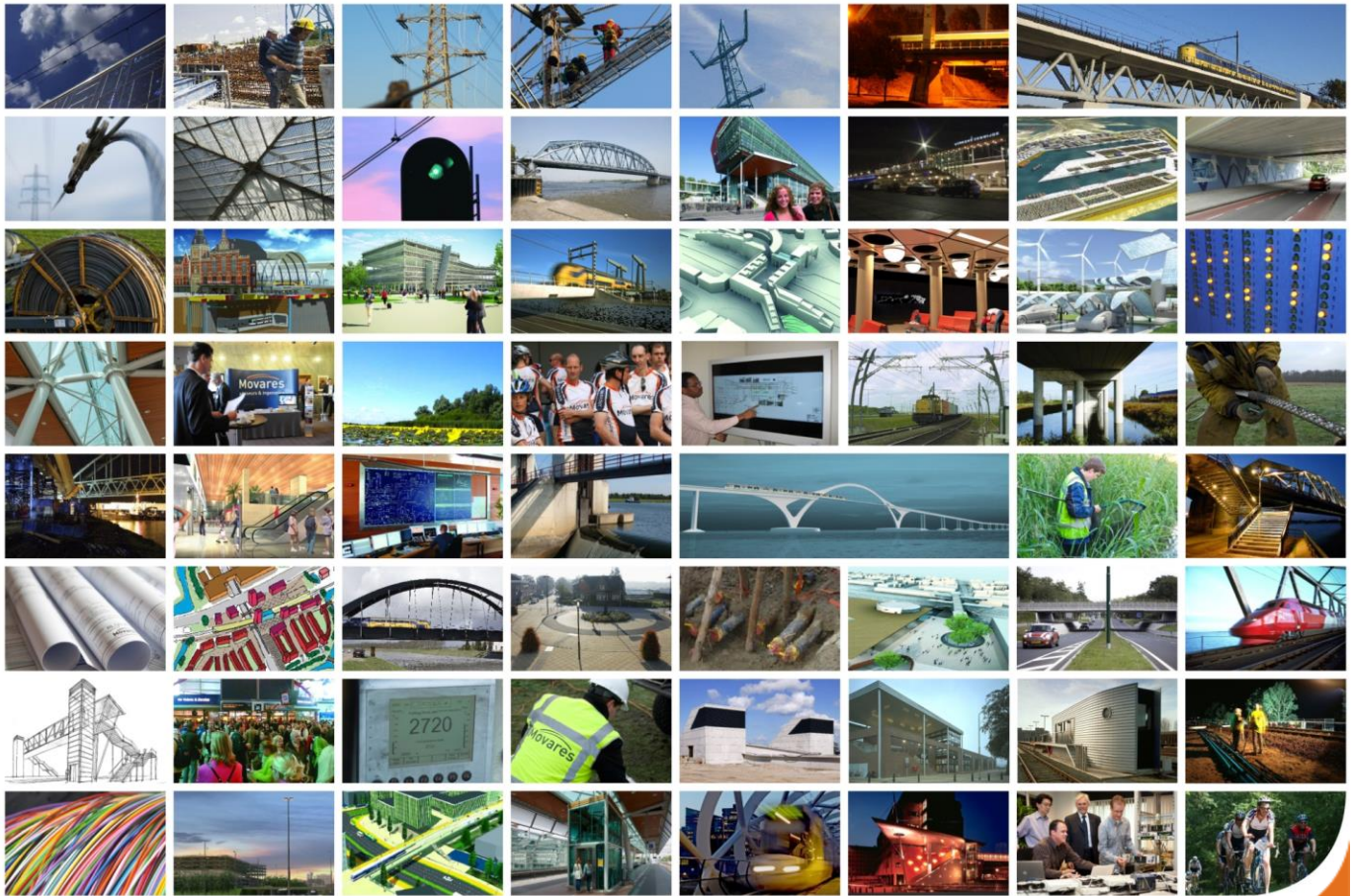




13 september 2021 - Versie 0.5

Autorisatieblad

Ontwikkelingsplan Kabeldistrict Delft

Trillingsonderzoek voor bestemmingsplan

	Naam	Akkoord	Datum
Opgesteld door	Gasparotto, K		
Gecontroleerd door			
Vrijgegeven door			

Op dit autorisatieblad ontbreken de handtekeningen wegens de digitale verwerking van ons vrijgaveproces. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Versie historie

Versie	Naam	Datum	Korte toelichting
0.4	Opgesteld door Kareen Gasparotto. Gecontroleerd door Wybo Gardien. Vrijgegeven door Mark Wijnands	28-05-2021	Conceptrapport voor commentaar door opdrachtgever.
0.5	Tekstaanpassingen door Wybo Gardien. Controle door Kareen Gasparotto. Vrijgave door Mark Wijnands.	13-09-2021	Definitief conceptrapport voor opdrachtgever, ter voorlegging aan gemeente.

Samenvatting

Aveco de Bondt werkt aan de ontwikkeling van het plangebied Kabeldistrict te Delft. In het gebied zal grootschalige ontwikkeling plaatsvinden met 3.000 tot 4.000 woningen en 70.000 m² bedrijven voor ca. 1.250 arbeidsplaatsen. Er zal in een hoge dichtheid gebouwd worden met een aanzienlijk hoogbouwprogramma tot ca. 100 meter.

De appartementencomplexen komen binnen een zone van 100 meter vanaf het spoor te liggen en ten behoeven van het bestemmingsplan dient een trillingsonderzoek uitgevoerd worden. In dit rapport worden optredende trillingen, afkomstig van het spoor, in beeld gebracht (in het kader van PHS project inclusief spoorverdubbeling) en een beschouwing voor laagfrequent geluid als gevolg van trillingen.

Voor dit onderzoek is gewerkt met een eerder uitgevoerde meting aan de Vulcanusweg 295-305 in Delft in het kader van het ontwikkeld project Tiny Houses. Deze meting is in februari 2018 uitgevoerd door Movares.

Voor dit project wordt een serie varianten doorgerekend, die representatief zijn voor het hele plangebied en die tevens rekening houdt met toekomstige doorontwikkeling:

- afstand tot spoor: 40 - 50 - 60 - 70 - 80 - 90 - 100 - 120 - 140 - 160 - 180 - 200 m;
- beukmaat: 5,4 - 6,6 - 7,8 m;
- hoogte: 10 - 25 - 40 - 55 - 70 - 85 - 100 m.

Doel van dit onderzoek is om vast te stellen of er sprake is van trillingshinder in de geplande bebouwing, en zo ja, onder welke constructieve randvoorwaarden dit wel en niet het geval is.

Bij ontbreken van wettelijke normen voor trillingshinder is hier, zoals gebruikelijk, getoetst aan de SBR B-richtlijn van de Stichting BouwResearch voor woningen en kantoren voor bestaande en nieuwe situatie.

Trillingsonderzoek

Op basis van de resultaten van dit onderzoek zijn er in het plangebied voor alle beschouwde gebouwtypen overschrijdingen van de streefwaarden voor de trillingssterkte (V_{max}) voor een bestaande en voor een nieuwe situatie te verwachten. Dit komt vooral door de passages van enkele afwijkende goederentreinen, die hoge trillingen veroorzaken bij lage frequenties (2-5 Hz). Het betreft hier incidentele goederentreinen (enkele malen per week). Er zijn ook overschrijdingen door reizigerstreinen, maar deze zijn veel kleiner dan die door de goederentreinen; de goederentreinen zijn derhalve maatgevend. Er zijn ook overschrijdingen van de streefwaarden voor het tijdsgemiddelde (V_{per}), maar het gebied waarin de overschrijdingen voorkomen is kleiner dan het gebied van de overschrijdingen van de trillingssterkte (V_{max}).

Verder concluderen we uit de trillingsprognoses:

- Door de lage frequenties zijn horizontale trillingen bovenin de gebouwen maatgevend.
- De beukmaten van de woningen zijn nauwelijks van invloed op de maatgevende horizontale trillingen in de gebouwen.
- De grootste trillingen zijn te verwachten in de gebouwen van 25-70 meter hoog, en de laagste trillingen in de gebouwen van 10, 85 en 100 meter hoog.
- Er zijn zowel overschrijdingen van de streefwaarden voor de gebouwfunctie *wonen* als voor de gebouwfunctie *kantoor*. Overschrijdingen van de streefwaarden treden voor woningen op bij een lagere trillingssterkte dan bij kantoren. Hierdoor is de zone met overschrijdingen voor de gebouwfunctie *wonen* groter dan voor de gebouwfunctie *kantoor*.

Maatregelen

Op de volgende manieren kan de hinder van trillingen in het Kabeldistrict beperkt worden:

1. Door de bouwtypen met de minste trillingen het dichtst bij het spoor te plaatsen (gebouwen met een hoogte van meer dan 80 meter).
2. Door de gebouwen met een kantoorfunctie dicht bij het spoor te plaatsen dan gebouwen met een woonfunctie.
3. Door het treffen van trillingsreducerende maatregelen aan de gebouwen. Hierbij valt te denken aan een extra zware fundering, of het afveren van gebouwen.

Laagfrequent geluid

Bij het Kabeldistrict achten we de kans op hinder van laagfrequent geluid klein. De afstand van het spoor tot de gebouwen is groter dan 30 meter, er is sprake van een zeer slappe bodem, en er is geen sprake van een tunnel of verdiepte ligging die kan leiden tot laagfrequent geluid. Ook blijkt uit het gemeten trillingsspectrum dat al op 22 meter afstand van het spoor veruit het grootste deel van de trillingsenergie in het frequentiegebied van 1-10 Hz zit. Frequenties van 1-10 Hz zijn te laag om te horen, en veroorzaken geen hinder van laagfrequent geluid. Hinder van laagfrequent geluid door treinverkeer is daarom niet te verwachten in het Kabeldistrict.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doel	5
1.3 Aanpak	5
1.4 Leeswijzer	5
2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten	6
2.1 Inleiding	6
2.2 Omgeving	6
2.3 Meetlocatie	7
2.4 Geplande bebouwing	8
2.5 Uitgangspunten	9
3 Beoordelingskader	10
3.1 Algemeen	10
3.2 Grootheden	10
3.3 Streefwaarden	10
3.3.1. <i>Nieuwe of bestaande situatie</i>	11
3.3.2. <i>Periode gedurende de dag</i>	11
3.3.3. <i>Gebouwfunctie</i>	11
3.4 Beoordeling in huidige onderzoek	12
3.5 Laagfrequent geluid	12
4 Meetresultaten	14
4.1 Inleiding	14
4.2 Meetresultaten	14
4.3 Resultaten metingen	15
5 Analyse en berekeningen	16
5.1 Prognosemethode	16
5.1.1. <i>Afstandsdemping</i>	17
5.1.2. <i>Overdracht in gebouwen</i>	17
5.1.3. <i>Invloed van kelders</i>	18
5.1.4. <i>Verwachte trillingen in gebouwen</i>	18
5.1.5. <i>Bovengrens van trillingen in gebouwen</i>	20
5.2 Samenvatting resultaten	22
5.3 Betrouwbaarheid	23
5.4 Nader onderzoek	23
5.5 Voorkomen van trillingshinder	24
5.6 Laagfrequent geluid	25
6 Conclusies en aanbevelingen	27
6.1 Conclusie	27
6.2 Aanbevelingen	28
Colofon	30

Bijlage I - Gegevens van de metingen	2
Bijlage II - Meetresultaten	3
Bijlage III – Bodemgegevens	5
Bijlage IV – Resultaten trillingen (50%-waarde)	6
Bijlage V – Resultaten trillingen (95%-waarde)	15

Inleiding

1.1 Aanleiding

In het kader van de grootschalige ontwikkeling van het plangebied Kabeldistrict te Delft wordt in dit gebied met een hoge dichtheid gebouwd met een aanzienlijk hoogbouwprogramma tot ca. 100 meter.

