

TERBORCHSTRAAT 13

Trillingsonderzoek



Managementsamenvatting

AIG Care Concepts realiseert een zorgvilla in de nabijheid van station Zwolle aan de Terborchstraat 13. Het gebouw wordt op relatief korte afstand van het spoor (spoorlijn Lelystad/Kampen/Amersfoort – Meppel/Emmen/Wierden/Deventer) gerealiseerd. Gezien deze afstand tot het spoor kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet *op voorhand* worden uitgesloten. In het voorliggende onderzoek stellen we vast of er sprake zal zijn van trillingshinder in de geplande bebouwing, en zo ja, met welke maatregelen deze hinder is te voorkomen.

Uit het uitgevoerde onderzoek volgt dat er geen overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder worden verwacht in de geplande zorgvilla aan de Terborchstraat 13 in Zwolle.

Door de grote afstand tot het spoor en de lage rijsnelheid van de (vrijwel allemaal stoppende) treinen zijn de trillingen van de meeste treinen lager dan de achtergrondtrillingen (van bijv. lokaal verkeer). Bovendien wordt het gebouw geconstrueerd met relatief veel dempende materialen (metselwerk, breedplaatvloeren) en kent het gebouw voldoende horizontale stijfheid. Hierdoor zijn ook de trillingen van goederentreinen (die tot op grote afstand nog meetbaar zijn) lager dan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Er zijn daarom geen maatregelen of aanpassingen aan de geplande bebouwing nodig om te voldoen aan het beoordelingskader.

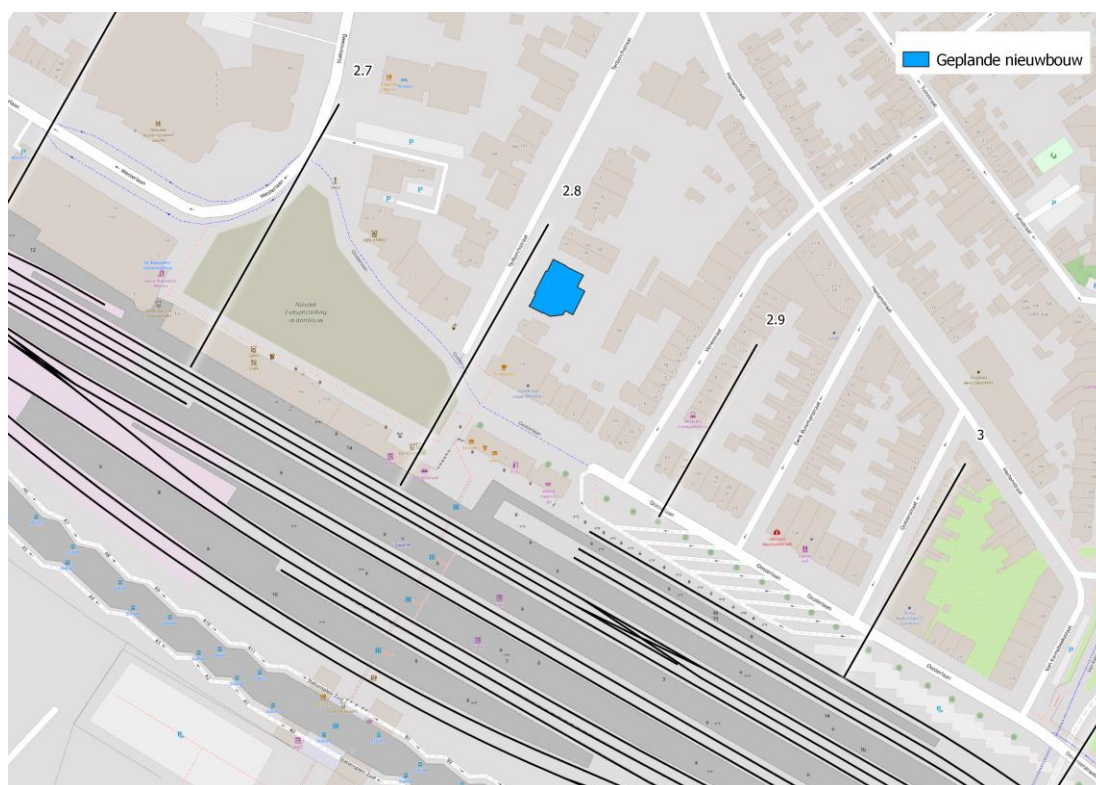
Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doel	4
1.3	Leeswijzer	4
2	Situatie en uitgangspunten.....	6
2.1	Situatie.....	6
2.2	Uitgangspunten	7
3	Beoordelingskader	9
3.1	Beoordelingskader.....	9
3.2	Rekenmethode	10
4	Verwachte trillingen in de woningen	13
4.1	Meetresultaten.....	13
4.2	Trillingen in geplande nieuwbouw	14
4.3	Onzekerheden in het onderzoek	14
5	Conclusies en aanbevelingen.....	16
I	Bijlage Geotechnisch bodemonderzoek.....	17
II	Bijlage Rekenmodel Buildyn.....	19
	Fundering	20
	Draagconstructie	20
	Vloeren	21
	Resultaten	21

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

AIG Care Concepts realiseert een zorgvilla in de nabijheid van station Zwolle aan de Terborchstraat 13. Het gebouw wordt op relatief korte afstand van het spoor (spoorlijn Lelystad/Kampen/Amersfoort – Meppel/Emmen/Wierden/Deventer) gerealiseerd, zie Figuur 1. Gezien deze afstand tot het spoor kan trillingshinder als gevolg van treinverkeer niet *op voorhand* worden uitgesloten.



Figuur 1 Plangebied Terborchstraat 13 in Zwolle

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. Deze trillingen toetsen we aan het van toepassing zijnde beoordelingskader (de SBR B-richtlijn). Als er overschrijdingen van het beoordelingskader worden verwacht, dan geven we aan met welke constructieve aanpassingen of maatregelen wel wordt voldaan aan het beoordelingskader.

