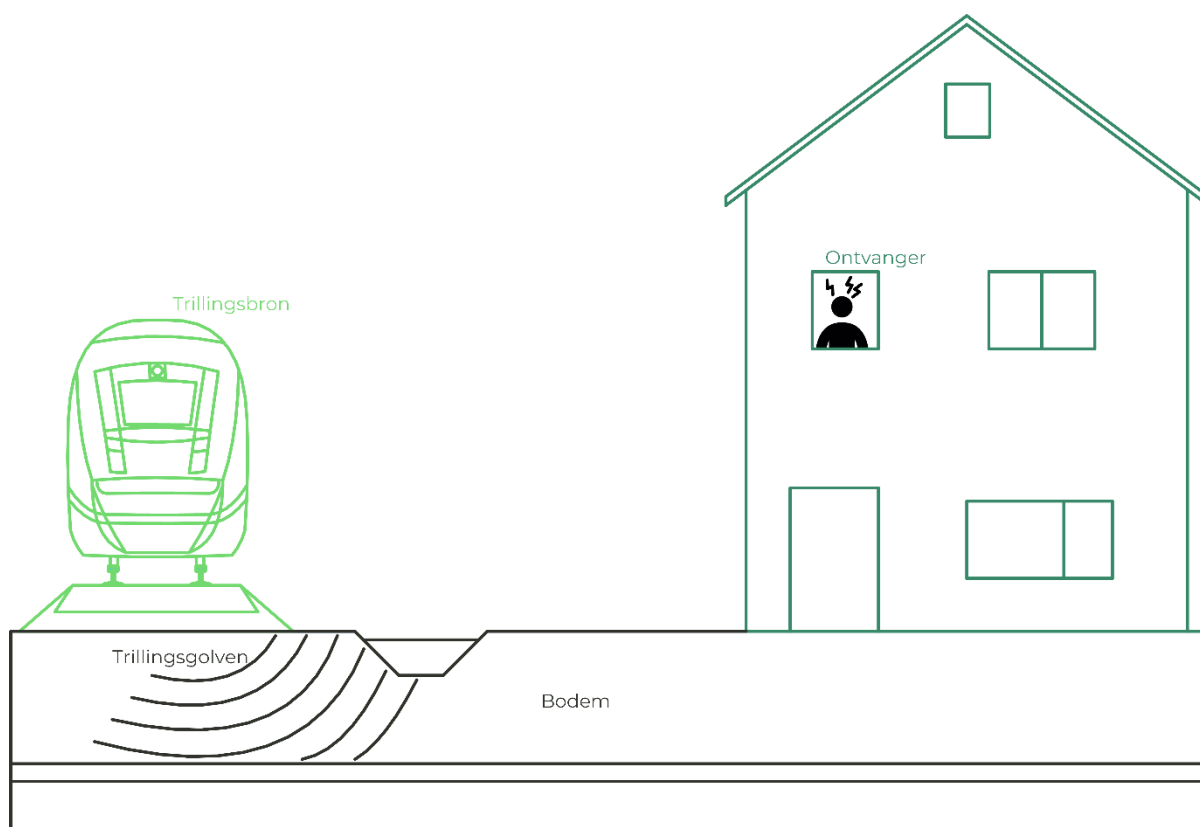
3.2. REKENMETHODE

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 in de omgeving van de bebouwing (op maaiveld en 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-efeen 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

3.2.2. DE TRILLINGSBRON

In dit onderzoek zijn treinen de bron van de trillingen. De trillingen van het treinverkeer zijn gemeten door Alcedo op meerdere punten op maaiveld in het plangebied en aan de fundering van bestaande bebouwing, dichtbij het spoor. 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 voornamelijk uit slappe klei- en veenlagen, met daaronder een stijver zandpakket, zie bijlage I. De uitdemping van de trillingen met de afstand is bepaald met een rekenmodel op basis van deze bodemopbouw voor een zo betrouwbaar mogelijke predictie van de trillingen.

3.2.4. HET GEBOUW

De trillingen gaan via de fundering een gebouw binnen. Afhankelijk van het type fundering, de bodem, de massa en afmetingen van het gebouw zal de fundering de trillingen meer of minder uitdempen. Vervolgens worden de trillingen in het gebouw weer versterkt door bewegingen van het gebouw en de vloeren. Het gebouwgedrag is in dit onderzoek bepaald op basis van de bodemopbouw, een aantal mogelijkheden voor de constructieve eigenschappen en voor de gebruikte materialen van de gebouwen. Hiervoor maken we gebruik van het rekenmodel Buildyn, een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin het gebouw gemodelleerd en doorgerekend wordt. De resultaten van het model zijn geïkt 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 geplande bebouwing gegeven. Hierbij is gebruik gemaakt van de beoordelingsmethode en de rekenmethodiek zoals toegelicht in het voorgaande hoofdstuk.

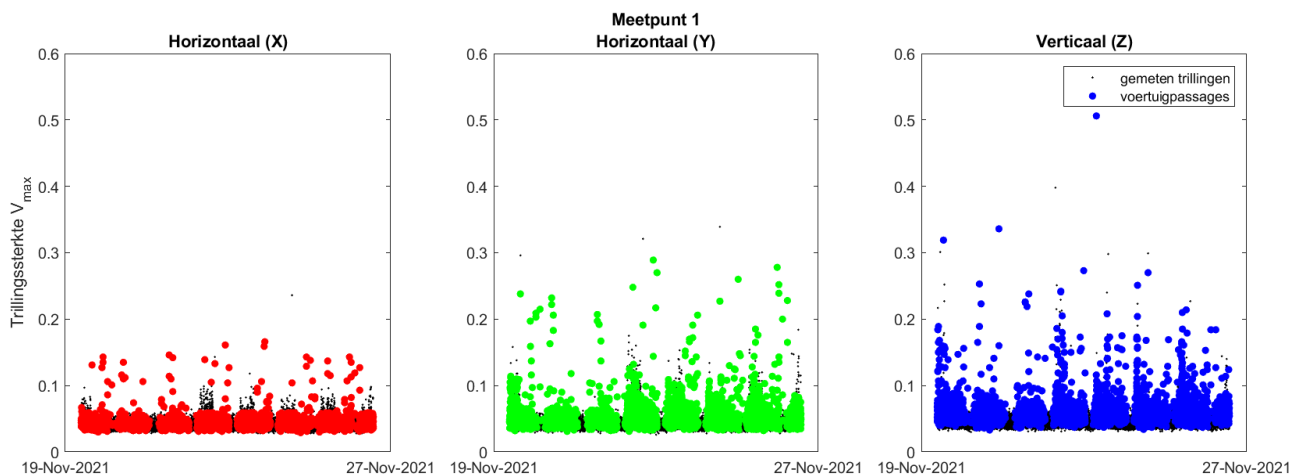


VERWACHTE TRILLINGEN IN DE WONINGEN

4.1. MEETRESULTATEN

Alcedo heeft metingen uitgevoerd op maaiveld en aan de fundering van het bestaande gebouw. De trillingen op het meetpunt aan de fundering 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 van de reizigerstreinen zijn niet hoger dan ca. 0.1 aan de fundering van het bestaande pand. Dit pand staat op vergelijkbare afstand tot het spoor als de geplande nieuwbouw.
- ▶ De hoogste trillingen zijn afkomstig van goederentreinen, waarbij de trillingen in verticale richting maatgevend zijn. Opvallend is hierbij een afwijkende trein (0.5), die ongeveer een factor 2 hogere trillingen geeft dan de andere goederentreinen. De trillingen van goederentreinen zijn gemiddeld een factor 3 hoger dan de trillingen van reizigerstreinen.