Dit gebied ligt direct naast het spoor, bovendien ligt er een plan (PHS Delft) voor de verdubbeling van twee naar vier sporen. Op basis van de afstand tot het spoor en het spoorgebruik is trillingshinder in de gebouwen niet op voorhand uit te sluiten. Opdrachtgever Aveco de Bondt heeft aan Movares gevraagd om met een indicatief rekenmodel onderzoek te doen naar trillingen in de toekomstige gebouwen, gebaseerd op de trillingsmetingen en het gebouwonwerp. De trillingsmetingen zijn door Movares in februari 2018 uitgevoerd in het kader van het project Tiny Houses aan de Vulcanusweg 295-305 in Delft.

1.2 Doel

Doel van dit onderzoek is om een indicatie te krijgen van de trillingsniveaus en van het laagfrequent geluid in de gebouwen, zodat inzichtelijk wordt of aanpassingen nodig zijn aan het ontwerp, waarmee de trillingen aan de eisen uit de SBR-B-richtlijn voldoen.

1.3 Aanpak

Ten behoeve van het trillingsonderzoek is de volgende aanpak gevolgd:

- Het analyseren van de meting die uitgevoerd in 2018 in het kader van het project Tiny Houses aan de Vulcanusweg 295-305 in Delft.
- Het maken van een prognose van de trillingsniveaus op basis van de beschikbare bouwgegevens (aantal bouwlagen, type fundatie, type vloer) en de resultaten van de metingen.
- Op basis van deze prognose geven wij vervolgens een advies over hoe trillingshinder in de woningen beperkt kan worden.
- Het maken van een indicatieve beschouwing van het laagfrequent geluid op basis van een expertbeoordeling.

1.4 Leeswijzer

De situatiebeschrijving is weergegeven in hoofdstuk 2. Het beoordelingskader voor trillingshinder staat beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zijn de meetresultaten weergegeven. Hoofdstuk 5 bevat een analyse van de meetresultaten en advies t.a.v. (bouwkundige) optimalisaties om trillingshinder te beperken. Het laatste hoofdstuk beschrijft de conclusies en aanbevelingen.

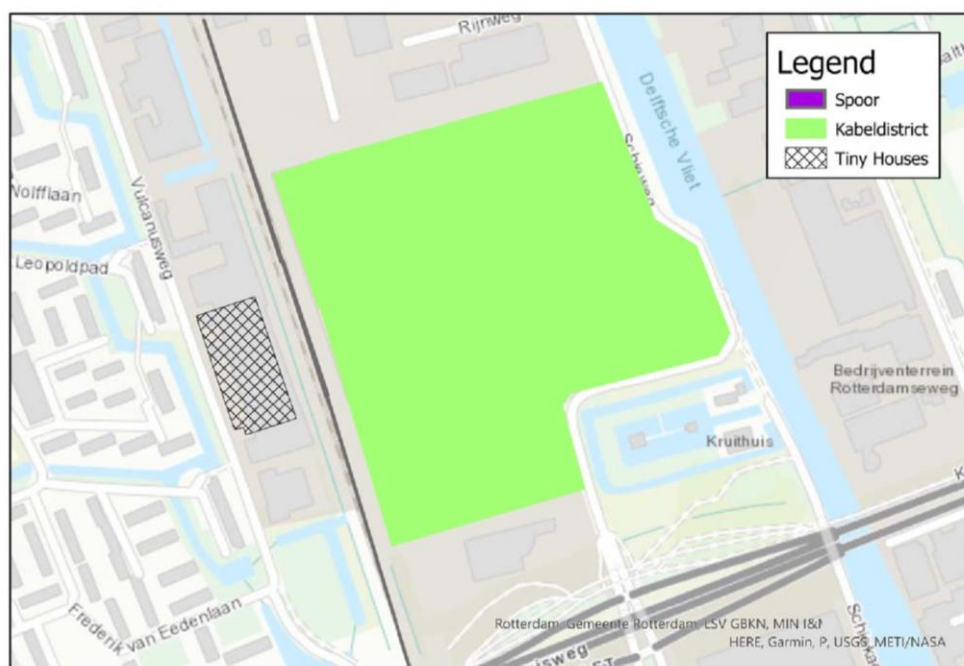
2 Situatiebeschrijving en uitgangspunten

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van de meetlocatie en de uitgangspunten voor het onderzoek.

2.2 Omgeving

De onderzoekslocatie bevindt zich ten oosten van de spoorlijn Rijswijk – Rotterdam, zie Figuur 2-1. De spoorlijn wordt zowel door reizigers- als goederenverkeer gebruikt.



Figuur 2-1: Plangebied Kabeldistrict Delft

Het treinverkeer worden gezien als de maatgevende trillingsbron. Andere bronnen zijn daarom niet meegenomen in dit onderzoek.

In de nabije toekomst zal, mede als gevolg van PHS-Rijswijk, het huidige tweesporige traject uitgebreid worden naar vierbaans spoor. De uitbreiding komt aan de kant van het Kabeldistrict terrein.

De rijsnelheden van het treinverkeer zijn weergegeven in Tabel 2-1, en gebaseerd op het *Geluidsregister Spoor*

Tabel 2-1: Rijsnelheden treinverkeer conform het geluidsregister spoor ter hoogte van de Abtswoudseweg

Corridor	Type trein	Snelheid ((km/h)
Delft – Rotterdam	Reizigerstreinen	70 – 80
Delft – Rotterdam	Goederentreinen	90
Rotterdam - Delft	Reizigerstreinen	100 – 130
Rotterdam - Delft	Goederentreinen	90

Tabel 2-2 *Treinintensiteiten per uur*

Als gevolg van PHS-Rijswijk zullen er in de nabije toekomst vooral meer sprinters gaan rijden op dit traject. Tabel 2-3 geeft de intensiteit van het treinverkeer vanaf 2020 weer. Het effect van de toename van het treinverkeer is verwerkt in de berekeningen zoals gepresenteerd in hoofdstuk 5.

Tabel 2-3 Toekomstige treinintensiteiten per uur

2.3 Meetlocatie

De metingen zijn uitgevoerd op maaiveldniveau op de locatie van de geplande Tiny Houses aan de Vulcanusweg 295-305 in Delft. Een plattegrond van de locatie met daarop de meetlocaties is weergegeven in Figuur 2-2. Aan de overzijde van het spoor bevindt zich het plangebied van het Kabeldistrict, zoals weergegeven in Figuur 2-1.



Op deze locatie zijn twee metingen uitgevoerd op maaiveld:

- een onbemande langdurige meting (twee weken) met één meetpunt;
- een bemande kortdurige meting met zes extra meetpunten op meerdere locaties.

Het meetpunt voor de langdurige meting is ook tijdens de kortdurige meting gebruikt. Met de gegevens van de langeduurmeting is het trillingsbeeld van een breed scala aan passerende treinen bepaald. Met de extra meetpunten van de korteduurmeting zijn de effecten zoals het uitdempen van trillingen met de afstand, en de invloed van de variabiliteit in de ondergrond van de projectlocatie verrekend.

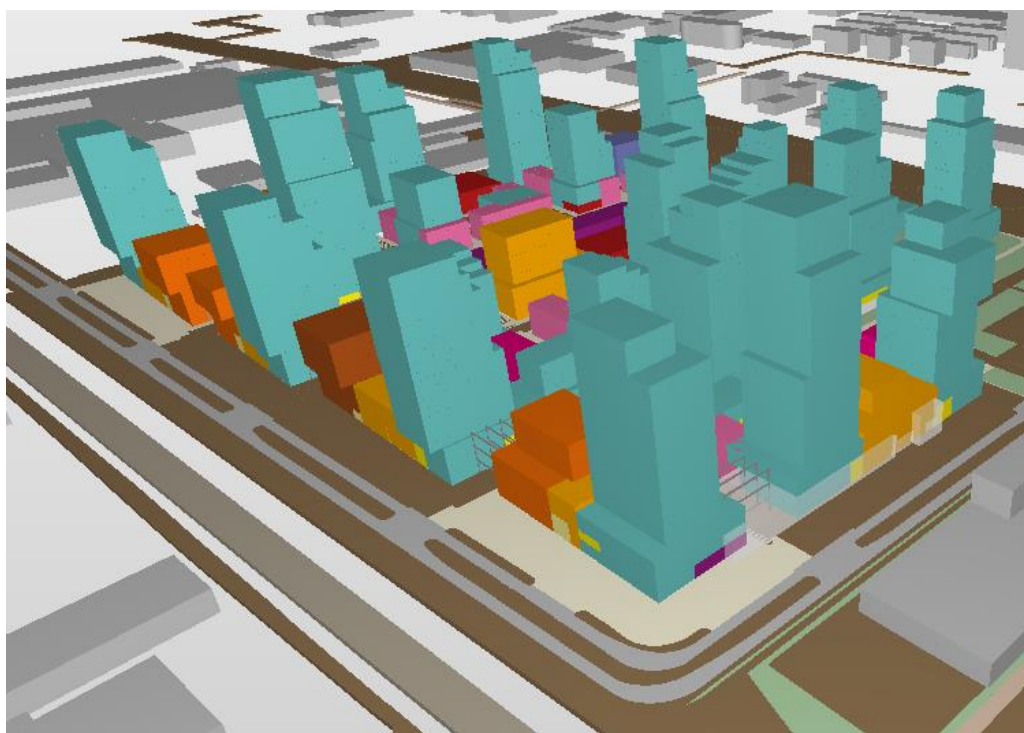
2.4 Geplande bebouwing

Een 3D-aanzicht van het Kabeldistrict is weergegeven in Figuur 2-3. Zowel de torens als de laagbouw bestaan grotendeels uit betonnen elementen. De wanden zijn 300 mm dik. De verdiepingsvloeren bestaan uit massieve vloerplaten van 300 mm dik. Voor dit project wordt een serie varianten doorgerekend, die representatief is voor het hele plangebied en die tevens rekening houdt met toekomstige doorontwikkeling. Deze varianten staan in Tabel 2-4.

Tabel 2-4 Beschouwde situaties van toren en laagbouwen

Beukmaat [m]	Hoogte [m]	Vloertype	Afstanden [m]
5,4 / 6,6 / 7,8	10 / 25 / 40 / 55 / 70 / 85 / 100	Massieve betonvloer 300mm	40 / 50 / 60 / 70 / 80 / 90 / 100 / 120 / 140 / 160 / 180 / 200

In de nabije toekomst zal, mede als gevolg van PHS-Rijswijk, het huidige tweesporige traject uitgebreid worden naar vierbaans spoor. De uitbreiding komt aan de kant van het Kabeldistrict terrein. De in Tabel 2-4 genoemde afstanden zijn de toekomstige afstanden van de nieuwe spoorlijn tot de gebouwen.



Figuur 2-3: Plangebied Kabeldistrict Delft

Op basis van deze gegevens is de eigenfrequentie van de vloeren afhankelijk van de beukmaat bepaald. De eigenfrequenties zijn in Tabel 2-5 weergegeven.

Tabel 2-5 Aangehouden eigenfrequentie van de vloeren

Beukmaat [m]	Eigenfrequentie vloer [Hz]
5,4	38,6
6,6	25,8
7,8	18,5

Voor de massieve vloerplaten wordt een demping van 3,5% aangehouden. De hoogbouw en laagbouw komen op een paalfundering.

2.5 Uitgangspunten

In dit onderzoek beschouwen wij trillingshinder. Voor trillingshinder baseren wij ons op de in Nederland meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingshinder, de SBR B-richtlijn. In het volgende hoofdstuk wordt deze richtlijn nader toegelicht.

We zullen ons baseren op onze metingen voor Tiny Houses. De plannen voor PHS zullen we in de berekeningen meenemen, zoals we ook in project Tiny Houses hebben gedaan.

De eigenschappen voor de bodem volgen uit de metingen die zijn uitgevoerd voor Tiny Houses. De gebouwen modelleren we op basis van empirische formules voor overdrachten van maaiveld naar fundering en van fundering naar de vloeren in de gebouwen.