1.3 Leeswijzer

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

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

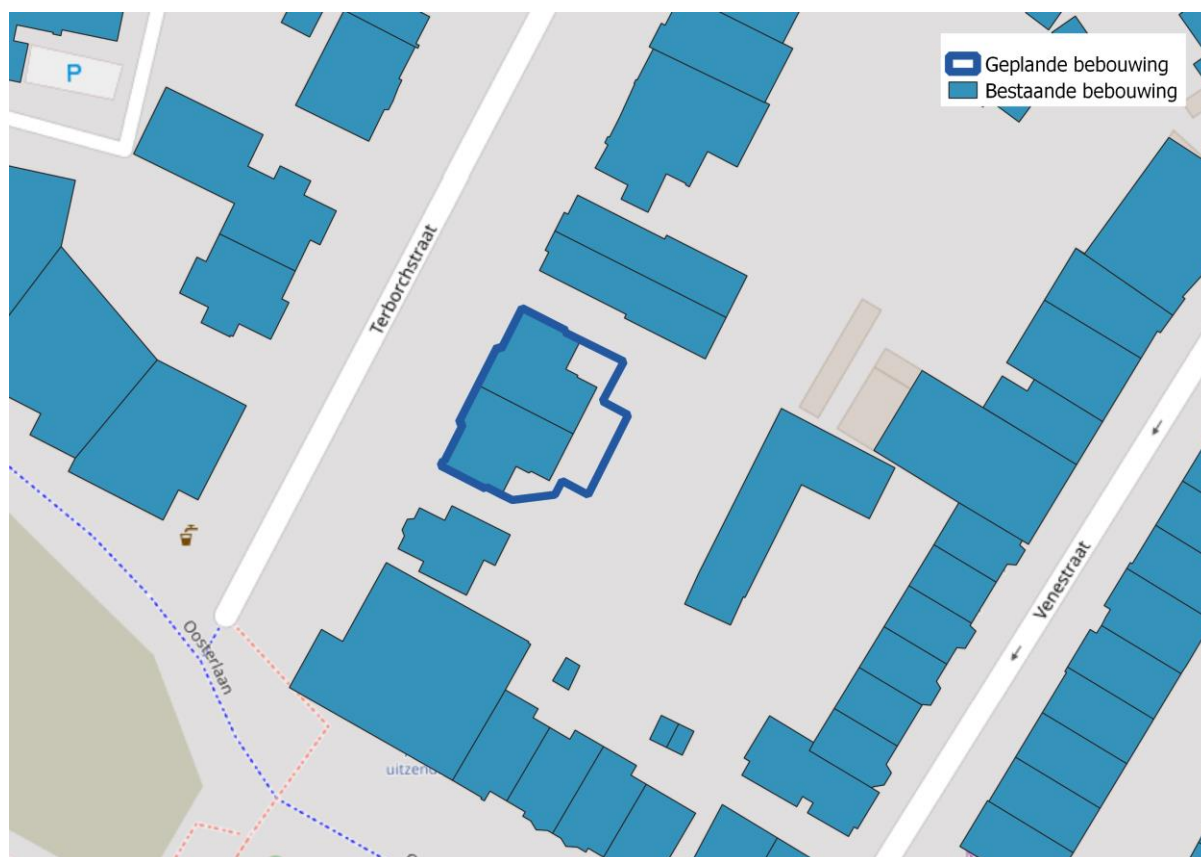
De bijlages bevatten technische informatie van het onderzoek, zoals een toelichting op de rekenmethodiek en grondonderzoek van nabijgelegen locaties en het plangebied.

2 Situatie en uitgangspunten

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

2.1 Situatie

De planlocatie bestaat op dit moment uit een geschakelde kantoorvilla. Deze wordt in dezelfde stijl herbouwd tot een (aan de achterzijde vergrootte) zorgvilla, zie Figuur 2.



Figuur 2 Geplande locaties nieuwbouw

Het plangebied bevindt zich op een afstand van ca. 95 tot 160 meter van de doorgaande sporen. Vrijwel alle treinen (uitgezonderd goederentreinen) stoppen op station Zwolle, er is slechts zeer beperkt sprake van doorgaand treinverkeer. De rijsnelheid van het treinverkeer en het aantal treinen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 1. Deze gegevens zijn gebaseerd op gegevens uit het Geluidsregister Spoor en op gegevens uit het Tracebesluit Zwolle-Herfte (intensiteiten goederentreinen, deze zijn momenteel lager).

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

Type trein	Rijsnelheid	dag (7:00 – 19:00)	avond (19:00 – 23:00)	nacht (23:00 – 7:00)
Sprinter	< 40 km/h	10.75	10.00	3.38
Intercity	< 40 km/h	10.00	10.00	3.25
Goederentrein	60 km/h	0.52	0.57	0.47

Andere trillingsbronnen, zoals lokaal verkeer, kunnen ook voor trillingen zorgen. Bij een relatief vlakke wegoopbouw zijn deze trillingen echter beperkt, bovendien is de Terborchstraat geen doorgaande route voor zwaar vrachtverkeer. Er zal slechts incidenteel vrachtverkeer (alleen als bestemmingsverkeer) passeren.

2.2 Uitgangspunten

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

2.2.1 Gegevens bebouwing

In het plangebied wordt het bestaande gebouw gesloopt, en een vergelijkbaar (aan de achterzijde vergroot) gebouw teruggeplaatst. De constructiegegevens zijn afgeleid van bouwtekeningen met nrs. 1397-BA01 tot 1397-BA21 van 2 augustus 2019, het geotechnisch adviesrapport met ref. 2019-0369-1 van 21 september 2019 en de constructieve berekeningen met ref. 190206-S01 van 6 september 2019. Op basis van deze tekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd voor het geplande gebouw, zie Tabel 2. Het rekenmodel voor de bebouwing is gebaseerd op Tabel 2.