Figuur 7 Gemeten trillingen aan fundering bestaand pand, treinpassages zijn als gekleurde stippen weergegeven

4.2. TRILLINGEN IN GEPLANEDE NIEUWBOUW

De geplande bebouwing is gemodelleerd op basis van de informatie uit Tabel 2. Het (frequentieafhankelijke) gedrag van de geplande bebouwing 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 resultaten hebben we weergegeven in Tabel 4, samen met een beoordeling van de trillingen. De trillingen zijn weergegeven als een bandbreedte, omdat de afstanden tot het spoor en de eigenschappen van de bouwblokken variëren. Oranje arcering geeft aan dat er sprake is van een overschrijding van de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn.



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

Bouwblok	V_{\max}	V_{per}	Beoordeling
A (vrijstaande woning)	0.1 – 0.2	0.00 – 0.01	Voldoet
B (rijwoningen)	0.2 – 0.3	0.01 – 0.02	Voldoet, incidentele overschrijdingen mogelijk
C (rijwoningen)	0.2 – 0.3	0.01 – 0.02	Voldoet, incidentele overschrijdingen mogelijk
D (stadswoningen)	0.3 – 0.4	0.01 – 0.02	Voldoet niet, maximaal 2 overschrijdingen per week
E (stadswoningen)	0.5	0.03 – 0.04	Voldoet niet, 1 tot 2 overschrijdingen per dag

De resultaten zijn grafisch weergegeven in Figuur 8 tot en met Figuur 10 voor de bovengrens van de berekening (dus voor meest trillingsgevoelige constructie). Samengevat geldt het volgende:

- In bouwblok A wordt voldaan aan de streefwaarden.
- In bouwblokken B en C wordt ook voldaan aan de streefwaarden, maar incidenteel (ca. 1 keer per week) zijn de trillingen wel hoger dan de strenge streefwaarde voor de nacht. Bij een andere dienstregeling van de goederentreinen kunnen hier dus incidentele overschrijdingen zijn (als deze goederentrein met afwijkende trillingssterkte in de nacht gaat passeren).
- In bouwblok D wordt, afhankelijk van de constructieve uitwerking, wel of niet voldaan aan de streefwaarden. Het aantal overschrijdingen is beperkt tot maximaal 2 per week.
- In bouwblok E wordt niet voldaan aan het beoordelingskader, hier is sprake van 1 tot 2 overschrijdingen per dag.

Uit het variantenonderzoek zijn de volgende conclusies te trekken:

- De trillingen zijn lager wanneer de gebouwen stijver worden geconstrueerd. Een betonnen skelet of in het werk gestort betonnen skelet is stijver dan kalkzandsteen en metselwerk, en leidt tot minder overschrijdingen.
- De trillingen zijn ca. 10% lager bij een 260 mm kanaalplaatvloer dan bij een 200 mm kanaalplaatvloer (standaardtype voor deze beukmaat). Door de hogere eigenfrequentie worden de trillingen van de treinen minder versterkt bij een dikkere vloer. Hierdoor zijn de trillingen ook het laagst bij de kortste beukmaten in bouwblok E.
- Een breedplaatvloer leidt, ondanks de hogere demping van dit type vloeren, nauwelijks tot lagere trillingen dan een kanaalplaatvloer.





Figuur 8 Bovengrens van de trillingssterkte V_{max}



Figuur 9 Bovengrens van de gemiddelde trillingssterkte V_{per}





Figuur 10 Beoordeling van de trillingen (bovengrenssituatie)

4.3. ADVIES VOOR MAATREGELAFWEGING

Door de passage van enkele goederentreinen met een hoge trillingssterkte wordt in twee bouwblokken (D en E) niet voldaan aan het beoordelingskader. Daarom is, conform bijlage 5 van de SBR B-richtlijn, een maatregelafweging nodig. In die bijlage 5 van de SBR B-richtlijn zijn hiervoor handvatten opgenomen. 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. Die is laag (V_{per} bedraagt maximaal 0,04, en voldoet daarmee aan de streefwaarde). Er is sprake van een beperkt aantal overschrijdingen, in blok E (dichtst bij spoor gelegen bouwblok) gaat het om maximaal 2 overschrijdingen per dag in de toekomst, na intensivering van het goederenvervoer. In het verder weg gelegen bouwblok D gaat het om maximaal 2 overschrijdingen per week. Het relatief beperkte aantal overschrijdingen in combinatie met het gegeven dat de gemiddelde trillingssterkte V_{per} voldoet aan het beoordelingskader, kan het achterwege laten van een maatregel rechtvaardigen.
2. De aanwezigheid van achtergrondtrillingen die de trillingen van het treinverkeer kunnen maskeren. Daar is hier geen sprake van, er zijn geen andere relevante trillingsbronnen in de nabijheid van het plangebied.
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.

Om vast te stellen of er doelmatige maatregelen zijn, adviseren we om zowel naar maatregelen in het spoor of aan de treinen, in de bodem als aan de bebouwing te kijken. Door per maatregel een inschatting te maken van het effect, de kosten en de risico's, kan worden afgewogen of de meerkosten van de maatregel opwegen tegen de daarmee behaalde afname van de hinder, en of de maatregel daarmee doelmatig wordt geacht.

In het afwegen van de doelmatigheid van optimalisaties en maatregelen, kunnen, naast de kosten en impact op het realisatieproces, de volgende trillingsaspecten worden meegewogen:

- ▶ Het gaat om een beperkt aantal overschrijdingen (maximaal 2 per dag, na intensivering van het goederenvervoer) in de stadswoningen in blok E, die het dichtst bij het spoor liggen. In de verder weg gelegen woningen zijn de trillingen lager en is vaak maar sporadisch sprake van overschrijdingen. De trillingen van de meeste goederentreinen en alle reizigerstreinen voldoen wel aan het beoordelingskader.
- ▶ De trillingen voldoen weliswaar niet aan de strenge streefwaarden voor nieuwbouw uit de SBR B-richtlijn, maar wel aan de soepeler streefwaarden voor bestaande situaties uit de SBR B-richtlijn. In die soepeler streefwaarden voor bestaande situaties is een zekere mate van gewenning meegenomen.
- ▶ De woningen worden gerealiseerd in een zone dichtbij het spoor, waar nu ook al bebouwing is gerealiseerd die dicht bij het spoor ligt. Het gaat bovendien om oude, meer trillingsgevoelige bebouwing, waar de trillingen dus hoger zullen zijn dan in de nieuwe woningen. Ook zonder maatregelen tegen trillingen kan worden beargumenteerd dat er in de geplande bebouwing daarom geen onacceptabele situatie ontstaat: de trillingen zijn immers lager dan in andere, al bestaande bebouwing rond deze locatie.