3 Beoordelingskader

3.1 Algemeen

Treinverkeer kan aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot hinder voor omwonenden. De Duitse DIN 4150-2 (1999) norm beschrijft criteria voor het meten en beoordelen van trillingen. De Nederlandse SBR-richtlijn (2002) is hierop gebaseerd. Deze SBR-richtlijn is in Nederland de meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingen en bestaat uit 3 delen:

- Deel A: schade aan gebouwen;
- Deel B: hinder voor personen in gebouwen;
- Deel C: verstoring van apparatuur.

Op basis van langdurige ervaring met trillingen langs het spoor is schade als gevolg van passerende treinen op een afstand van meer dan 30 meter tot het spoor onwaarschijnlijk. Er is daarom niet beoordeeld op de SBR A-richtlijn. Ook verstoring van apparatuur (SBR C-richtlijn) is niet aan de orde. In dit onderzoek is daarom alleen beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

De SBR B-richtlijn heeft geen wettelijke status¹. Daarom bevat de richtlijnen 'streefwaarden'.

3.2 Grootheden

Conform de SBR B-richtlijn worden twee grootheden bepaald:

1. De trillingssterkte $V_{\max}$. Dit is een dimensieloze indicatie van de maximaal ervaren trillingen gedurende de meetperiode, de zogenaamde pieksterkte van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald per 30 seconden; zie par. 9.2 en 9.3 van de SBR B-richtlijn. Van al deze maximale waarden per 30 seconden wordt de maximale waarde bepaald, de $V_{\text{eff, max}}$. Vervolgens wordt, op basis van de vijftien hoogst gemeten waarden een statistische berekening uitgevoerd met als resultaat de trillingssterkte die niet wordt overschreden door 95 procent van de passerende treinen, de $V_{\max}$. Deze trillingssterkte is beoordeeld op de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn;
2. De trillingsintensiteit V_{per} , een dimensieloze indicatie van het tijdsgemiddelde van de trillingen. Deze grootheid wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 uitkomt. Trillingssnelheden onder de 0.1 zijn niet of nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van V_{per} . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0.1 uitkomen, zie ook par. 9.8 van de SBR B-richtlijn.

3.3 Streefwaarden

De SBR B-richtlijn kent drie typen streefwaarden:

1. A1, de onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
2. A2, de bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$;
3. A3, de streefwaarde voor de trillingsintensiteit V_{per} .

¹ De richtlijnen voor bijvoorbeeld geluid hebben wel een wettelijke status.

De hoogte van de streefwaarden is afhankelijk van een aantal criteria:

1. Of er sprake is van een nieuwe of bestaande situatie;
2. Periode gedurende de dag;
3. Gebouwfunctie.

De verschillende criteria worden hieronder toegelicht.

3.3.1. Nieuwe of bestaande situatie

In de SBR B-richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de streefwaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. We toetsen in dit onderzoek zowel aan de streefwaarden voor nieuwe als bestaande situatie. Volgens de SBR-B richtlijn is er in het geval van een nieuw gebouw langs een bestaande spoorlijn sprake van een nieuwe situatie. In bepaalde situaties worden er bij nieuwe gebouwen ook wel de streefwaarden voor bestaande situaties aangehouden. Bijvoorbeeld indien de kosten en/of impact op het plan van doelmatige trillingsreducerende maatregelen zo hoog zijn dat het project niet gerealiseerd kan worden als moet worden voldaan aan de streefwaarden voor nieuwe situaties.

3.3.2. Periode gedurende de dag

De SBR B-richtlijn maakt daarnaast onderscheid tussen dag, avond en nacht. Hierbij geldt dat de streefwaarden van de trillingssterkten gedurende de nacht strenger zijn dan die gedurende de dag en avond. De SBR B-richtlijn kent de volgende perioden: dag (7.00 – 19.00 uur), avond (19.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur). De streefwaarden voor dag en avond zijn aan elkaar gelijk.

Bij metingen aan treinverkeer worden gewoonlijk de streefwaarden voor de nacht gehanteerd, omdat deze strenger zijn dan die van de dag. Deze keuze is gerechtvaardigd omdat het treinverkeer 's nachts doorgaans vergelijkbare trillingen geeft als het treinverkeer overdag.

3.3.3. Gebouwfunctie

Als derde criterium wordt onderscheid gemaakt naar de functie van een gebouw. De SBR B-richtlijn kent de gebouwfuncties Gezondheidszorg, Wonen, Kantoor, Bijeenkomsten en Kritische werkruimte. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes en trillingsintensiteiten. Op basis van deze drie criteria zijn de streefwaarden voor A1, A2 en A3 weergegeven in Tabel 3-1 voor nieuwe situaties en in Tabel 3-2 bestaande situaties. In de beoordeling is gekeken naar gebouwen met bestemming wonen en kantoor, zie de omkaderde waarden in de tabellen hieronder.

Tabel 3-1: Streefwaarden *nieuwe situatie* volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg	0.1 ¹⁾	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
Wonen	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
Kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
Bijeenkomsten	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
Kritische werkruimte	0.1	0.1	-.--	0.1	0.1	-.--

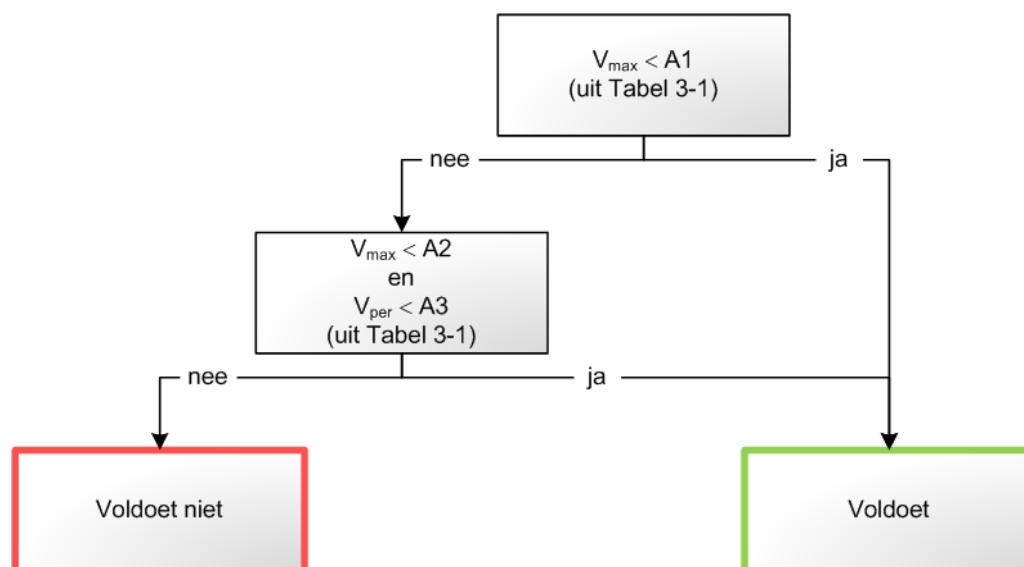
¹⁾ Een streefwaarde van 0.1 betekent een waarde kleiner dan 0.15

Tabel 3-2 Streefwaarden *bestaande situatie* volgens SBR B-richtlijn

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg	0.2	0.8	0.10	0.2	0.4	0.10
Wonen	0.2	0.8	0.10	0.2	0.4	0.10
Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Kritische werkruimte	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

3.4 Beoordeling in huidige onderzoek

Om te beoordelen of een situatie voldoet, dient het schema in Figuur 3-1 te worden doorlopen. Een locatie voldoet aan het beoordelingskader wanneer de trillingssterkte lager is dan A1. Een tweede mogelijkheid om te voldoen is als de trillingssterkte lager is dan A2 en de trillingsintensiteit lager is dan A3.



Figuur 3-1: Stroomschema beoordeling nieuwe situatie in SBR B-richtlijn

3.5 Laagfrequent geluid

Voor laagfrequent geluid bestaat in Nederland geen uniforme beoordelingsrichtlijn. Er zijn verschillende methodes in omloop om de hinder ten gevolge van laagfrequent geluid te beoordelen. Hier hanteren we de methodiek van De Ruiter, die in vooral is ontwikkeld voor laagfrequent geluid van railinfra. De grenswaarden voor de methode De Ruiter zijn weergegeven in Tabel 3-3 voor gebouwfuncties *wonen* en *kantoor*. Er is geen wetgeving voor laagfrequent geluid, net als bij trillingen.

Tabel 3-3 Grenswaarden *LFG* uit methodiek van De Ruiter

	<i>L_{Imax}</i>				<i>L_{Amax}</i>
	16 Hz	32 Hz	64 Hz	125 Hz	10-250 Hz
Grenswaarde wonen	80 dB	68 dB	55 dB	45 dB	35 dB(A)
Grenswaarde kantoor	85 dB	73 dB	60 dB	50 dB	40 dB(A)

4 Meetresultaten

4.1 Inleiding

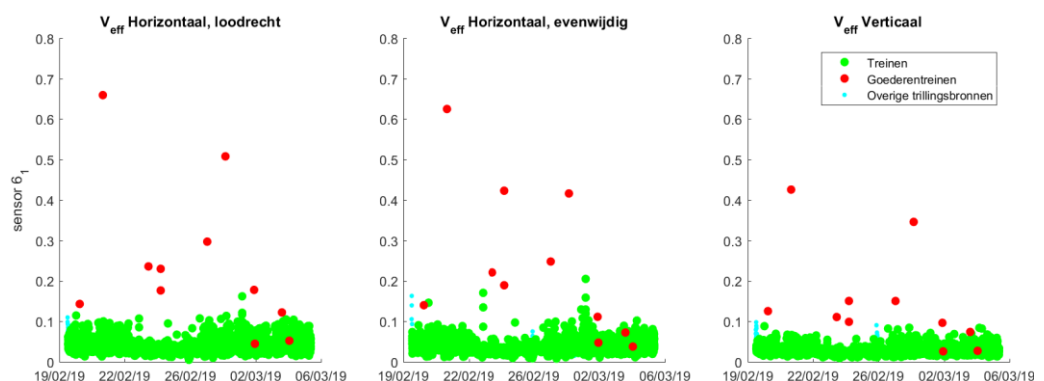
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen beschreven. Er zijn twee metingen uitgevoerd:

1. Een kortedurende meting met meerdere meetpunten, bedoeld om de variatie in bodemopbouw en spreiding van de trillingsniveaus binnen het onderzoeksgebied vast te stellen;
2. Een langedurende meting met één meetpunt, om de variatie van de trillingen over de tijd vast te stellen. Op deze manier ontstaat een representatief beeld van de trillingen over een looptijd van een week.