Tabel 2 Eigenschappen bebouwing

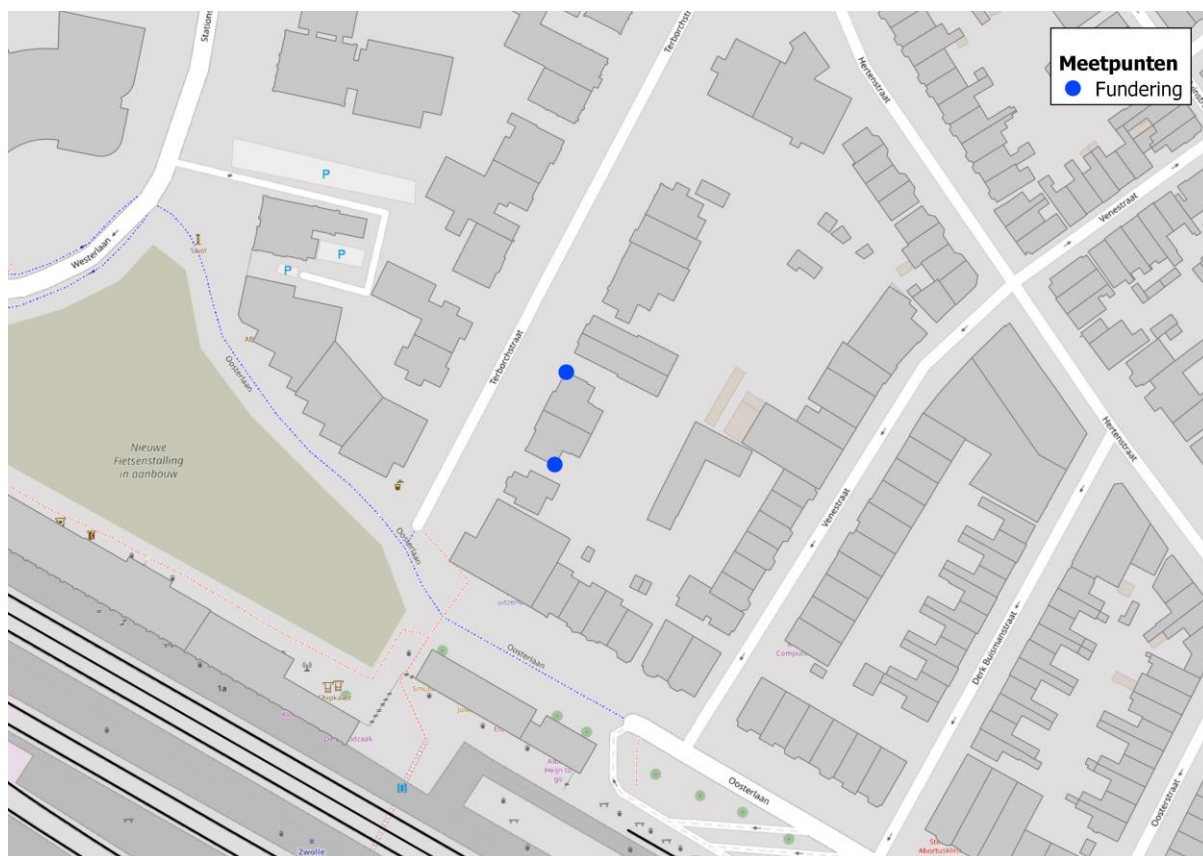
Parameter	Eigenschappen
Vloertype	BG: Geïsoleerde kanaalplaatvloer 200 mm, afwerklaag 100 mm Verdiepingen: Breedplaatvloer 280 mm
Diepte	18.3 m
Hoogte	13.6 m
Lengte vloerveld	4.4 – 5.3 m
Breedte vloerveld	5.2 – 22.3 m
Constructietype	Wanden-vloer (metselwerk en kalkzandsteen)
Fundering	Op mortelschroefpalen
Stijfheid gebouw	Metselwerk, stalen spanten en kalkzandsteen tussenwanden, zie tekeningen

2.2.2 Gegevens ondergrond

Voor gegevens van de ondergrond is gebruik gemaakt van beschikbare boringen en sonderingen uit Dinoloket en het geotechnisch onderzoek met ref. 2019-0369-1 van 21 september 2019, zie Bijlage 1. Deze gegevens zijn gebruikt om de bodemopbouw te modelleren. De bodemopbouw heeft invloed op hoe de trillingen uitdempen met de afstand, en op hoe de gebouwen reageren op trillingen.

2.2.3 Meetresultaten

Door Alcedo zijn metingen uitgevoerd in het onderzoeksgebied op twee punten, aan de voor- en achterzijde van de gevel van het bestaande pand. De metingen zijn uitgevoerd van 25 oktober tot en met 1 november 2019. De meetresultaten uit dit meetonderzoek geven we weer in hoofdstuk 4. De locaties van de meetpunten zijn weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3 Meetpunten aan bestaande bebouwing. Meetpunt aan straatzijde is meetpunt 1, meetpunt aan achterzijde woning (dichtst bij het spoor) is meetpunt 2

3 Beoordelingskader

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

3.1 Beoordelingskader

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

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

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

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

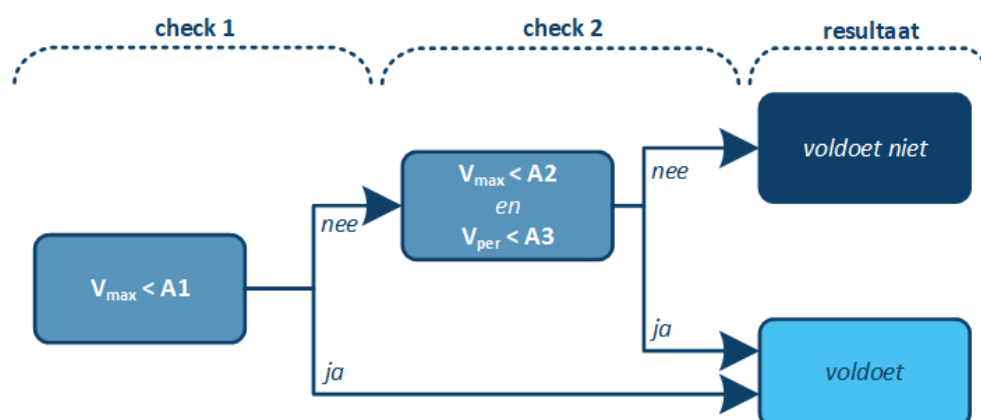
¹ Voor spoorprojecten wordt door ProRail sinds 2012 ook wel gebruik gemaakt van de Bts, deze is afgeleid van de SBR-richtlijn en op aspecten aangescherpt (waaronder een doelmatigheidsafweging en een andere manier om de trillingen vast te stellen). Deze richtlijn wordt echter doorgaans niet gebruikt om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

In het voorliggende geval gaat het om een nieuw gebouw (dus een *nieuwe situatie*) met bestemming *wonen*. De bijbehorende streefwaarden zijn weergegeven in Tabel 3.