Daarmee kan worden gemotiveerd dat ook zonder maatregelen geen onaanvaardbaar woon- en leefklimaat ontstaat op de planlocatie.

4.4. 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. 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. Door op meerdere punten te meten is de invloed van deze variaties meegenomen in de berekeningen. Bovendien is op diverse afstanden van het spoor gemeten. De invloed van de onzekerheid in de bodem is daarmee meegenomen in de analyse, de impact op de resultaten is daardoor beperkt.
- ▶ Ten aanzien van de gebouwen geldt dat er altijd verschillen zijn tussen het beoogde ontwerp en het gerealiseerde ontwerp (verschillen tussen as-built en definitief ontwerp). Bovendien is het dynamische gedrag van bijvoorbeeld beton afhankelijk van de mate van gescheurdheid van het beton en zijn er natuurlijke variaties in materiaalgedrag (van bijvoorbeeld hout, metselwerk en beton). In de berekeningen is gerekend met een verwachtingswaarde van de



trillingen op basis van een aan de hand van praktijkmetingen geïkt rekenmodel. Hiermee wordt een resultaat verkregen dat representatief is voor de toekomstige situatie.

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

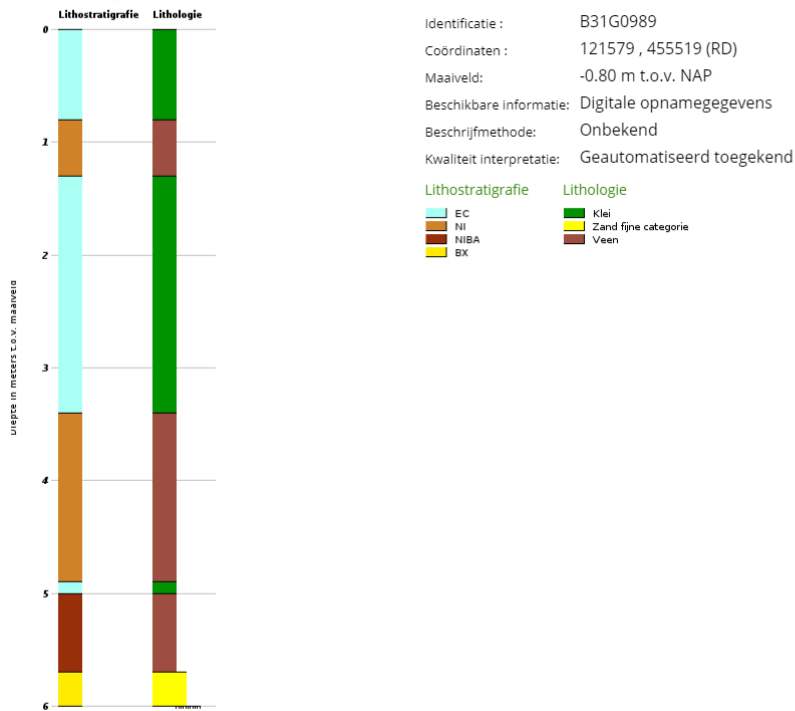


GRONDONDERZOEK

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.

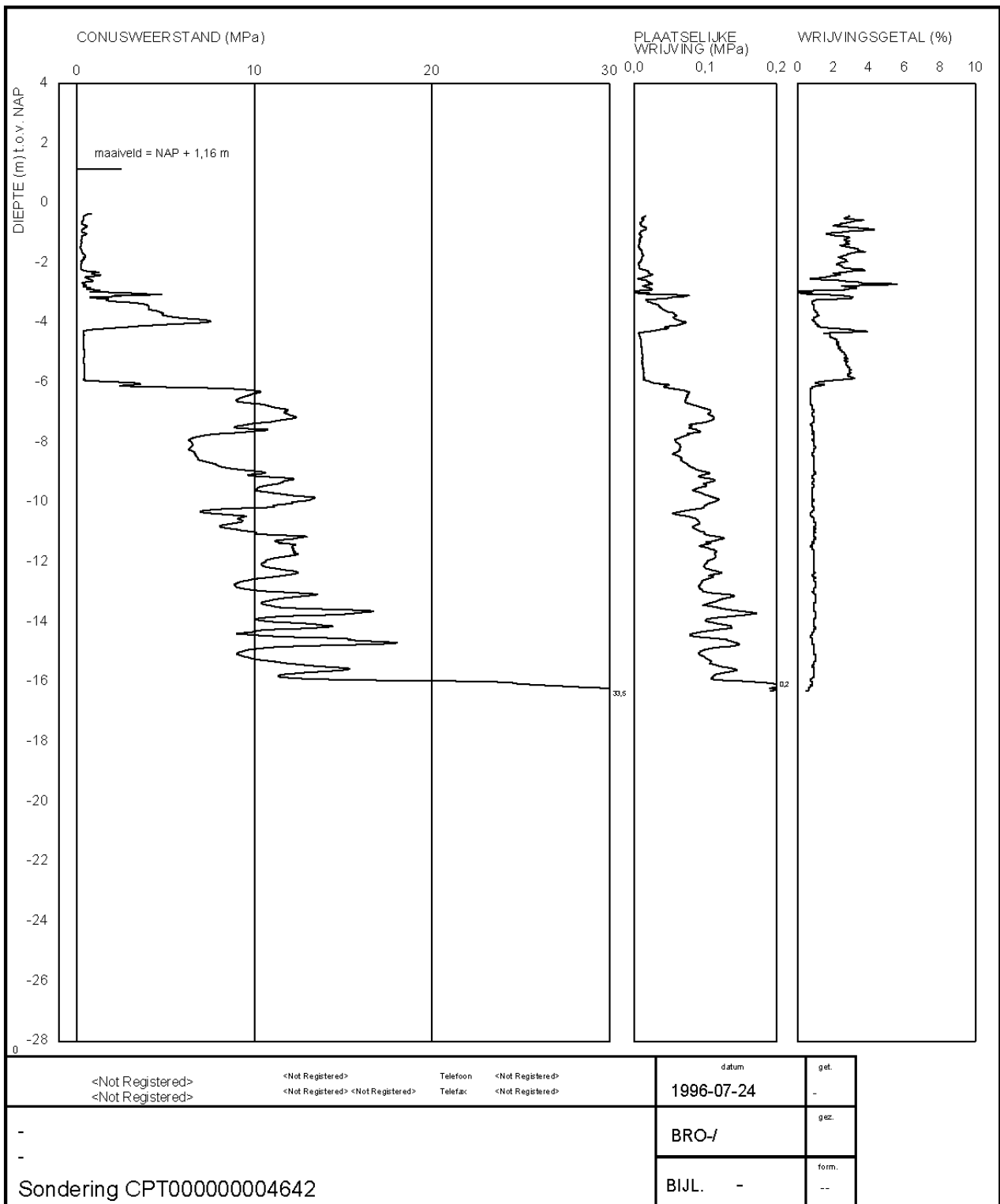
Een grondboring in de nabijheid van het onderzoeksgebied is weergegeven in Figuur 11. In deze boring is de bodem in de eerste meters opgebouwd uit klei- en veenlagen, vanaf ca. 6 meter diepte komen stijvere zandlagen voor.