4.2 Meetresultaten

De gemeten trillingssnelheden van de treinen tijdens de langedurende meting zijn per richting weergegeven in Figuur 4-1. Dit betreft de trillingen op maaiveld op ca. 22 meter afstand van het spoor. Op maaiveld veroorzaken de goederentreinen grote uitschieters, maar zijn er ook kleinere uitschieters door reizigerstreinen. De trillingen zijn weergegeven in drie richtingen:

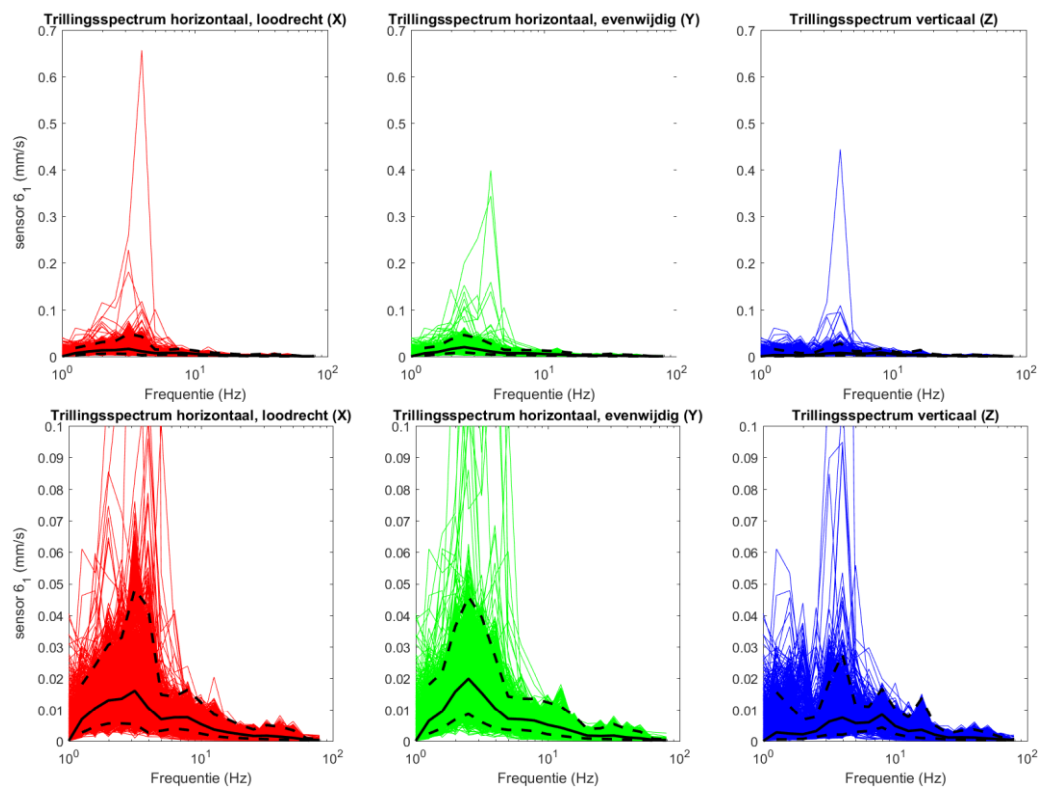
1. Horizontaal, loodrecht op het spoor (ook wel X genoemd);
2. Horizontaal, parallel aan het spoor (ook wel Y genoemd);
3. Verticaal (ook wel Z genoemd).



Figuur 4-1: Trillingssterktes op maaiveldniveau als functie van de tijd

Gedurende de eerste meetweek reden er door werkzaamheden aan het spoor gedurende vier dagen minder treinen, en reden deze langzamer dan normaal. Hierdoor zijn in deze periode lagere trillingen gemeten. Om deze reden is de langeduurmeting nog een extra week voortgezet. De zwaarste goederentreinpassage was echter in de eerste meetweek.

Het trillingsspectrum van de gemeten treinen op maaiveld is weergegeven in Figuur 4-2. De trillingen zijn in de horizontale richtingen wat sterker dan in de verticale richting. De trillingen zijn vooral hoog tussen de 2 en de 5 Hz. De uitschieters in deze figuur worden veroorzaakt door goederentreinen. De trillingen van de goederentreinen op maaiveld voldoen niet aan de streefwaarden, dat betekent dat in de trillingen in de woningen zullen moeten worden uitgedempt om te voldoen aan de streefwaarden uit de SBR B-richtlijn.



Figuur 4-2: Trillingsspectra van treinpassages tijdens de lange meting in X- Y- en Z-richting (bovenste rij is totaalbeeld, onderste rij is een zoom-in van de bovenste rij)

4.3 Resultaten metingen

De resultaten van de langeduurmeting (meetpunt op 22 meter afstand) zijn weergegeven in Tabel 4-1. Hier valt op dat op maaiveld al incidenteel hoge trillingen worden gemeten (trillingssterkte van ca. 0,66 in horizontale richting, wat betekent dat er op die afstand demping van de trillingen in de woningen moet optreden om overschrijdingen van de streefwaarde voor bestaande situaties in de nacht te voorkomen).

Tabel 4-1: Meetresultaten en beoordeling op maaiveld

	X	Y	Z
V_{per, dag}	0,02	0,02	0,01
V_{per, avond}	0,01	0,01	0,00
V_{per, nacht}	0,01	0,01	0,00
V_{max, gemeten}	0,66	0,62	0,43

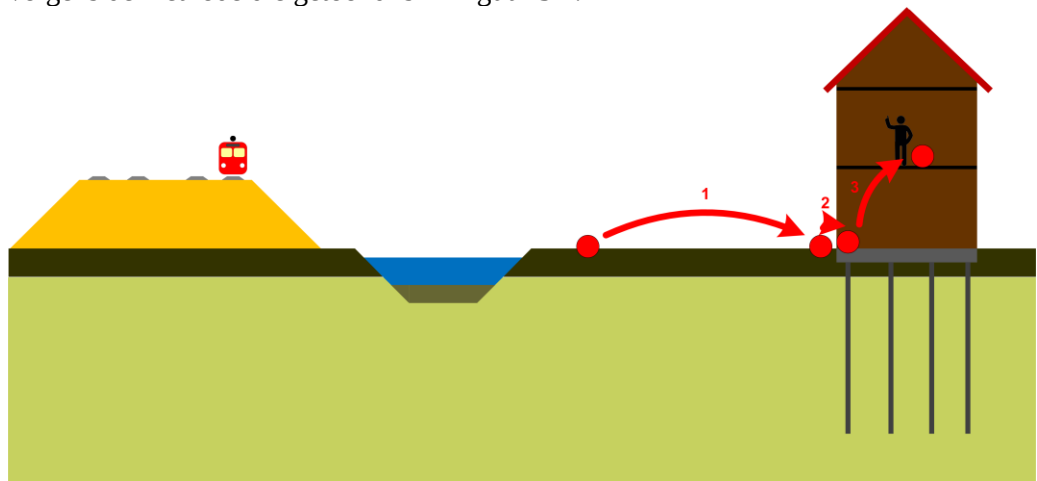
5 Analyse en berekeningen

5.1 Prognosemethode

De resultaten van de metingen zijn gecombineerd met informatie over de geplande bebouwing. Hiermee is een prognose gemaakt van de trillingssterktes aan de fundering en op de vloeren van de gebouwen, op de locatie van elk bouwvlak. Daarnaast brengen we de onzekerheid van de predicties (onder meer veroorzaakt door onzekerheid in exacte dimensionering, materiaalkeuze en constructiewijze) in rekening door een 50%-waarde en een 95%-waarde te onderscheiden:

- 50%-waarde (verwachtingswaarde): De kans dat de trillingen lager zijn dan deze waarde is 50%. Deze waarde representeert daarmee de verwachtingswaarde voor trillingen in de woningen en geldt voor gebouwen met gemiddelde constructieve eigenschappen.
- 95%-waarde: De kans dat de trillingen lager zijn dan deze waarde is 95%. De kans op voorkomen is klein, maar niet verwaarloosbaar. De 95%-waarde wordt gebruikt als redelijkerwijs maximaal te verwachten trillingssterkte en geldt voor gebouwen met ongunstige constructieve eigenschappen. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld dat de vloeren erg slap worden geconstrueerd (grote vloeroverspanningen, kleine balkmaten). Een andere voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld dat de onderste laag van een hoog gebouw met een kolommenstructuur is gerealiseerd, waardoor de horizontale stijfheid lager is en met name horizontale, laagfrequente trillingen hoger kunnen zijn in de bovenste delen van het gebouw. Een ander voorbeeld is als er relatief veel materialen met weinig demping (zoals staal) worden toegepast in de constructie.

De prognoses van trillingen op funderingsniveau en op midden vloerveld wordt gedaan volgens de methode die getoond is in Figuur 5 1.



Figuur 5-1: Methode voor het vaststellen van de trillingen in een gebouw

Deze methode werkt als volgt:

1. De trillingen van de langeduurmeting worden vertaald naar een meetpunt op maaiveld ter plaatse van het bouwvlak, aan de hand van de bodemdemping die bepaald is met de korteduurmeting. Deze overdracht corrigeert voor

- bijvoorbeeld verschillen in afstand tot het spoor (uitdemping van de trillingen met de afstand) en voor variatie in de bodem of de spoorligging.
2. De trillingen op maaiveld worden vertaald naar een meetpunt op de fundering van het gebouw, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type fundering).
 3. De trillingen op de fundering worden vertaald naar een meetpunt op de hoogste vloer van het gebouw, op basis van de eigenschappen van het gebouw (afmetingen, type constructie).

Resultaat van deze berekening is een predictie van de trillingssituatie in het gebouw, waarbij elke afzonderlijke trein zoals gemeten is bij de langeduurmeting is vertaald naar een trillingssignaal in de woning. Over deze trillingen worden de parameters $V_{\max}$ en V_{per} bepaald, waarna deze worden beoordeeld op de SBR B-richtlijn.

5.1.1. Afstandsdemping

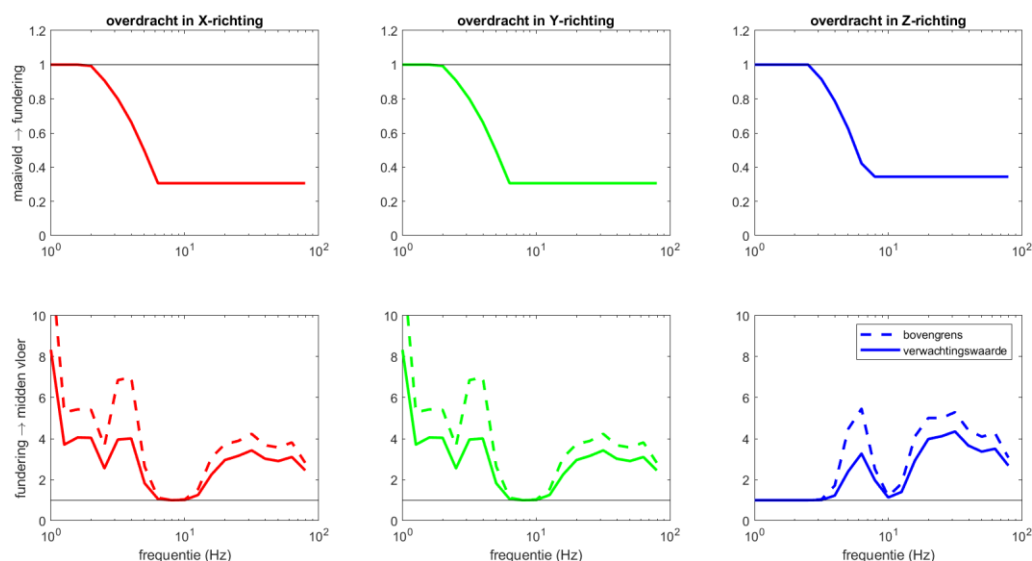
De overdracht van het meetpunt uit de langeduurmeting naar de overige meetpunten is bepaald tijdens de korte meting. Op basis daarvan is de uitdemping van de trillingen met de afstand bepaald, zie Bijlage II. Hierbij is gebruik gemaakt van de Barkanvergelijking, een empirische formule die de uitdemping van de trillingen met de afstand beschrijft. Door deze uitdemping toe te passen op de trillingen uit de langeduurmeting, zijn de trillingen uit die meting op elk willekeurig punt te bepalen.

5.1.2. Overdracht in gebouwen

Een document van VROM geeft indicatieve richtlijnen voor het bepalen van de overdracht van trillingen van maaiveld naar fundering. Deze theoretische waarden komen voor gebouwen van beperkte hoogte (tot ca. 12 meter) goed overeen met praktijkwaarden uit metingen en zijn daarom in dit onderzoek aangehouden. Voor hogere gebouwen blijkt in de praktijk dat trillingen op de fundering lager zijn dan wat volgt uit de overdracht van het VROM document. Voor hogere gebouwen is de overdracht van maaiveld naar fundering bijgesteld op basis van praktijkmetingen.

De overdracht van fundering naar midden vloerveld is afhankelijk van de gebouwconstructie, gebouwafmetingen, type vloer en de eigenfrequentie van de vloer. Het document van VROM geeft voor deze overdrachten een beeld dat niet geheel met praktijkmetingen overeenkomt. De gebruikte overdrachten van fundering naar midden vloerveld in dit onderzoek zijn daarom gebaseerd op een combinatie van meetresultaten in vergelijkbare gebouwen en analytische formules die het gedrag van gebouwen en vloeren beschrijven. Voor een toren van 70m hoog zijn deze resultaten weergegeven in Figuur 5-2. Hierbij is X loodrecht op het spoor en Y parallel aan het spoor.