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

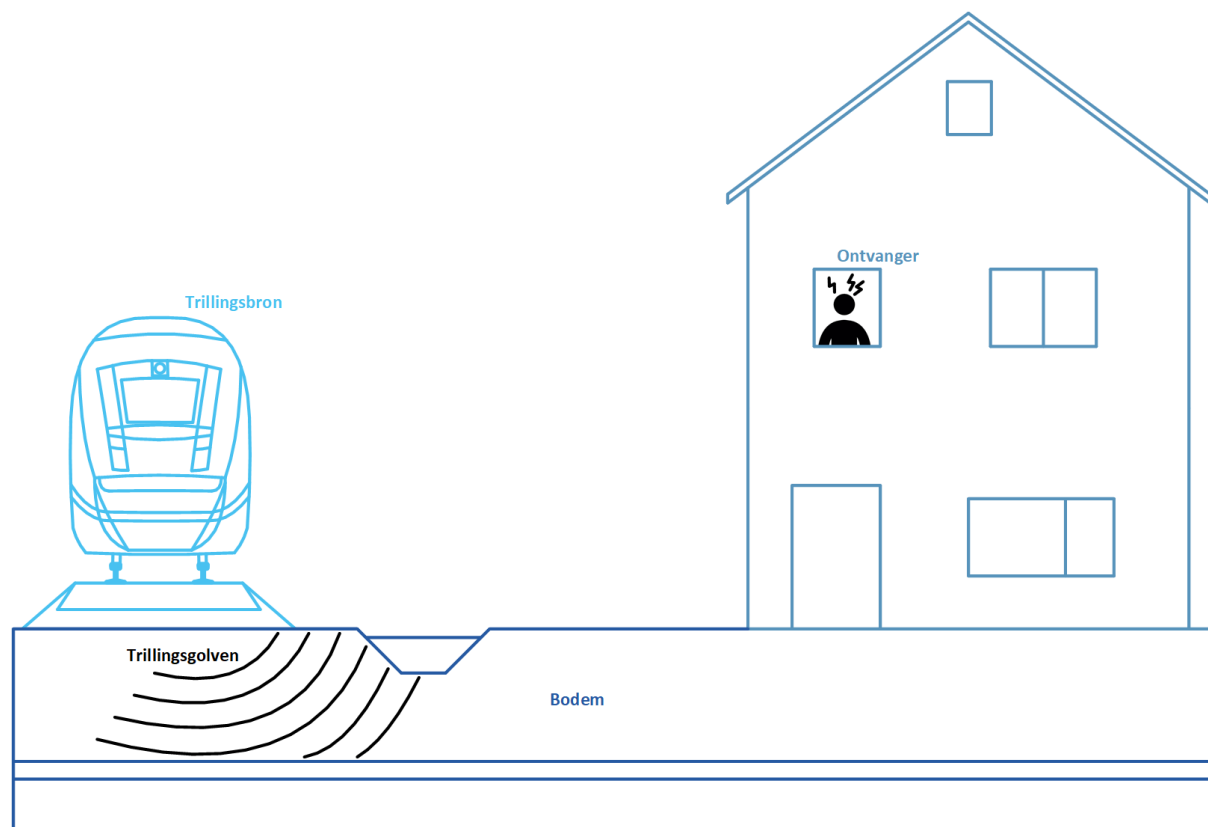
In de SBR-richtlijn deel B worden de trillingen beoordeeld in gebouwen. Omdat het bij dit project gaat om een nog niet gerealiseerd gebouw, wordt op basis van metingen aan het bestaande pand een berekening gemaakt van de verwachte trillingen in het gebouw. Deze verwachte trillingen zijn afhankelijk van de constructieve eigenschappen van het gebouw, 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 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 aan het bestaande gebouw. 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 zandlagen met verschillende stijfheden, zie bijlage 1. 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