Boormonsterprofiel



Figuur 11 Boring nabij het onderzoeksgebied

Een representatieve sondering uit de nabijheid van het onderzoeksgebied, waarin onder meer de conusweerstand te zien is, is weergegeven in Figuur 13. Ook hier is te zien dat de bovenste ca. 6 meter van de bodem vooral uit slappere lagen bestaat, met daaronder stijvere zandlagen. De dikte van het bovenste slappe pakket wisselt, als verschillende sonderingen worden beschouwd.



Figuur 12 Sondering nabij het onderzoeksgebied



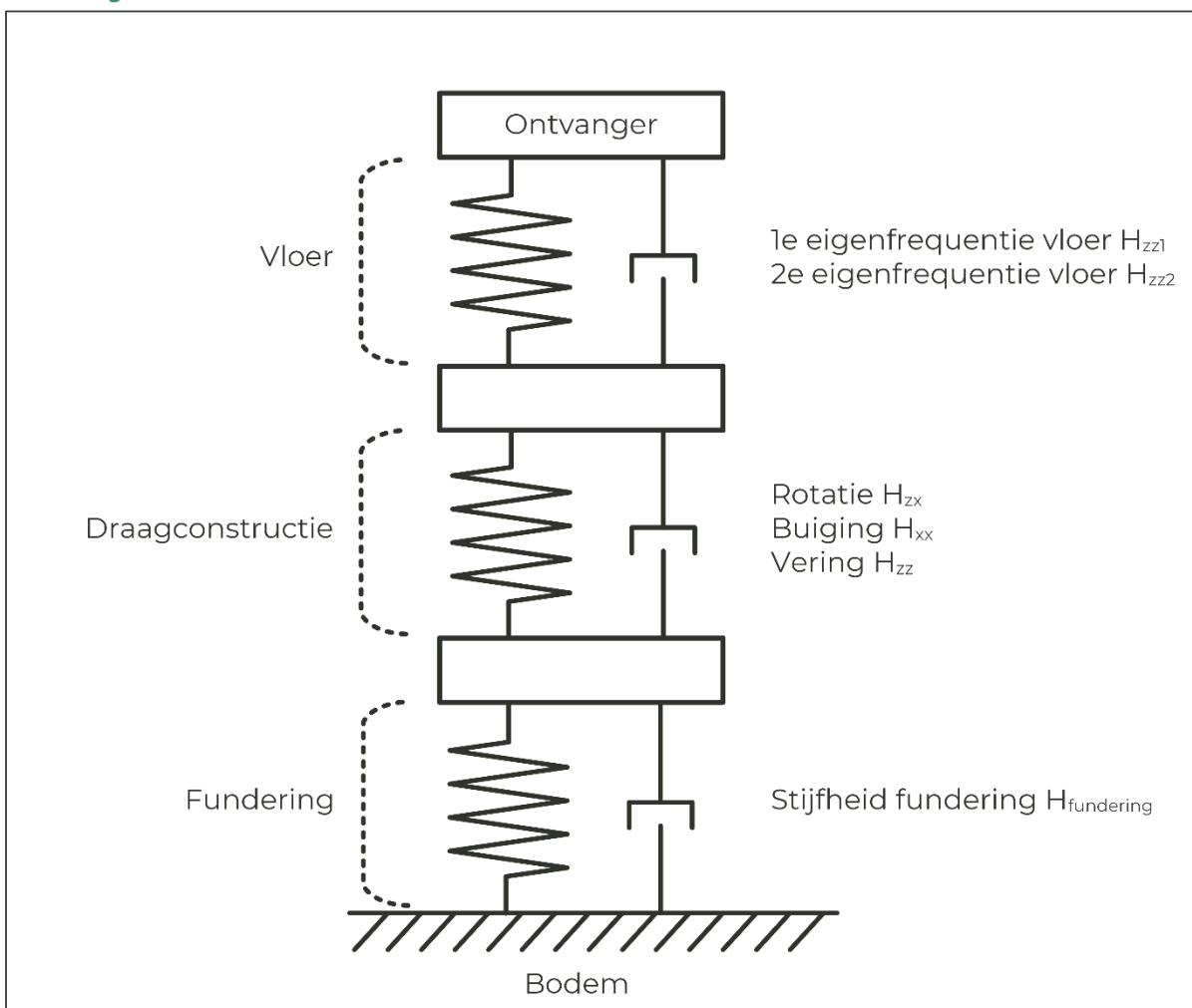
||| GEBRUIKT REKENMODEL

In dit rapport is gebruik gemaakt van het 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 met behulp van een algoritme gemodelleerd op basis van praktijkresultaten (meer dan 200 metingen in gebouwen). Daarmee wordt een nauwkeurigheid verkregen die vaak beter is dan een eindige elementenmodel, omdat de resultaten zo sterk leunen op de praktijk (terwijl een eindige elementenmodel zeer gevoelig is voor de gebruikte input t.a.v. bijv. demping en stijfheden).

In Buildyn wordt een gebouw gemodelleerd door middel van gekoppelde massa-veersystemen, zie Figuur 14. De verschillende componenten van het model, zoals weergegeven aan de rechterzijde van Figuur 14, worden in deze bijlage nader toegelicht.

Buildyn

WVB



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 uitdempnen. 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 worden trillingen 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 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.