Wat opvalt is dat de meeste opslinging optreedt bij een frequentie onder de 6 Hz en boven de 10 Hz. In het vorige hoofdstuk werd geconstateerd dat de dominante trillingsfrequenties tussen de 2 en 5 Hz zijn gemeten. Trillingen bij deze lage frequenties zullen dus versterkt worden door het gebouw.



Figuur 5-2: Overdracht van de trillingssterkte van maaiveld naar de fundering (boven) en van de fundering naar midden vloerveld (onder) voor toren van 70m hoog

5.1.3. Invloed van kelders

De aanwezigheid van kelders kan van invloed zijn op gebouwen. Deze invloed is echter zeer afhankelijk van de bodemeigenschappen en de constructie van de kelder. De funderingsoverdracht van het rekenmodel is gebaseerd op metingen en berekeningen, waarbij er voor de hogere gebouwen (20 meter en hoger) in de meeste gevallen een (enkele) kelder aanwezig was. Bij de lagere gebouwen was er geen kelder aanwezig. Voor gebouwen van 20 meter en hoger zijn de resultaten representatief voor een gebouw met een enkele kelder. Voor lagere gebouwen zijn de resultaten representatief voor een gebouw zonder kelder. Om de invloed van verschillende kelders (diepte, afmetingen) in rekening te brengen, zijn meer geavanceerde rekenmodellen nodig, zoals eindige elementen modellen (FEM).

5.1.4. Verwachte trillingen in gebouwen

Vervolgens is voor alle typen gebouwen een prognose gemaakt van de trillingen op de vloeren op de hoogste verdieping. Aan de hand van de berekeningen is een beoordeling gemaakt van de trillingen, voor de gebouwfuncties wonen en kantoren. De resultaten voor een gebouw van 10 meter hoog zijn in Tabel 5-1 samengevat, waarbij per afstand de maximaal voorspelde trillingsintensiteit V_{per} en trillingssterkte V_{max} is weergegeven. De resultaten van alle andere type gebouwen zijn in de Bijlage IV weergegeven. Overschrijdingen van het beoordelingskader zijn oranje gearceerd wanneer er alleen een overschrijding optreedt van de (strengere) streefwaarden voor wonen in de nacht bij een nieuwe situatie, en rood als ook de (minder strenge) streefwaarden voor wonen in de nacht bij een bestaande situatie wordt overschreden. Overschrijdingen van de streefwaarden voor de gebouwfunctie kantoor in nieuwe situaties zijn donkerrood gearceerd.

In dit geval zijn er tot een afstand van 50 meter overschrijdingen van de streefwaarden voor de gebouwfunctie kantoor te verwachten. Tot 80 meter afstand is er een overschrijding van de streefwaarde voor wonen in bestaande situaties, en tot 160 meter afstand is er een overschrijding voor wonen in nieuwe situaties. Verder valt het volgende op:

- De trillingssterkte $V_{\max}$ is maatgevend voor de overschrijdingen. De trillingsintensiteit V_{per} is beperkt ten opzichte van de trillingssterkte $V_{\max}$. Dit komt doordat de trillingssterkte $V_{\max}$ wordt veroorzaakt door zware goederentreinen die slechts zeer sporadisch passeren.
- Horizontale trillingen in de gebouwen zijn maatgevend voor de overschrijdingen. De trillingen zijn laagfrequent (<10 Hz), waardoor er nauwelijks sprake is van verticale resonanties in vloeren. Bij deze lage frequenties kunnen er buig- en torsiebewegingen in de gebouwen optreden, die tot versterking van horizontale trillingen leiden.
- De afstand waarop er geen overschrijdingen meer te verwachten zijn is groot. Dit komt doordat de laagfrequente trillingen die tot de overschrijdingen leiden, maar langzaam uitdempnen met de afstand.
- De grote overschrijdingen worden veroorzaakt door incidentele passages van goederentreinen met sterk afwijkende trillingen overdag. Het gaat in de huidige situatie om ongeveer 1 tot 2 treinen per week die tot ca. 2 keer zo hoge trillingen leiden als alle andere treinen. In de toekomst zullen dit er meer worden, namelijk ca. 3 tot 5 per week (bron: tracébesluit *Programma Hoogfrequent Spoorvervoer viersporigheid Rijswijk - Delft Zuid*). Hiermee is rekening gehouden in de prognose.

Tabel 5-1: Verwachte trillingen in gebouwen (verwachtingswaarde)

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V_{per}			$V_{\max}$		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	10	5.4	0.04	0.04	0.01	0.80	0.72	0.33
50	10	5.4	0.03	0.03	0.01	0.67	0.64	0.29
60	10	5.4	0.02	0.03	0.01	0.56	0.57	0.26
70	10	5.4	0.02	0.02	0.01	0.47	0.51	0.23
80	10	5.4	0.01	0.02	0.01	0.40	0.46	0.20
90	10	5.4	0.01	0.02	0.01	0.35	0.42	0.18
100	10	5.4	0.01	0.01	0.00	0.30	0.38	0.16
120	10	5.4	0.01	0.01	0.00	0.22	0.32	0.13
140	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.17	0.26	0.11
160	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.13	0.22	0.09
180	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.10	0.18	0.07
200	10	5.4	0.00	0.00	0.00	0.07	0.15	0.06

Kleur	Toelichting
$V_{\max}$	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie voor de functie wonen , alleen 's nachts ($V_{\max} > 0.2$) Geen overschrijding bestaande situatie
$V_{\max}$	Mogelijke overschrijding bestaande situatie voor de functie wonen , alleen 's nachts ($V_{\max} > 0.4$)
$V_{\max}$	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie voor de functie kantoor , zowel overdag als 's nachts ($V_{\max} > 0.6$)
V_{per}	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie ($V_{\text{per}} > 0.05$) Geen overschrijding bestaande situatie

V_{per}	Mogelijke overschrijding bestaande situatie ($V_{per} > 0.10$)
V_{per}	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie voor de functie kantoor , zowel overdag als 's nachts ($V_{per} > 0.07$)

Uit de berekeningen volgt dat er overschrijdingen zijn voor alle type gebouwen, ook vanaf kleine beukmaten. Dit betekent dat er een significante opslingering ontstaat voor hoge gebouwen en dat er geen demping van trillingen is voor lage gebouwen. Voor afstanden vanaf 160 meter en meer voldoet de prognose voor dit gebouw aan de SBR-B streefwaarden voor nieuwe situaties.

5.1.5. Bovengrens van trillingen in gebouwen

De hierboven genoemde waarden zijn de verwachtingswaarde van de trillingen (50%-waarde). Met de 95%-waarde wordt een bovengrens voor de verwachte trillingen gegeven, deze 95%-waarde correspondeert met de bovengrens aan de opslingering van trillingen in woningen zoals wij die tegenkomen in praktijkmetingen. Concreet correspondeert deze 95%-bovengrenswaarde met een situatie waarin gebouwen relatief kaal zijn ingericht (weinig demping, relatief slappe constructie). De 50%-waarde correspondeert meer met de meest voorkomende situaties en is naar verwachting meer representatief voor de te bouwen constructie van het project Kabeldistrict.

In Tabel 5-2 is voor een gebouw van 10 meter hoog de bovengrens van de trillingen in de woningen weergegeven.

Tabel 5-2: Verwachte trillingen in gebouwen (95%-waarde)

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	10	5.4	0.07	0.07	0.01	1.07	1.01	0.34
50	10	5.4	0.06	0.07	0.01	0.89	0.90	0.30
60	10	5.4	0.04	0.06	0.01	0.74	0.80	0.26
70	10	5.4	0.03	0.05	0.01	0.63	0.73	0.23
80	10	5.4	0.02	0.04	0.01	0.53	0.66	0.21
90	10	5.4	0.02	0.03	0.01	0.46	0.60	0.19
100	10	5.4	0.01	0.03	0.00	0.39	0.55	0.17
120	10	5.4	0.01	0.02	0.00	0.29	0.46	0.13
140	10	5.4	0.01	0.01	0.00	0.22	0.38	0.11
160	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.17	0.32	0.09
180	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.13	0.27	0.08
200	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.10	0.23	0.06

Een aantal opmerking bij de resultaten:

- De bovengrensberekening laat een toename van het trillingsniveau t.o.v. de verwachtingswaarden zien. Ook bij deze bovengrensberekening is er zowel overdag als 's nachts een overschrijding van de streefwaarden voor de trillingssterkte V_{max} voor zowel bestaande als nieuwe situaties bij de gebouwfunctie wonen.
- Zoals eerder vermeld zijn, bij een goede bouwwijze, de rekenresultaten voor de verwachtingswaarde naar verwachting het meest representatief. Op dit moment zijn de gebouwwontwerpen nog niet constructief uitgewerkt. Als er meer bekend

is over de constructieve ontwerpen, kunnen de trillingen nauwkeuriger voorspeld worden.

5.2 Samenvatting resultaten

Aan de hand van de resultaten in bijlage IV en bijlage V zijn de resultaten per gebouwtype samengevat in verschillende zones. De zones hebben de volgende betekenis:

Zone	Toelichting	Actie
1	50%-waarde > streefwaarde bestaand	Nader onderzoek, Maatregelen nodig
2	streefwaarde nieuw < 50%-waarde ≤ streefwaarde bestaand	Nader onderzoek, Maatregelafweging nodig
3	streefwaarde nieuw < 95%-waarde ≤ streefwaarde bestaand	Voldoet mogelijk na nader onderzoek, anders maatregelafweging
4	95%-waarde ≤ streefwaarde nieuw	Trillingen niet van invloed op ontwerp gebouw

Een samenvatting van de resultaten voor de gebouwfunctie wonen is in Tabel 5-3 weergegeven, en voor de gebouwfunctie kantoor in Tabel 5-4. Het blijkt dat gebouwen met de bestemming woningen pas vanaf ca. 200 meter afstand gebouwd kunnen worden zonder risico op overschrijding van de streefwaarden voor nieuwe situatie. Verder is te zien dat de beukmaat niet van invloed is op de contourafstanden. De kleinste contourafstanden vinden we terug bij de hoogste gebouwen, en voor de gebouwfunctie kantoor.