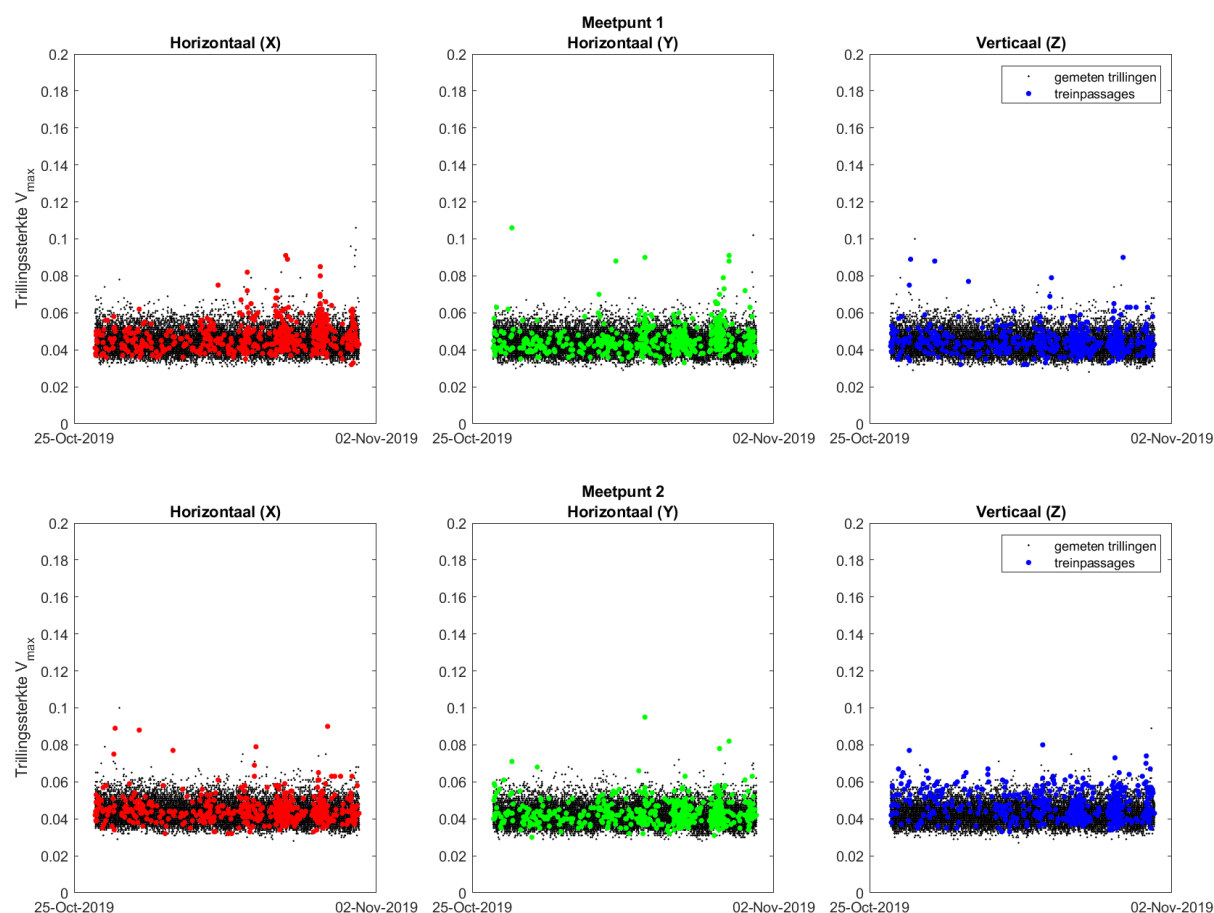
minder uitdempen. Vervolgens worden de trillingen in het gebouw weer versterkt door bewegingen van het gebouw en de vloeren. Het gebouwgedrag is in dit onderzoek bepaald op basis van de bodemopbouw, de constructieve eigenschappen en gebruikte materialen van de gebouwen met behulp van het rekenmodel Buildyn, een zogenaamd beam-element model (BEM) waarin het gebouw gemodelleerd en doorgerekend wordt. De resultaten van het model zijn geijkt met praktijkresultaten uit metingen. Een toelichting op het rekenmodel Buildyn is gegeven in bijlage 2.

4 Verwachte trillingen in de woningen

In dit hoofdstuk wordt eerst een korte toelichting gegeven op de meetresultaten, daarna worden de verwachte trillingen in het geplande gebouw 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 gevel van het bestaande pand Terborchstraat 13 (representatief voor een meetpunt aan de fundering van het nieuwe pand). De trillingen van het meetpunt aan de fundering van het huidige pand zijn weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6 Gemeten trillingen aan de fundering van huidige pand Terborchstraat 13. Boven de meetpunten aan de straatzijde (meetpunt 1), onder aan de achterzijde van de woning (meetpunt 2)

In deze figuur vallen een aantal zaken op:

1. Er zijn kleine verschillen tussen beide meetpunten, in het algemeen zijn de trillingen van de treinen aan de achterzijde van het gebouw iets hoger dan aan de voorzijde. Het punt aan de achterzijde ligt ook iets dichterbij het spoor.
2. De hoogste trillingen worden veroorzaakt door een zware vrachtwagen in de straat. Deze trillingen zijn vooral te zien op het meetpunt aan de straatzijde van de woning.

3. De meeste trillingen van de treinen zijn niet meetbaar (lager dan de achtergrondtrillingen). Dat komt door de grote afstand tot het spoor en het feit dat vrijwel alle treinen stoppen op station Zwolle, waardoor de rijsnelheid van de treinen laag is (en daardoor ook de trillingen). De hoogste trillingen zijn afkomstig van doorgaande goederentreinen.

4.2 Trillingen in geplande nieuwbouw

Het geplande gebouw is gemodelleerd op basis van de tekeningen. Het (frequentieafhankelijke) gedrag van het gebouw is weergegeven in bijlage 2. Met deze resultaten is bepaald in welke mate de trillingen worden versterkt tussen de meetpunten op de fundering van het huidige gebouw en de vloeren in het toekomstige gebouw. Hierbij is zowel de begane grondvloer als de hoogste verdieping beschouwd, de hoogste trillingen treden namelijk op een van die punten op. De versterking van de trillingen tussen de fundering en een maatgevend punt op de begane grond en de hoogste verdieping van het toekomstige gebouw, zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Versterking van de trillingen in het geplande gebouw (weergegeven als bandbreedte)

Verdieping	fundering naar vloer
Begane grond	1.6-1.8
3 ^e verdieping	2.2-2.5

Met deze overdrachten is op basis van de meting bepaald wat de trillingen in de toekomst zullen zijn. Deze resultaten zijn weergegeven in Tabel 5, samen met een beoordeling van de trillingen.

Tabel 5 Trillingen per verdieping (soms weergegeven als bandbreedte)

Verdieping	V_{max}	V_{per}	Beoordeling
Begane grond	0.2	0.01	Voldoet
3 ^e verdieping	0.2	0.01-0.02	Voldoet

Uit Tabel 5 volgt dat er geen overschrijdingen van de streefwaarden zullen optreden. Er zijn daarom geen maatregelen of aanpassingen aan de geplande bebouwing nodig om te voldoen aan het beoordelingskader.

4.3 Onzekerheden in het onderzoek

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

1. Ten aanzien van de trillingsbron: de natuurlijke variatie als gevolg van spooronderhoud en de temperatuur kunnen zorgen voor zo'n 30% variatie in de trillingen. Er is gemeten in een relatief koude en natte periode, dit kan zorgen voor lagere trillingen, m.n. op korte afstand tot het spoor. Op grote afstand, zoals bij de geplande bebouwing, is deze invloed doorgaans zeer beperkt.
2. Ten aanzien van de gebouwen geldt dat er altijd verschillen zijn tussen het beoogde ontwerp en het gerealiseerde ontwerp (verschillen tussen as-built en definitief ontwerp). Bovendien is het dynamische gedrag van bijvoorbeeld beton afhankelijk van de mate van gescheurdheid van het beton en zijn er natuurlijke variaties in materiaalgedrag (van bijvoorbeeld hout, metselwerk en beton). In de berekeningen is gerekend met een verwachtingswaarde van de trillingen op basis van een aan de hand

van praktijkmetingen geijkt rekenmodel. Hiermee wordt een resultaat verkregen dat representatief is voor de toekomstige situatie.