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

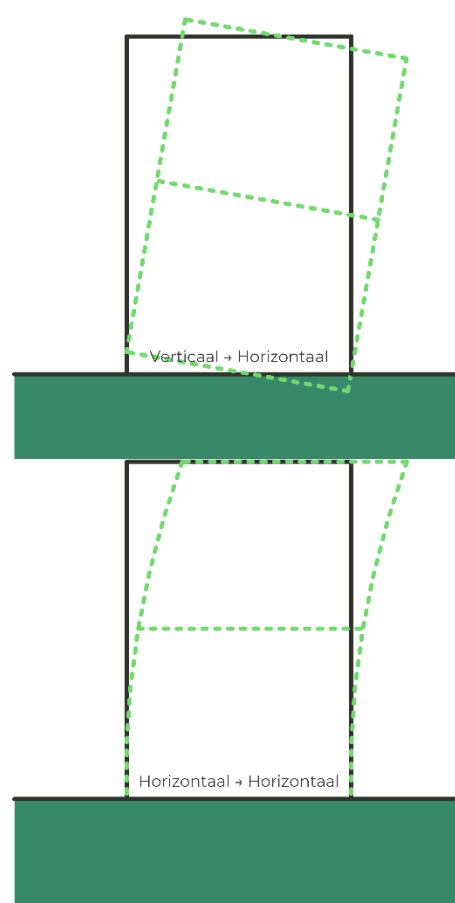
Dit effect noemen we H_{zx} , en is afhankelijk van:

- 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.

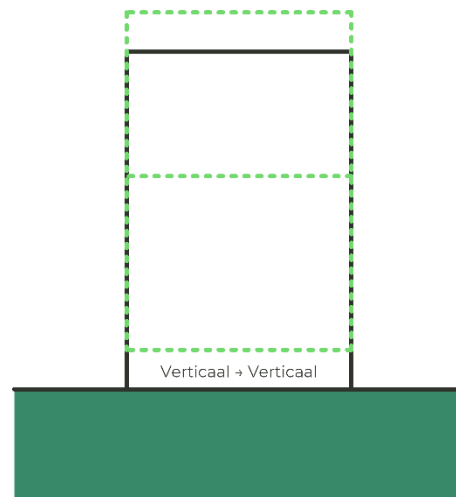
Dit effect noemen we H_{xx} , en is afhankelijk van:

- 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. Dit effect noemen we H_{zz} , en is afhankelijk van:

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



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.

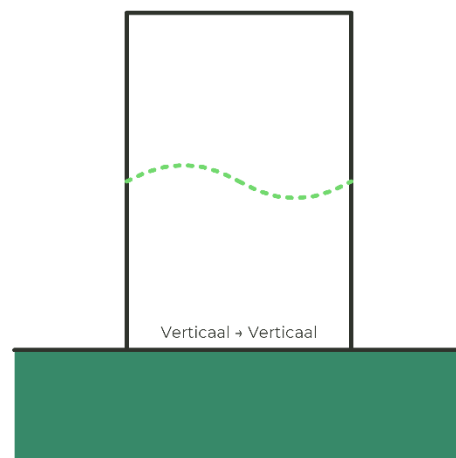
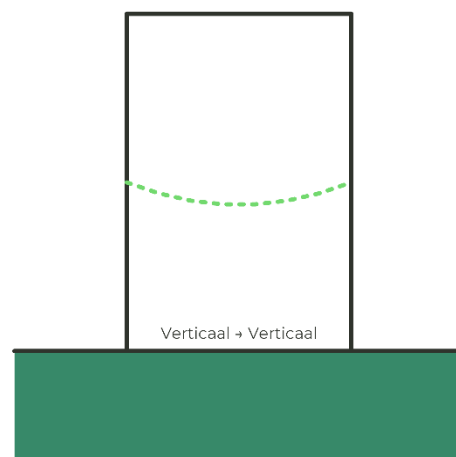
Dit effect noemen we H_{zz1} , en is afhankelijk van:

- 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.

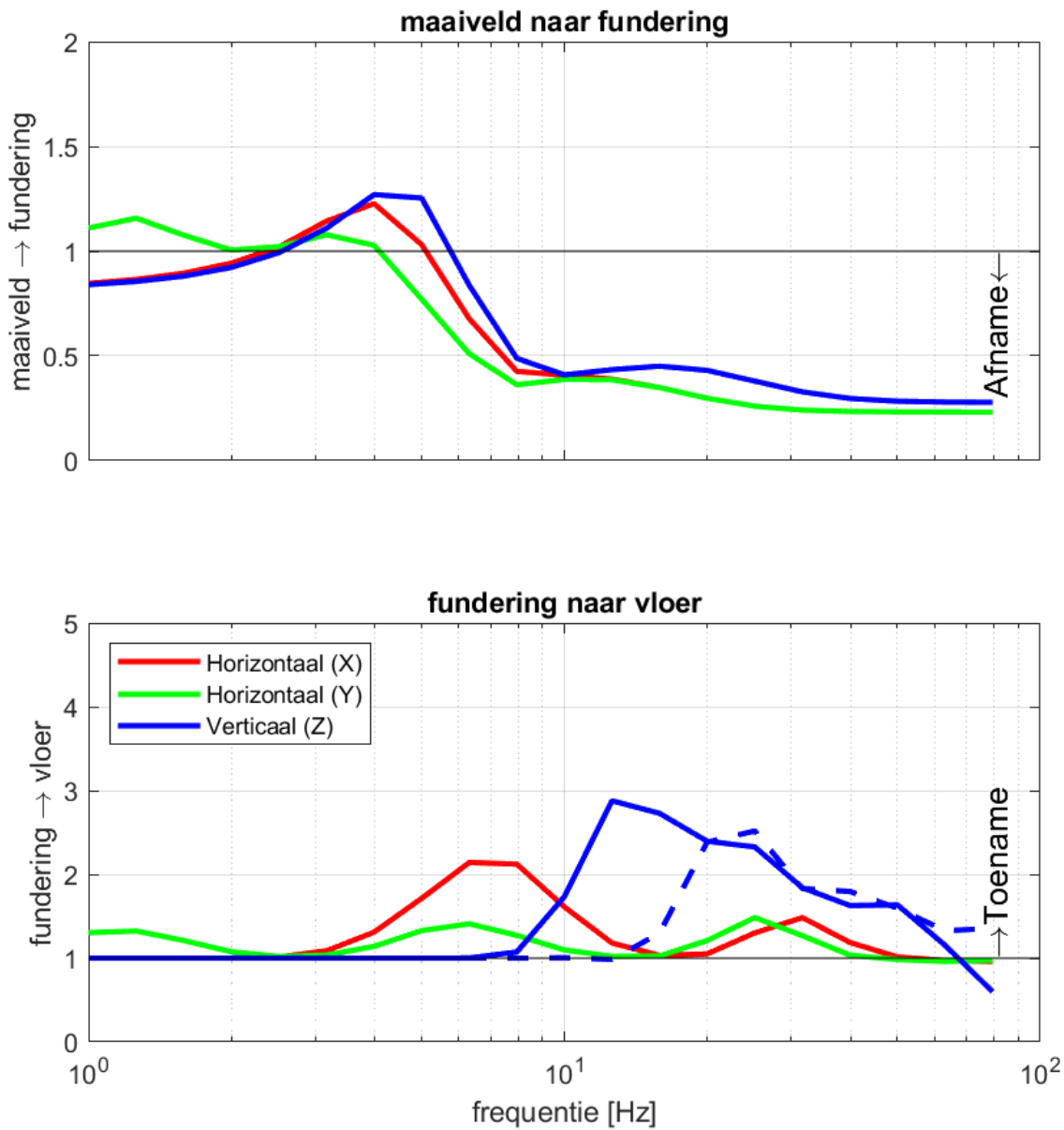
Dit effect noemen we H_{zz2} , en is afhankelijk van dezelfde parameters als H_{zz1} .