Tabel 5-3: Contourafstanden voor zones per gebouwtype voor bestemming wonen

Hoogte	Beukmaat	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
10	5.4	<90	<160	<200	≥200
	6.6	<90	<160	<200	≥200
	7.8	<90	<160	<200	≥200
25	5.4	<140	<180	<210	≥210
	6.6	<140	<180	<210	≥210
	7.8	<140	<180	<210	≥210
40	5.4	<120	<160	<180	≥180
	6.6	<120	<160	<180	≥180
	7.8	<120	<160	<180	≥180
55	5.4	<120	<160	<210	≥210
	6.6	<120	<160	<210	≥210
	7.8	<120	<160	<210	≥210
70	5.4	<120	<160	<200	≥200
	6.6	<120	<160	<200	≥200
	7.8	<120	<160	<200	≥200
85	5.4	<70	<120	<140	≥140
	6.6	<70	<120	<140	≥140
	7.8	<70	<120	<140	≥140
100	5.4	<50	<80	<120	≥120
	6.6	<50	<80	<120	≥120
	7.8	<50	<80	<120	≥120

Tabel 5-4: Contourafstanden voor zones per gebouwtype voor bestemming kantoor

Hoogte	Beukmaat	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
10	5.4	<40	<60	<90	≥90
	6.6	<40	<60	<90	≥90
	7.8	<40	<60	<90	≥90
25	5.4	<60	<100	<140	≥140
	6.6	<60	<100	<140	≥140
	7.8	<60	<100	<140	≥140
40	5.4	<50	<90	<120	≥120
	6.6	<50	<90	<120	≥120
	7.8	<50	<90	<120	≥120
55	5.4	<50	<90	<120	≥120
	6.6	<50	<90	<120	≥120
	7.8	<50	<90	<120	≥120
70	5.4	<40	<80	<120	≥120
	6.6	<40	<80	<120	≥120
	7.8	<40	<80	<120	≥120
85	5.4	<40	<50	<80	≥80
	6.6	<40	<50	<80	≥80
	7.8	<40	<50	<80	≥80
100	5.4	<40	<40	<50	≥50
	6.6	<40	<40	<50	≥50
	7.8	<40	<40	<50	≥50

5.3 Betrouwbaarheid

De prognoses zijn gebaseerd op de meest recente inzichten en de uitgangspunten zoals opgenomen in hoofdstuk 2. Desondanks zijn er een aantal parameters die kunnen leiden tot andere uitkomsten dan zoals hierboven beschreven:

1. Wijzigingen in de sporenlay-out, het spoorgebruik of de rijnsnelheid van de treinen ten opzichte van de situatie waarvan in dit onderzoek is uitgegaan. In het geval van wijzigingen buiten de spoorzone zal ProRail doorgaans trillingsonderzoek uitvoeren. Het projecteffect van PHS Rijswijk – Rotterdam (dichterbij komen van de sporen) is al wel opgenomen in deze berekeningen.
2. Toename van het aantal treinen, waardoor de waarde van V_{per} hoger wordt. De waarde van V_{max} neemt hierdoor niet toe. Het projecteffect van PHS Rijswijk – Rotterdam (meer treinen) is al wel opgenomen in deze berekeningen.
3. De ligging van het spoor heeft invloed op de trillingen van het treinverkeer; deze spoorligging hangt samen met (onder meer) de onderhoudscycli van het spoor. Naar verwachting zorgt deze variatie in spoorligging voor een variatie van +/- 25 procent in de trillingen;
4. Omdat de exacte detaillering van de bebouwing nog niet bekend is, is de spreiding in te verwachten waarden op midden veld nog vrij hoog. Deze spreiding is in rekening gebracht in de prognoses van de 50%-waarde en de 95%-waarde.

5.4 Nader onderzoek

Uit de resultaten van de prognose blijkt dat er in een groot gedeelte van het gebied, en voor verschillende gebouwtypen, kans is op overschrijding van de SBR-B

streefwaarden. Het onderzoek is gebaseerd op metingen op maaiveld op het terrein van “Tiny Houses”, en empirische relaties die de overdracht van trillingen naar de vloeren van de gebouwen beschrijven. Het nader onderzoek kan bestaan uit:

- Aanvullende onderzoek om de overdracht van maaiveldtrillingen naar gebouwtrillingen te bepalen. De bodem in Delft bestaat in de bovenste meters onder meer uit slappe veenlagen. Mogelijk worden de trillingen van deze slappe lagen slechts beperkt overgedragen op de gebouwen. Dit kan onderzocht worden met aanvullende metingen in de omgeving, of met FEM modelberekeningen van de bodem en het gebouw (eindige elementen berekeningen).
- Aanvullend onderzoek om het trillingsgedrag van de gebouwen te bepalen. Aan de hand van het constructieve gebouwontwerp kunnen met FEM berekeningen van het gebouw meer nauwkeurige prognoses van de trillingen worden gedaan.

5.5 Voorkomen van trillingshinder

Op basis van de resultaten van dit onderzoek is sprake van een overschrijding van de streefwaarden voor de maximale waarde (V_{max}) voor een nieuwe- en bestaande situaties. Tevens zijn er overschrijdingen van de streefwaarden voor het tijdsgemiddelde (V_{per}).

Wanneer het wenselijk is om de trillingen verder te reduceren, dan zijn er globaal gezien een aantal mogelijkheden: maatregelen in de bodem (zoals trillingsschermen) of maatregelen aan het gebouw (constructieve maatregelen of het qua trillingen loskoppelen van de fundering en de rest van het gebouw). Relevant hierbij is dat bij de keuze van maatregelen rekening wordt gehouden met de trillingen in het gebouw. De verwachte trillingen zijn dominant rond de 2-5 Hz in de horizontale richting. Maatregelen zullen vooral de trillingen rond 2-5 Hz moeten reduceren, zonder dat de trillingen bij andere frequenties sterk toenemen.

Omdat het trillingsspectrum laagfrequent is, en bijdragen heeft bij verschillende frequenties, is het technisch complex om de trillingen goed te reduceren. Veel maatregelen versterken immers de trillingen bij een bepaalde frequentie, terwijl andere frequenties dan worden uitgedempt. Maatregelen die trillingen bij een bepaalde frequentie versterken, kunnen daarom een averechts effect hebben.

Op basis van bovenstaande zijn er een aantal mogelijke maatregelen te identificeren:

1. Realisatie van een trillingsscherm in de bodem, bijvoorbeeld een sloot of een scherm van beton, jet-grout of een dubbele damwand met een sleuf of EPS² ertussen. Een sloot heeft bij deze bodem, en gezien de diepte van de kelder, pas effect bij een zeer forse diepte, dat is ruimtetechnisch hier niet inpasbaar. Een effectief trillingsscherm zal daarom van beton of jet-grout moeten zijn, en een forse diepte moeten hebben van minimaal zo'n 20.0 meter, bij een breedte van 1.0 meter. De kosten voor een dergelijk scherm bedragen ca.€ 20.000,- per strekkende meter. Ook dan nog is het effect bij frequenties rond 2-5 Hz beperkt, naar verwachting tot maximaal 10 procent. Reducties van minder dan 30 procent worden conform bestaande jurisprudentie als niet voelbaar aangemerkt.
2. Aanpassen van de bebouwing zodat de gevoeligheid voor 2-5 Hz wordt verminderd. Mogelijkheden hiervoor zijn:
 - a. Het verbeteren van de horizontale stijfheid van het gebouw, door gevelopeningen in de kopgevels dicht te maken, niet-dragende wanden te

² Expanded Polystyrene of piepschuim

vervangen door dragen de wanden of door de dikte van de dragende betonwanden te vergroten. Het effect van dergelijke maatregelen is afhankelijk van de bouwconstructie. Door het verhogen van de stijfheid, kan in het gebouw versterking optreden bij hogere frequenties, waardoor het probleem wordt verplaatst naar hogere frequenties.

- b. Het verstijven van de fundering, zodat de overdracht van maaiveldtrillingen naar trillingen in de fundering beperkt wordt. Dit kan bijvoorbeeld met een dikke betonnen plaatfundering (1-2 meter dik), of met een extra zware paalfundering.
3. Afveren van de fundering, door gebruik te maken van een dubbele fundering. De zal dan afgeveerd moeten worden aan de onderzijde of bovenzijde van de kelder, met daarop verende elementen en daarop de bouwconstructie. Hierbij zijn er twee mogelijkheden: afveren met behulp van rubberen blokken of met behulp van stalen veerdozen. Nadeel van een afgeveerde fundering is dat trillingen rond de eigenfrequentie van het systeem altijd worden versterkt. Om frequenties vanaf 4 Hz te reduceren, zal de afveerfrequentie 2.5 Hz of lager moeten zijn. Dergelijke lage frequenties zijn met rubberen blokken niet te realiseren. Met stalen veerdozen kunnen lagere afveerfrequenties gerealiseerd worden, maar de reductie zal vooral optreden voor frequenties groter dan 4 Hz. Verder worden door de toepassing van stalen veerdozen trillingen rond de afveerfrequentie versterkt, waardoor er rond deze frequentie hinderlijke trillingen kunnen ontstaan. De kosten van afveren met stalen veerdozen zijn aanzienlijk: ca. 5% van de bouwkosten.

5.6 Laagfrequent geluid

Trillingen afkomstig van treinverkeer kunnen via de bodem onderdelen van gebouwen in trilling brengen, waardoor binnen het gebouw laagfrequent geluid ontstaat. Het frequentiegebied van laagfrequent geluid gaat van ca. 16 tot 125 Hz. Voor trillingen bij spoorverkeer zijn dit relatief hoogfrequente trillingen, waardoor de amplitude van de trillingen snel afneemt met de afstand tot het spoor. Hinder van laagfrequent geluid treedt bij treinverkeer vooral op bij de volgende omstandigheden:

- Een kleine afstand tussen het gebouw en het spoor, bijvoorbeeld minder dan 30 meter.
- Een stijve bodem tussen het spoor en het gebouw, waardoor trillingen minder snel gedempt worden met de afstand.
- Spoor in een tunnel of verdiepte ligging. Dit kan tot extra hinder leiden omdat:
 - Een spoor in een tunnel of verdiepte ligging is vaak in direct contact met diepere stijve bodemlagen, waardoor er een trillingspad ontstaat door de stijve bodemlagen naar de fundering van gebouwen, en hoogfrequente trillingen makkelijker worden overgedragen.
 - Bij een verdiepte ligging of tunnel is de trein niet zichtbaar, en wordt het directe luchtgeluid afgeschermd, waardoor alleen nog het laagfrequente geluid wordt waargenomen. Het laagfrequente geluid wordt dan als extra hinderlijk ervaren.

Bij het Kabeldistrict spelen bovenstaande aspecten niet. De afstand van het spoor tot de gebouwen is minimaal 40 meter, er is sprake van een zeer slappe bodem, en er is geen sprake van een tunnel of verdiepte ligging. Ook blijkt uit het gemeten trillingsspectrum dat al op 22 meter afstand van het spoor veruit het grootste deel van de trillingsenergie in het frequentiegebied van 1-10 Hz zit. Frequenties van 1-10 Hz zijn te laag om te

horen, en veroorzaken geen hinder van laagfrequent geluid. Hinder van laagfrequent geluid door treinverkeer is daarom niet te verwachten in het Kabeldistrict.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusie

Op basis van de resultaten van dit onderzoek zijn er in het plangebied voor alle beschouwde gebouwtypen overschrijdingen van de streefwaarden voor de trillingssterkte (V_{max}) voor een bestaande en voor een nieuwe situatie te verwachten. Dit komt vooral door de passages van enkele afwijkende goederentreinen, die hoge trillingen veroorzaken bij lage frequenties (2-5 Hz). Het betreft hier incidentele goederentreinen (enkele malen per week). Er zijn ook overschrijdingen door reizigerstreinen, maar deze zijn veel kleiner dan die door de goederentreinen; de goederentreinen zijn derhalve maatgevend. Er zijn ook overschrijdingen van de streefwaarden voor het tijdsgemiddelde (V_{per}), maar de zone waarin de overschrijdingen voorkomen is kleiner dan de zone van de overschrijdingen van de trillingssterkte (V_{max}).

Verder concluderen we uit de trillingsprognoses:

- Door de lage frequenties zijn horizontale trillingen bovenin de gebouwen maatgevend.
- De beukmaten van de woningen zijn nauwelijks van invloed op de maatgevende horizontale trillingen in de gebouwen.
- De grootste trillingen zijn te verwachten in de gebouwen van 25-70 meter hoog, en de laagste trillingen in de gebouwen van 10, 85 en 100 meter hoog.
- Er zijn zowel overschrijdingen van de streefwaarden voor de gebouwfunctie *wonen* als voor de gebouwfunctie *kantoor*. Overschrijdingen van de streefwaarden treden voor woningen op bij een lagere trillingssterkte dan bij kantoren. Hierdoor is de zone met overschrijdingen voor de gebouwfunctie *wonen* groter dan voor de gebouwfunctie *kantoor*.

Maatregelen

Op de volgende manieren kan de hinder van trillingen in het Kabeldistrict beperkt worden:

1. Door de gebouwtypen met de minste trillingen het dichtst bij het spoor te plaatsen (gebouwen met een hoogte van meer dan 80 meter).
2. Door de gebouwen met een kantoorfunctie dichter bij het spoor te plaatsen dan gebouwen met een woonfunctie.
3. Door het treffen van trillingsreducerende maatregelen aan de gebouwen. Hierbij valt te denken aan een extra zware fundering, of het afveren van gebouwen.