Bovenstaande onzekerheden hebben geen invloed op de conclusies van dit onderzoek: ook wanneer deze onzekerheden worden meegenomen, zijn maatregelen gezien de lage trillingen niet nodig.

5 Conclusies en aanbevelingen

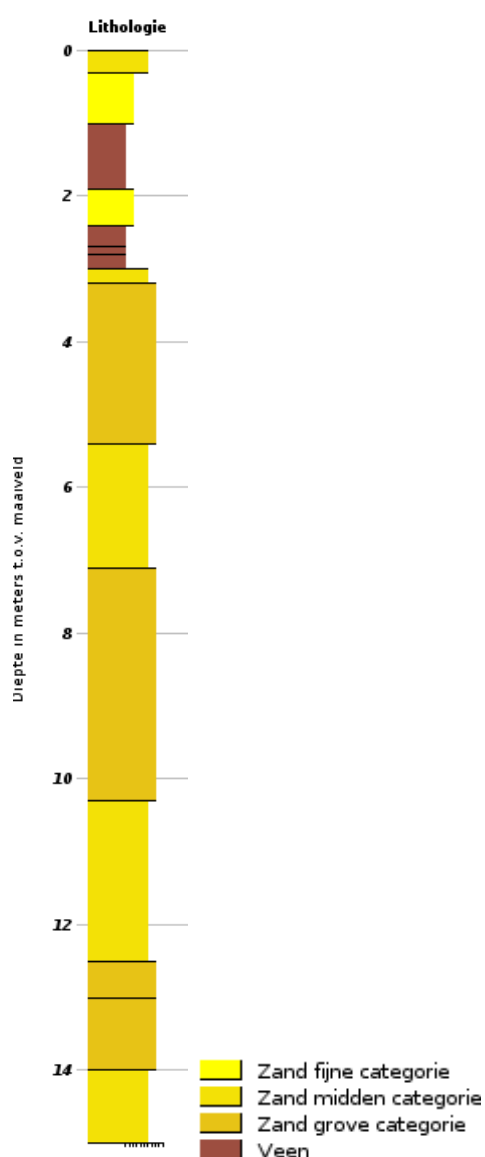
Uit het voorliggende onderzoek volgt dat er geen overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder worden verwacht in de geplande zorgvilla aan de Terborchstraat 13 in Zwolle.

Door de grote afstand tot het spoor en de lage rijsnelheid van de (vrijwel allemaal stoppende) treinen zijn de trillingen van de meeste treinen lager dan de achtergrondtrillingen (van bijv. lokaal verkeer). Bovendien wordt het gebouw geconstrueerd met relatief veel dempende materialen (metselwerk, breedplaatvloeren) en kent het gebouw voldoende horizontale stijfheid. Hierdoor zijn ook de trillingen van goederentreinen (die tot op grote afstand nog meetbaar zijn) lager dan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn. Er zijn daarom geen maatregelen of aanpassingen aan de geplande bebouwing nodig om te voldoen aan het beoordelingskader.

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 nabij het onderzoeksgebied (nr. B21G1001) is weergegeven in Figuur 7. Hier is te zien dat de bodem is opgebouwd uit zandlagen met verschillende structuren, in de bovenste lagen komen lokaal ook slappere lagen (klei en veen) voor. Door de gelaagde zandbodem dempen met name laagfrequente trillingen van goederentreinen minder snel uit met de afstand, waardoor deze op relatief grote afstand nog meetbaar zijn.



Figuur 7 Boring nabij het onderzoeksgebied, B21G1001

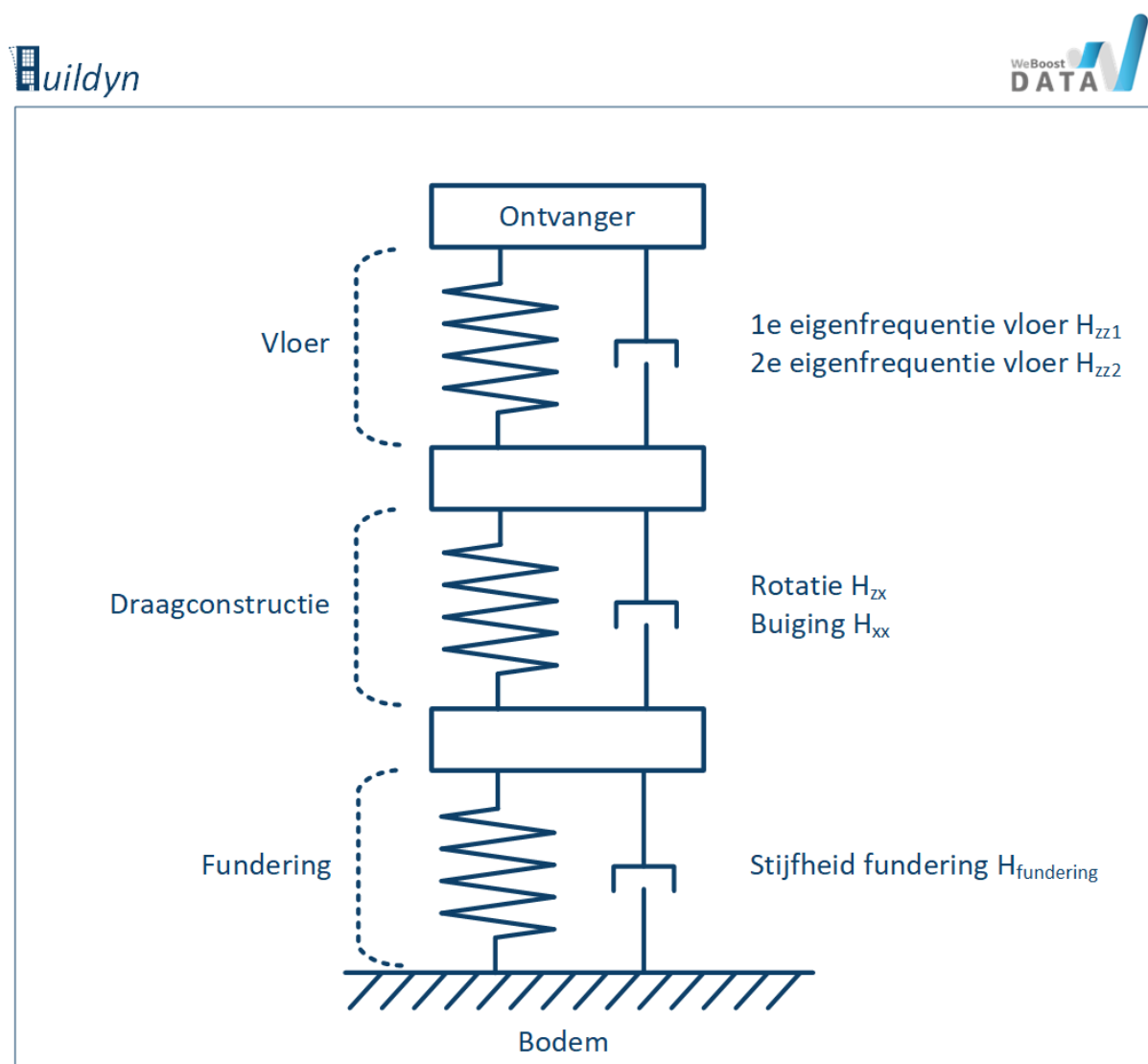
Sonderingen en een boring in het onderzoeksgebied (onderzoek van Koops en Romeijn Grondmechanica van 21 september 2019 (ref. 2019-0369-1) laten een vergelijkbaar beeld