Uiteindelijk zorgen alle gebouw bewegingen 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 een van de doorgerekende varianten voor blok E weergegeven in Figuur 14.

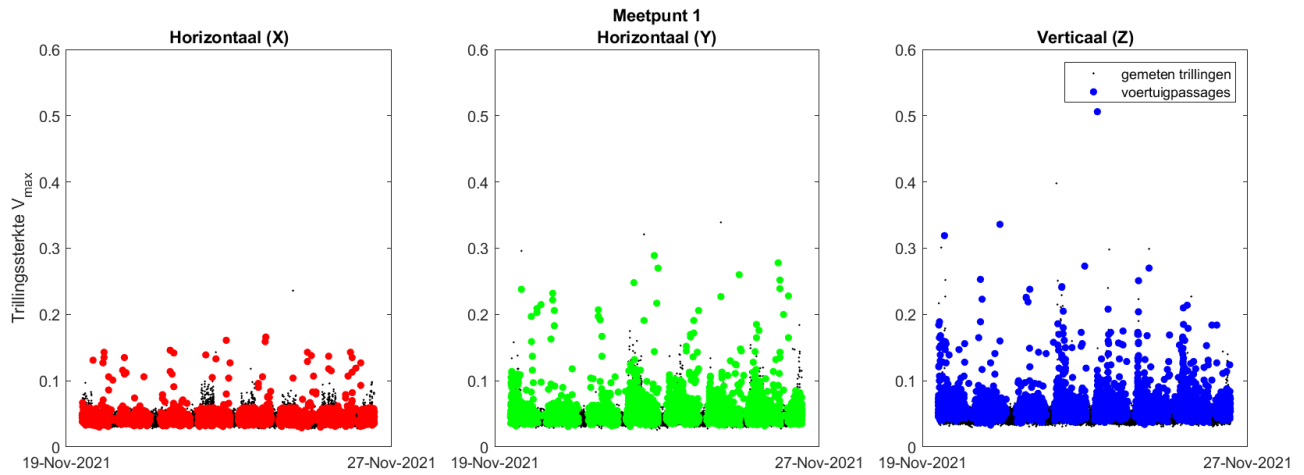


Figuur 14 Buildyn-resultaten voor stadswoning in blok E

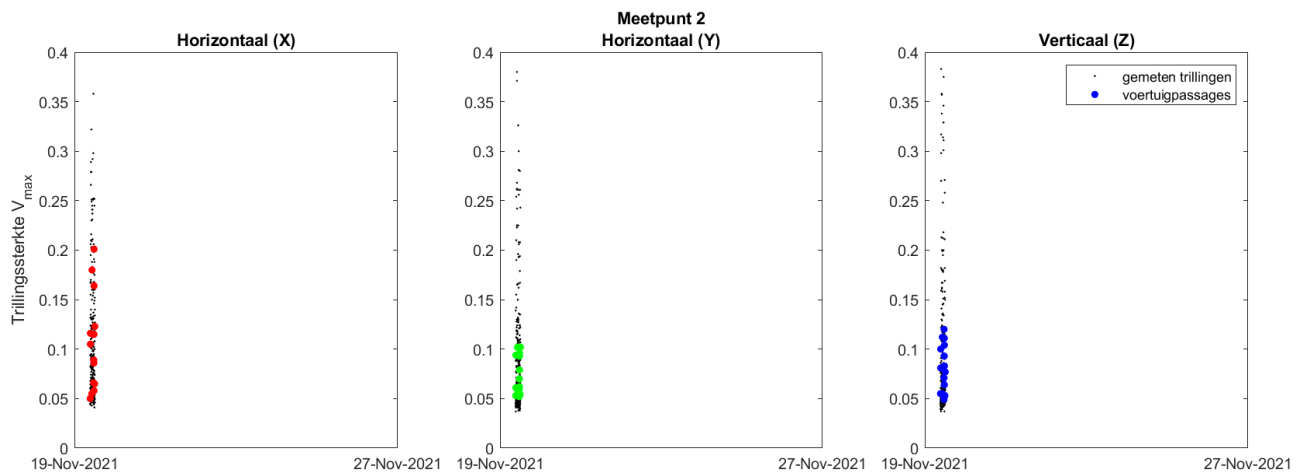


RESULTATEN METINGEN

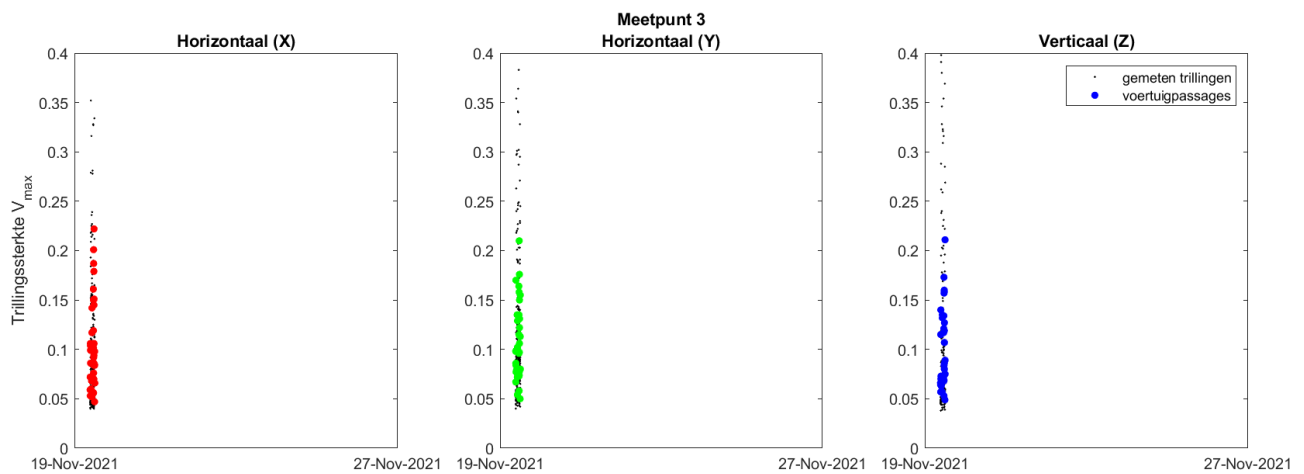
Deze bijlage bevat de resultaten van de metingen van Alcedo. Per meetpunt zijn de gemeten trillingen en de tertsbandspectra per treinpassage weergegeven.