Laagfrequent geluid

Bij het Kabeldistrict achten we de kans op hinder van laagfrequent geluid klein. De afstand van het spoor tot de gebouwen is groter dan 30 meter, er is sprake van een zeer slappe bodem, en er is geen sprake van een tunnel of verdiepte ligging die kan leiden tot laagfrequent geluid. Ook blijkt uit het gemeten trillingsspectrum dat al op 22 meter afstand van het spoor veruit het grootste deel van de trillingsenergie in het frequentiegebied van 1-10 Hz zit. Frequenties van 1-10 Hz zijn te laag om te horen, en veroorzaken geen hinder van laagfrequent geluid. Hinder van laagfrequent geluid door treinverkeer is daarom niet te verwachten in het Kabeldistrict.

6.2 Aanbevelingen

In Tabel 6-1 en Tabel 6-2 zijn voor de gebouwfunctie *wonen* en de gebouwfunctie *kantoor* verschillende zones met afstanden tot het spoor gedefinieerd. Afhankelijk van de zone waarin een gebouw zich bevindt, is er vervolgonderzoek nodig, of is het de verwachting dat er maatregelen nodig zijn. De zones hebben de volgende betekenis:

Zone	Toelichting	Actie
1	50%-waarde > streefwaarde bestaand	Nader onderzoek, Maatregelen nodig
2	streefwaarde nieuw < 50%-waarde ≤ streefwaarde bestaand	Nader onderzoek, Maatregelafweging nodig
3	streefwaarde nieuw < 95%-waarde ≤ streefwaarde bestaand	Voldoet mogelijk na nader onderzoek, anders maatregelafweging
4	95%-waarde ≤ streefwaarde nieuw	Trillingen niet van invloed op ontwerp gebouw, geen nader onderzoek

Tabel 6-1: Contourafstanden voor zones per bouwtype voor bestemming *wonen*

Hoogte	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
10	<90	<160	<200	≥200
25	<140	<180	<210	≥210
40	<120	<160	<180	≥180
55	<120	<160	<210	≥210
70	<120	<160	<200	≥200
85	<70	<120	<140	≥140
100	<50	<80	<120	≥120

Tabel 6-2: Contourafstanden voor zones per bouwtype voor bestemming *kantoor*

Hoogte	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
10	<40	<60	<90	≥90
25	<60	<100	<140	≥140
40	<50	<90	<120	≥120
55	<50	<90	<120	≥120
70	<40	<80	<120	≥120
85	<40	<50	<80	≥80
100	<40	<40	<50	≥50

Vanwege de slappe bodem bevelen we aan om nader onderzoek in eerste instantie te richten op de het bepalen van de trillingsoverdracht van maaiveldtrillingen naar trillingen op de fundering. Mogelijk reduceert een fundering op palen de maaiveldtrillingen meer dan waar in de berekeningen vanuit is gegaan. Dit kan van toepassing zijn op alle gebouwen in zone 1-3. Het onderzoek kan uitgevoerd met aanvullende metingen en/of eindige elementen modellen (FEM) met de bodem.

Voor gebouwen waar de verwachtingswaarde hoger is dan de streefwaarde voor nieuwe situaties (zone 1 en 2) bevelen we analyses van de gebouwen met eindige elementen modellen (FEM) aan. Met behulp van deze analyses kan het effect van eventuele maatregelen onderzocht worden.

Colofon

Opdrachtgever Aveco de Bondt B.V. Vestiging Holte
Jeroen Hendriks

Uitgave Movares Nederland B.V.

Kennislijn Gebouwen en Infra
groep Lijninfra en Geotechniek:Lijninfra en Geotechniek

Daalse Kwint
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 06-16 37 68 23

Ondertekenaar
Adviseur

Projectnummer MN001735

Kenmerk D79-KGA-KA-2100047

© 2021, Movares Nederland B.V.

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 Movares Nederland B.V.

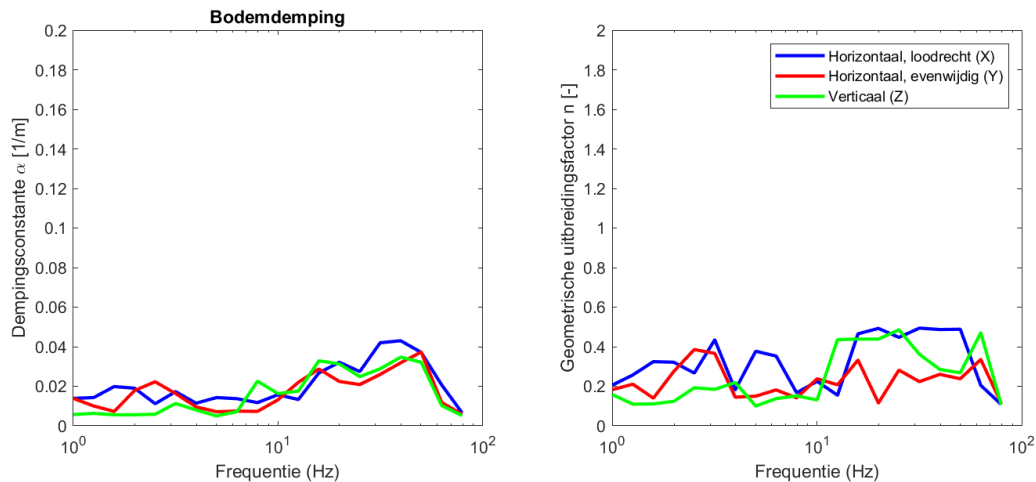
Bijlage I - Gegevens van de metingen

Conform de eisen in de SBR B-richtlijn, hoofdstuk 11, bevat deze bijlage de gegevens van de metingen.

1	Uitvoerende organisatie	<i>Movares Nederland B.V.</i> <i>Daalseplein 101</i> <i>3511 SX Utrecht</i>
	Verantwoordelijke persoon	<i>Ir. P.M. Boon</i> <i>e-mail Pieter.boon@movares.nl</i> <i>tel.: 06-10039454</i>
2	Meting uitgevoerd door	<i>Mohamed Kabbouch</i>
3	Tijdsperiode meting	<i>26-02-2018 10:00 tot 27-02-2019 12:00 (korteduurmeting)</i> <i>19-02-2019 10:00 tot 27-02-2019 12:00 (langeduurmeting)</i>
4	Type trillingsbron	<i>Treinen.</i>
5	Gebouwomschrijving	<i>Niet van toepassing</i>
6	Locatie metingen	<i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>
7	Geotechnische gegevens	<i>Zie Bijlage III</i>
8	Meetposities	<i>Zie plattegrond in hoofdstuk 2</i>
9	Gebruikte meetopnemers	<i>Zeven 3D-geofoons</i>
	Gebruikte registratieapparatuur	<i>Webcam gekoppeld aan meetcomputer</i>
	Gebruikte verwerkingsapparatuur	<i>Raspberry Pi met USB-DUX.</i> <i>Meetcomputers leggen zowel de trillingssterkte per 30 seconden als het tijdssignaal vast.</i>
10	Overzicht meetwaarden	<i>Zie figuren in hoofdstuk 4</i>
11	Motivatie classificatie gebouw	<i>Zie hoofdstuk 2</i>
12	Overige relevante omstandigheden	<i>Zie hoofdstuk 2</i>

Bijlage II - Meetresultaten

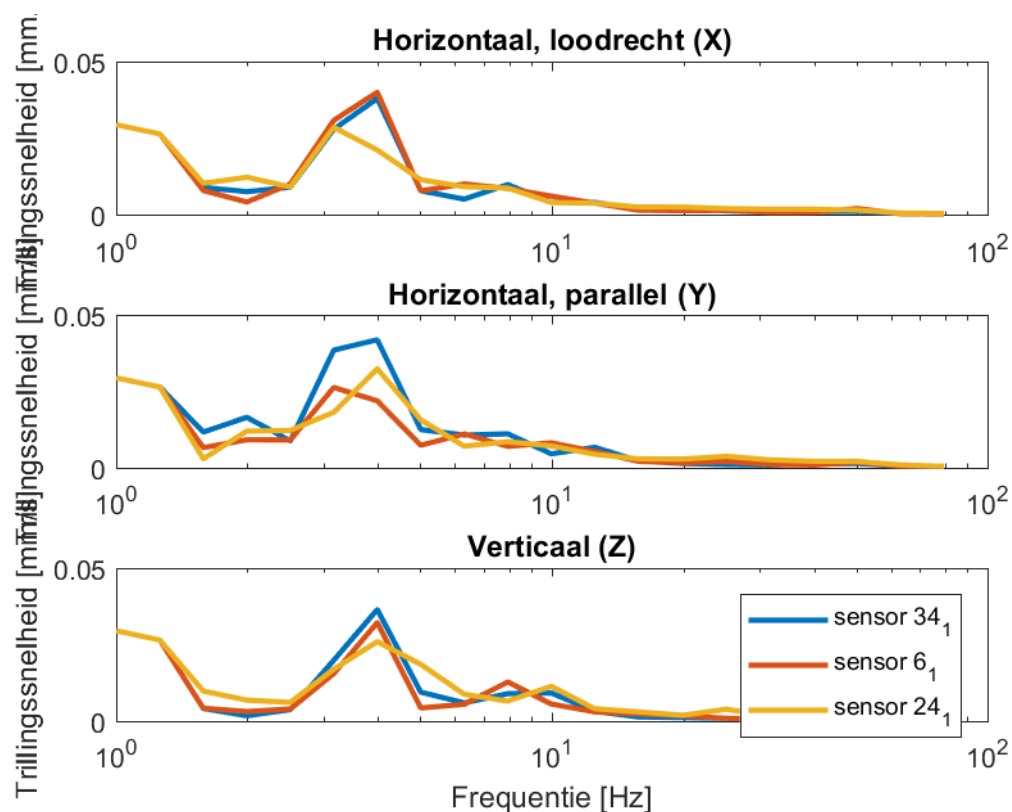
In Figuur II - 1 zijn de dynamische bodemeigenschappen weergegeven. Links is de bodemdemping weergegeven, rechts de geometrische spreiding van de trillingen.



Figuur II - 1 Bodemdemping en geometrische spreiding

Hier moet nog aan toe worden gevoegd dat de meting heeft plaatsgevonden op een drassige toplaag. Waarschijnlijk zal op het terrein van Kabeldistrict bij het bouwrijp maken een grondverbetering uitgevoerd worden, waarbij de toplaag vervangen wordt met een laag (drainage)zand. Hierdoor zullen de lage frequenties (10Hz en lager) minder hoog worden. Het effect op de rekenresultaten uit dit onderzoek is naar verwachting beperkt.

In Figuur II - 2 is het gemiddelde trillingsspectrum van een representatieve trein weergegeven op de meetpunten parallel aan het spoor. Met name tussen de 2 en de 10 Hz is beperkte variatie te zien tussen de meetpunten, en met name in horizontale richting. De berekeningen uit dit onderzoek zijn gebaseerd op het rode meetpunt (sensor 6_1). Dit is de langeduurmeting.



Figuur II - 2 Trillingssnelheden van de per richting.

Bij meetpunt 34_1 is kennelijk sprake van een lokaal bodemeffect. Met name in de Y-richting is het gemeten trillingsniveau van bij dit meetpunt wat hoger dan bij meetpunt 6_1. Deze variatie is echter 'normaal' en valt binnen de onzekerheidsmarge van dit onderzoek.

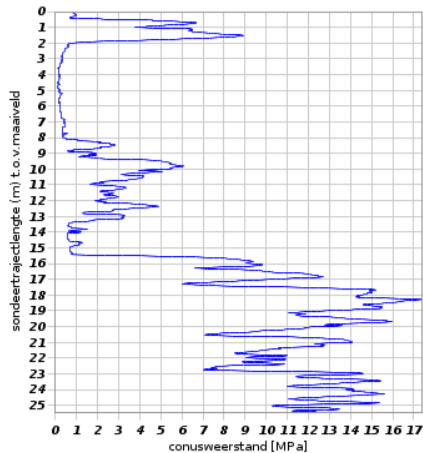
Gezien de bodemgesteldheid van de projectlocatie is het aannemelijk dat er tijdens het bouwrijpmaken een grondverbetering wordt uitgevoerd. Hierdoor zullen dit soort lokale bodemeffecten afnemen. Ook blijkt uit de metingen dat de X-richting over het algemeen de maatgevende trillingssrichting is. Voor dit onderzoek lijkt het afdoende om te rekenen met de metingen van meetpunt 6_1.