zien: een gelaagde bodem die hoofdzakelijk bestaat uit zandlagen. De positie en eigenschappen van de slappere tussenlagen wisselt sterk.

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



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

Fundering

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

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

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

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

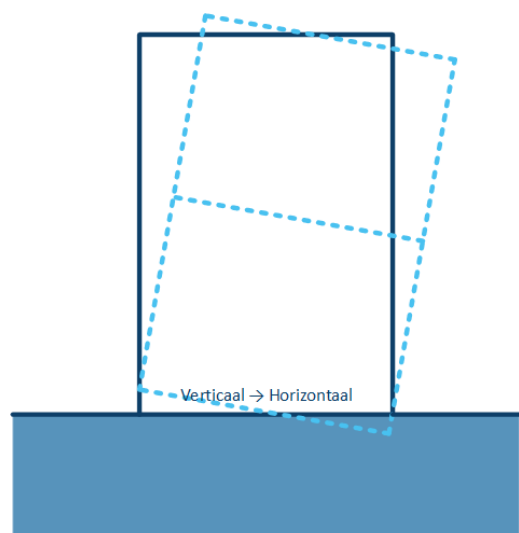
Draagconstructie

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

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

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

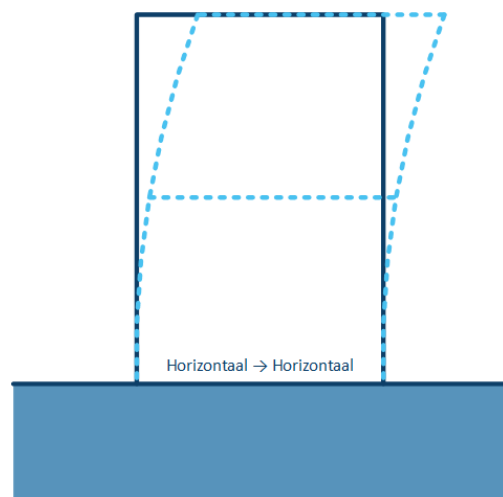
- Afmetingen van het gebouw (breedte, lengte, hoogte)
- Gewicht van het gebouw
- Type en gewicht van de fundering
- Stijfheid van de ondergrond



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

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

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



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

Vloeren

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

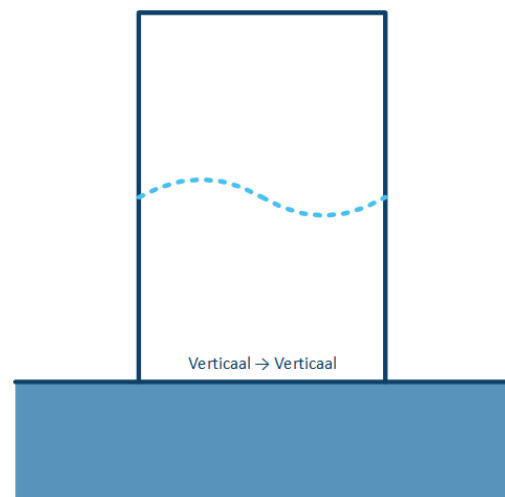
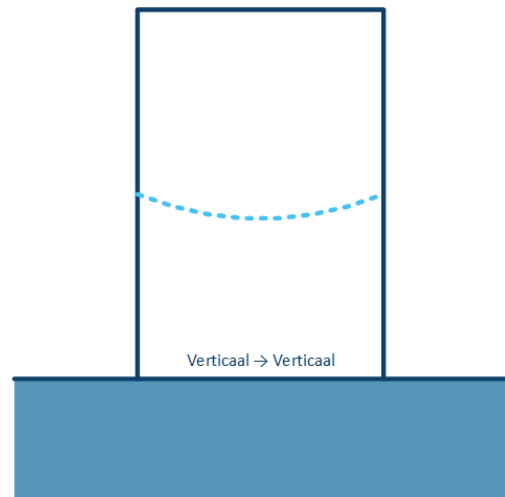
De eerste buigmodus van de vloer (bij de eerste eigenfrequentie) is simpele doorbuiging, zoals weergegeven in de principeschets rechts. Met name de eigenfrequentie (de frequentie waarvoor de vloer gevoelig is) en de damping bepalen in hoeverre de trillingen worden opgeslingerd. De trillingen zijn het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