Figuur 15 Gemeten trillingen bij meetpunt 1 (35 meter, fundering bestaande bebouwing)

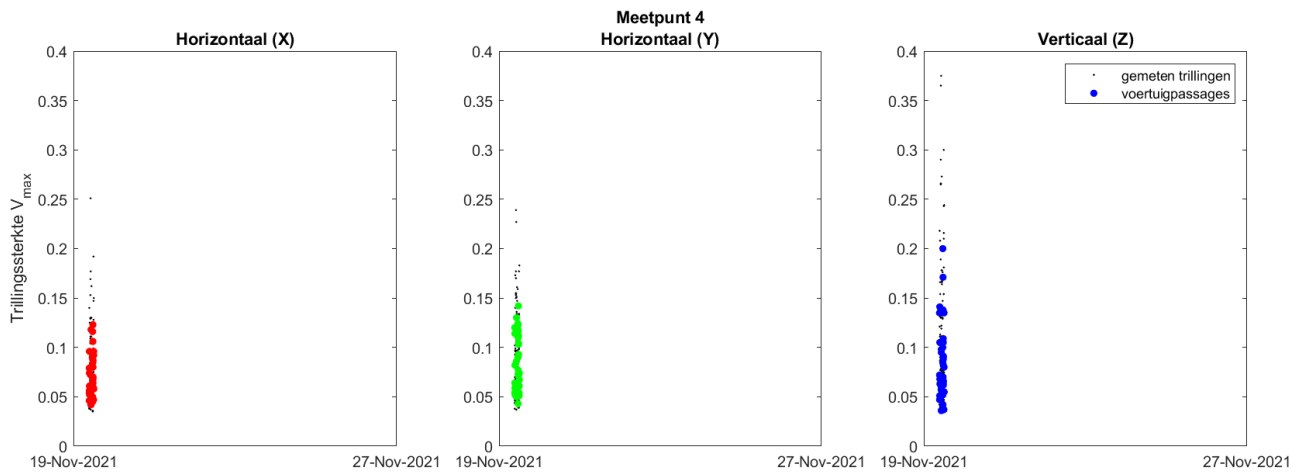


Figuur 16 Gemeten trillingen bij meetpunt 2 (35 meter, maaiveld)

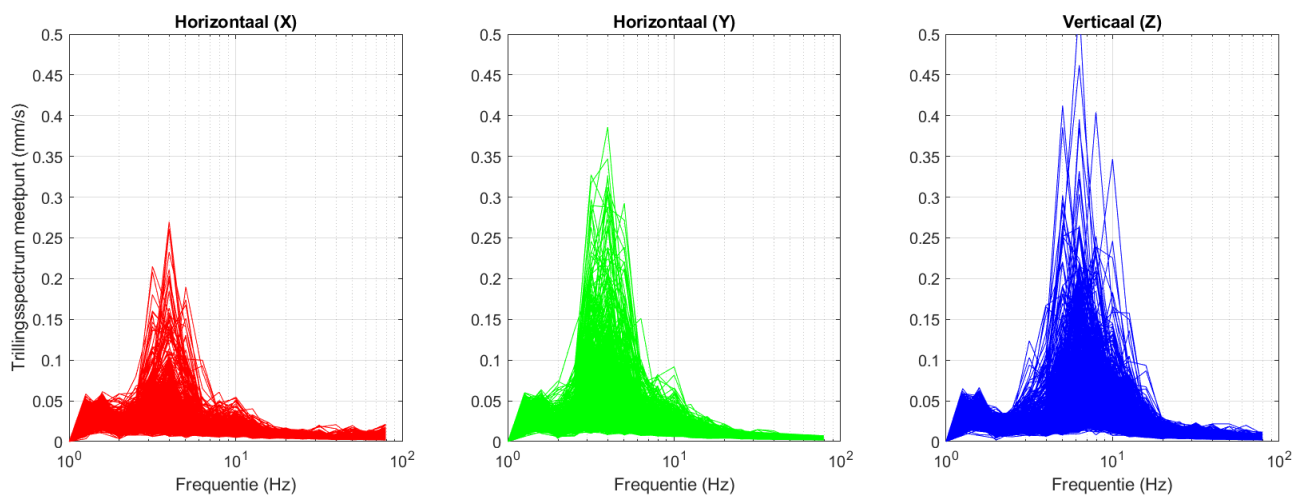


Figuur 17 Gemeten trillingen bij meetpunt 3 (61 meter, maaiveld)

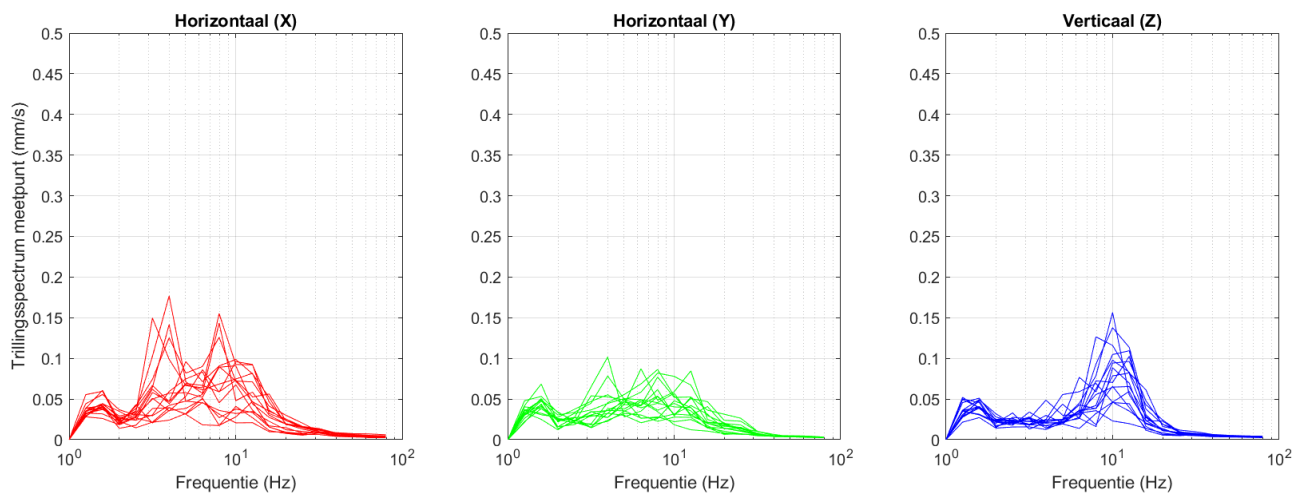




Figuur 18 Gemeten trillingen bij meetpunt 4 (123 meter, maaiveld)