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

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

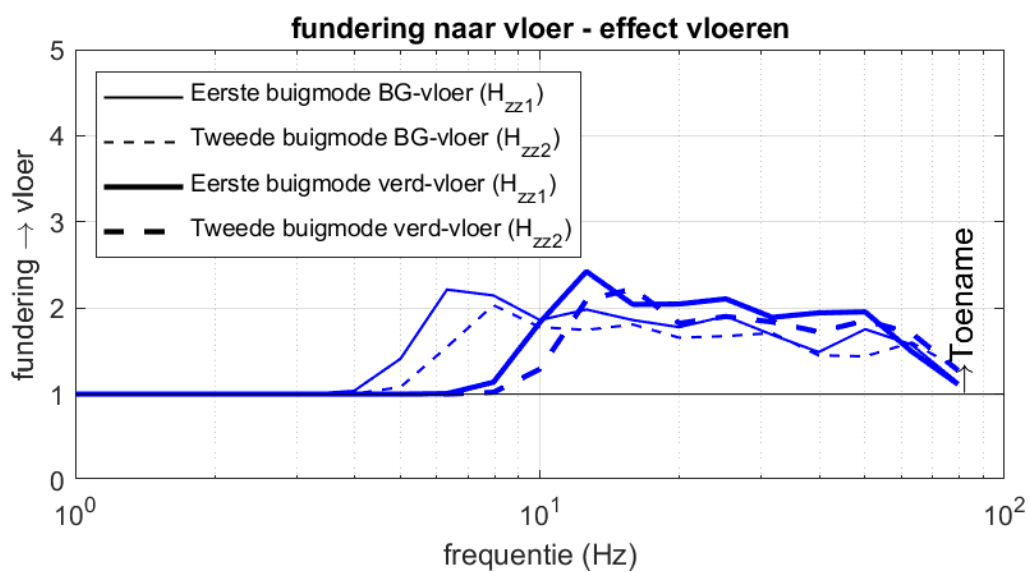
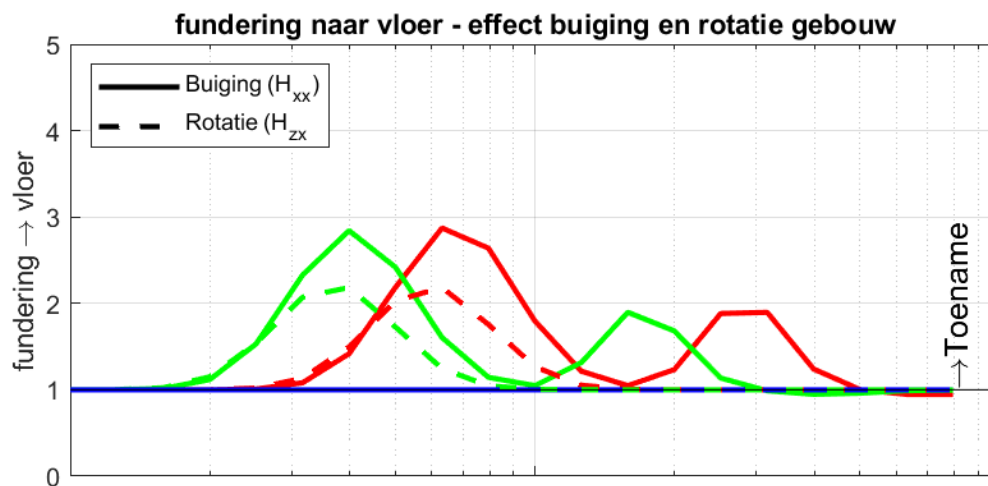
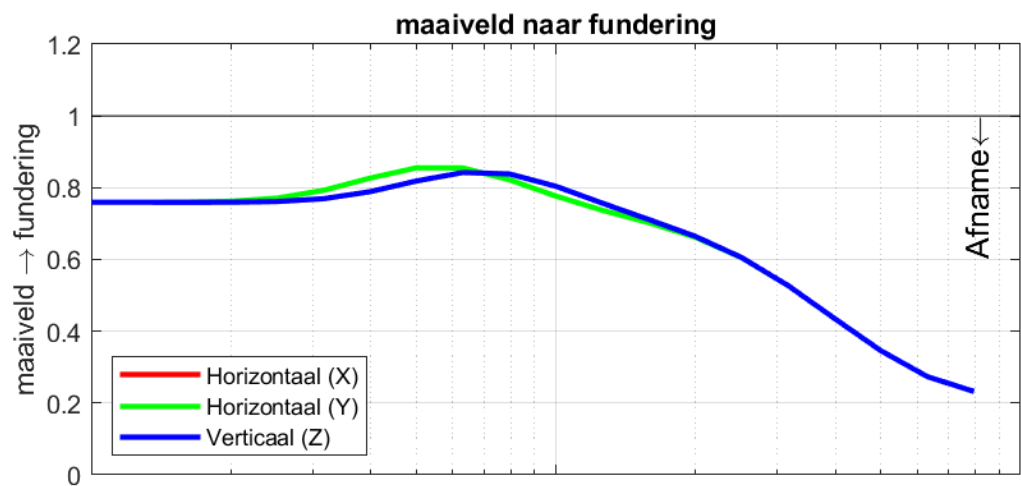
Bij de tweede buigmodus van de vloer (bij de tweede eigenfrequentie) zijn de trillingen maximaal op ongeveer $\frac{1}{4}$ van het vloerveld, zie de principeschets rechts.

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



Resultaten

De resultaten uit de Buildyn-berekeningen voor het geplande gebouw zijn weergegeven in Figuur 9. De resultaten worden getoond voor de 3^e verdieping, waar de trillingen het hoogst zijn. Het effect van de vloeren wordt ook getoond voor de begane grondvloer.



Figuur 9 Buildyn-resultaten voor het gebouw (3^e verdieping). Voor het effect van de vloeren is ook de begane grondvloer (kanaalplaatvloer) weergegeven in de onderste grafiek