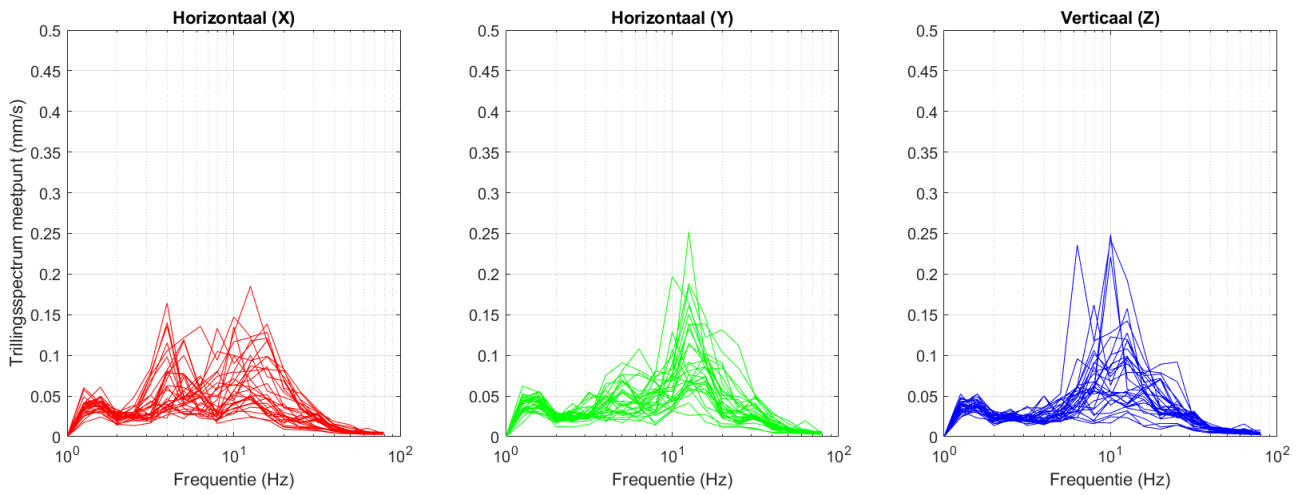


Figuur 19 Tertsbandspectra bij meetpunt 1

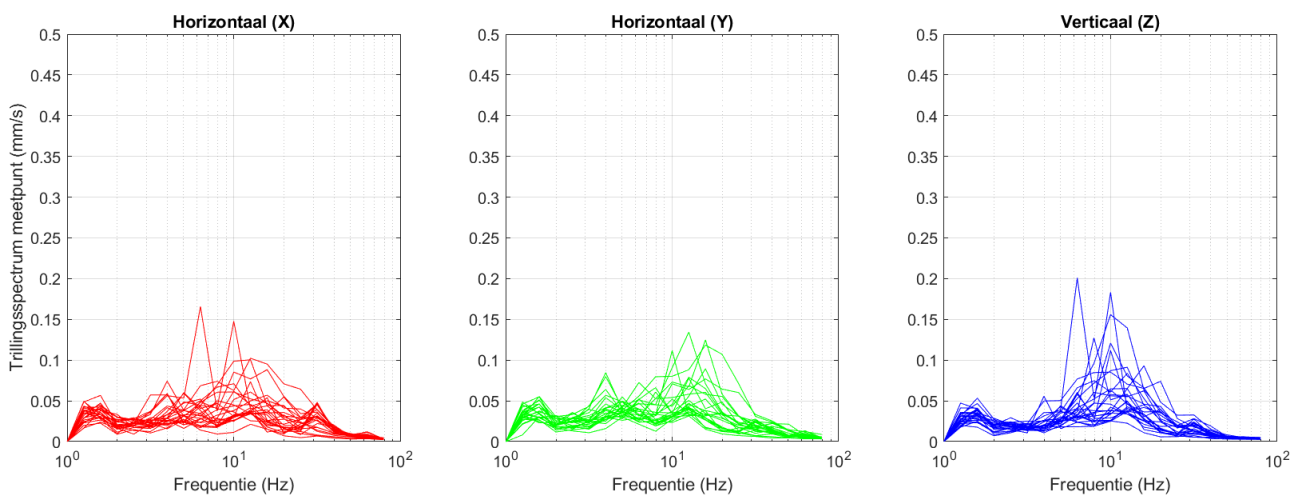


Figuur 20 Tertsbandspectra bij meetpunt 2



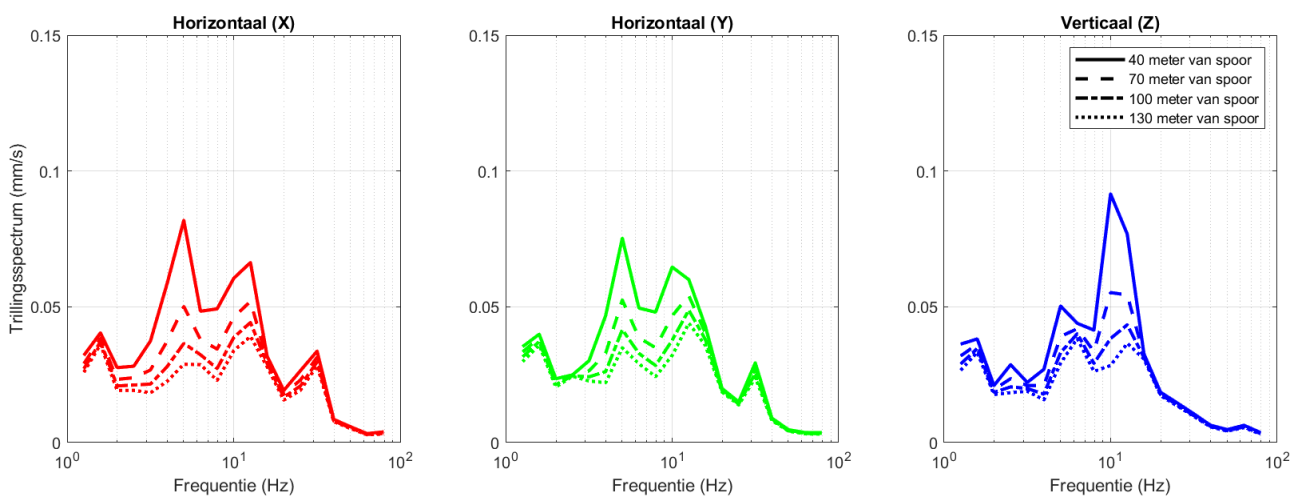


Figuur 21 Tertsbandspectra bij meetpunt 3



Figuur 22 Tertsbandspectra bij meetpunt 4

De gemiddelde trillingsspectra op 40, 70, 100 en 130 meter van het spoor zijn weergegeven in Figuur 23.



Figuur 23 Gemiddelde trillingsspectra op 40, 70, 100 en 130 meter van het spoor