Bijlage III – Bodemgegevens

In deze bijlage zijn sonderingen opgenomen die een beeld geven van de bodemopbouw ter plekke. Binnen het onderzoeksgebied zijn geen sonderingen beschikbaar in Dino Locket. Sondering CPT000000033428 (Figuur III - 1) valt buiten het onderzoeksgebied, maar mag gezien worden als representatief. Duidelijk is dat er vrij slappe toplagen aanwezig zijn. Met name de hoogfrequente trillingen dempen door de slappe bodem snel uit.

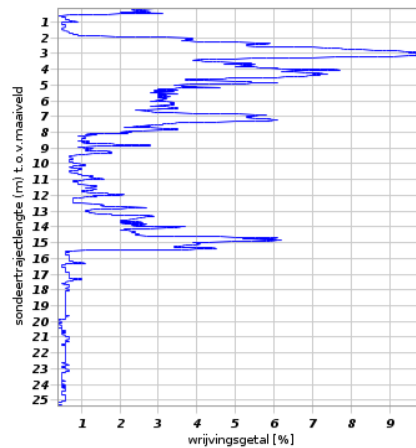
Geotechnisch sondeeronderzoek BRO

BRO-ID: CPT000000033428
Aangeleverde coördinaten: 84372.000, 445346.000 (RD)



Geotechnisch sondeeronderzoek BRO

BRO-ID: CPT000000033428
Aangeleverde coördinaten: 84372.000, 445346.000 (RD)



Figuur III - 1 Conusweerstand (links) en wrijvingsgetal (rechts) voor sondering CPT000000033428

Bijlage IV – Resultaten trillingen (50%-waarde)

In de volgende tabellen zijn verwachtingswaarde van de trillingen (50%-waarde) weergegeven voor alle typen beschouwde gebouwen.

Kleur	Toelichting
V_{max}	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie voor de functie wonen , alleen 's nachts ($V_{\max} > 0.2$) Geen overschrijding bestaande situatie
V_{max}	Mogelijke overschrijding bestaande situatie voor de functie wonen , alleen 's nachts ($V_{\max} > 0.4$)
V_{max}	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie voor de functie kantoor , zowel overdag als 's nachts ($V_{\max} > 0.6$)
V_{max}	Mogelijke overschrijding bestaande situatie voor de functie kantoor , zowel overdag als 's nachts ($V_{\max} > 0.6$)
V_{per}	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie ($V_{\text{per}} > 0.05$) Geen overschrijding bestaande situatie
V_{per}	Mogelijke overschrijding bestaande situatie ($V_{\text{per}} > 0.10$)
V_{per}	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie voor de functie kantoor , zowel overdag als 's nachts ($V_{\text{per}} > 0.07$)
V_{per}	Mogelijke overschrijding bestaande situatie voor de functie kantoor , zowel overdag als 's nachts ($V_{\text{per}} > 0.15$)

Tabel IV- 1: Verwachtingswaarde voor gebouwen 10m hoog

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	10	5.4	0.04	0.04	0.01	0.80	0.72	0.33
50	10	5.4	0.03	0.03	0.01	0.67	0.64	0.29
60	10	5.4	0.02	0.03	0.01	0.56	0.57	0.26
70	10	5.4	0.02	0.02	0.01	0.47	0.51	0.23
80	10	5.4	0.01	0.02	0.01	0.40	0.46	0.20
90	10	5.4	0.01	0.02	0.01	0.35	0.42	0.18
100	10	5.4	0.01	0.01	0.00	0.30	0.38	0.16
120	10	5.4	0.01	0.01	0.00	0.22	0.32	0.13
140	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.17	0.26	0.11
160	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.13	0.22	0.09
180	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.10	0.18	0.07
200	10	5.4	0.00	0.00	0.00	0.07	0.15	0.06

Tabel IV - 2: Verwachtingswaarde voor gebouwen 25m hoog

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	25	5.4	0.08	0.08	0.01	1.79	1.82	0.33
50	25	5.4	0.06	0.06	0.01	1.47	1.47	0.29
60	25	5.4	0.05	0.04	0.01	1.23	1.20	0.26
70	25	5.4	0.04	0.03	0.01	1.03	1.00	0.23
80	25	5.4	0.03	0.03	0.01	0.88	0.84	0.21
90	25	5.4	0.02	0.02	0.01	0.75	0.71	0.18
100	25	5.4	0.02	0.02	0.00	0.64	0.60	0.17
120	25	5.4	0.02	0.01	0.00	0.48	0.44	0.14
140	25	5.4	0.01	0.01	0.00	0.36	0.34	0.11
160	25	5.4	0.01	0.01	0.00	0.27	0.28	0.09
180	25	5.4	0.01	0.01	0.00	0.21	0.23	0.08
200	25	5.4	0.00	0.01	0.00	0.16	0.19	0.07

Tabel IV - 3: Verwachtingswaarde voor gebouwen 40m hoog

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	40	5.4	0.05	0.05	0.01	1.34	1.34	0.35
50	40	5.4	0.04	0.04	0.01	1.10	1.1	0.31
60	40	5.4	0.03	0.03	0.01	0.92	0.91	0.27
70	40	5.4	0.02	0.03	0.01	0.77	0.77	0.24
80	40	5.4	0.02	0.02	0.01	0.65	0.65	0.22
90	40	5.4	0.02	0.02	0.01	0.55	0.56	0.2
100	40	5.4	0.01	0.02	0.01	0.47	0.48	0.18
120	40	5.4	0.01	0.01	0	0.35	0.36	0.15
140	40	5.4	0.01	0.01	0	0.26	0.28	0.12
160	40	5.4	0.01	0.01	0	0.2	0.22	0.1
180	40	5.4	0	0	0	0.15	0.17	0.09
200	40	5.4	0	0	0	0.11	0.14	0.07

Tabel IV - 4: Verwachtingswaarde voor gebouwen 55m hoog

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	55	5.4	0.05	0.05	0.01	1.31	1.24	0.34
50	55	5.4	0.04	0.04	0.01	1.10	1.03	0.3
60	55	5.4	0.03	0.03	0.01	0.92	0.86	0.27
70	55	5.4	0.03	0.02	0.01	0.79	0.74	0.24
80	55	5.4	0.02	0.02	0.01	0.67	0.63	0.22
90	55	5.4	0.02	0.02	0.01	0.58	0.55	0.19
100	55	5.4	0.02	0.02	0.01	0.5	0.47	0.18
120	55	5.4	0.01	0.01	0	0.38	0.36	0.14
140	55	5.4	0.01	0.01	0	0.29	0.29	0.12
160	55	5.4	0.01	0.01	0	0.22	0.24	0.1
180	55	5.4	0	0.01	0	0.17	0.19	0.08
200	55	5.4	0	0	0	0.13	0.16	0.07

Tabel IV - 5: Verwachtingswaarde voor gebouwen 70m hoog

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	70	5.4	0.04	0.04	0.01	1.22	1.18	0.31
50	70	5.4	0.03	0.03	0.01	1.01	0.97	0.28
60	70	5.4	0.03	0.03	0.01	0.85	0.82	0.24
70	70	5.4	0.02	0.02	0.01	0.72	0.69	0.22
80	70	5.4	0.02	0.02	0.01	0.61	0.59	0.2
90	70	5.4	0.02	0.02	0.01	0.52	0.51	0.18
100	70	5.4	0.01	0.01	0	0.45	0.44	0.16
120	70	5.4	0.01	0.01	0	0.33	0.34	0.13
140	70	5.4	0.01	0.01	0	0.25	0.26	0.11
160	70	5.4	0.01	0.01	0	0.19	0.2	0.09
180	70	5.4	0	0	0	0.15	0.16	0.08
200	70	5.4	0	0	0	0.11	0.13	0.06

Tabel IV - 6: Verwachtingswaarde voor gebouwen 85m hoog

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	85	5.4	0.03	0.03	0.01	0.76	0.80	0.28
50	85	5.4	0.02	0.02	0.01	0.62	0.64	0.24
60	85	5.4	0.02	0.02	0.01	0.51	0.53	0.22
70	85	5.4	0.01	0.01	0.01	0.43	0.43	0.19
80	85	5.4	0.01	0.01	0	0.36	0.36	0.17
90	85	5.4	0.01	0.01	0	0.3	0.31	0.15
100	85	5.4	0.01	0.01	0	0.26	0.26	0.14
120	85	5.4	0.01	0.01	0	0.19	0.19	0.11
140	85	5.4	0	0	0	0.14	0.14	0.09
160	85	5.4	0	0	0	0.1	0.11	0.08
180	85	5.4	0	0	0	0.08	0.08	0.07
200	85	5.4	0	0	0	0.06	0.06	0.05

Tabel IV - 7: Verwachtingswaarde voor gebouwen 100m hoog en 5,4m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	100	5.4	0.02	0.02	0.01	0.47	0.52	0.23
50	100	5.4	0.01	0.01	0.01	0.38	0.41	0.21
60	100	5.4	0.01	0.01	0.01	0.32	0.33	0.18
70	100	5.4	0.01	0.01	0	0.26	0.26	0.16
80	100	5.4	0.01	0.01	0	0.22	0.22	0.15
90	100	5.4	0.01	0.01	0	0.19	0.18	0.13
100	100	5.4	0.01	0	0	0.16	0.15	0.12
120	100	5.4	0	0	0	0.12	0.11	0.1
140	100	5.4	0	0	0	0.09	0.08	0.08
160	100	5.4	0	0	0	0.07	0.06	0.07
180	100	5.4	0	0	0	0.05	0.05	0.06
200	100	5.4	0	0	0	0.04	0.04	0.05

Tabel IV - 8: Verwachtingswaarde voor gebouwen 10m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	10	6.6	0.04	0.04	0.01	0.80	0.72	0.33
50	10	6.6	0.03	0.03	0.01	0.67	0.64	0.29
60	10	6.6	0.02	0.03	0.01	0.56	0.57	0.26
70	10	6.6	0.02	0.02	0.01	0.47	0.51	0.23
80	10	6.6	0.01	0.02	0.01	0.4	0.46	0.2
90	10	6.6	0.01	0.02	0.01	0.35	0.42	0.18
100	10	6.6	0.01	0.01	0	0.3	0.38	0.16
120	10	6.6	0.01	0.01	0	0.22	0.32	0.13
140	10	6.6	0	0.01	0	0.17	0.26	0.11
160	10	6.6	0	0.01	0	0.13	0.22	0.09
180	10	6.6	0	0.01	0	0.1	0.18	0.07
200	10	6.6	0	0	0	0.07	0.15	0.06

Tabel IV - 9: Verwachtingswaarde voor gebouwen 25m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	25	6.6	0.08	0.08	0.01	1.79	1.82	0.33
50	25	6.6	0.06	0.06	0.01	1.47	1.47	0.29
60	25	6.6	0.05	0.04	0.01	1.23	1.20	0.26
70	25	6.6	0.04	0.03	0.01	1.03	1.00	0.23
80	25	6.6	0.03	0.03	0.01	0.88	0.84	0.21
90	25	6.6	0.02	0.02	0.01	0.75	0.71	0.18
100	25	6.6	0.02	0.02	0	0.64	0.6	0.17
120	25	6.6	0.02	0.01	0	0.48	0.44	0.14
140	25	6.6	0.01	0.01	0	0.36	0.34	0.11
160	25	6.6	0.01	0.01	0	0.27	0.28	0.09
180	25	6.6	0.01	0.01	0	0.21	0.23	0.08
200	25	6.6	0	0.01	0	0.16	0.19	0.07

Tabel IV - 10: Verwachtingswaarde voor gebouwen 40m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	40	6.6	0.05	0.05	0.01	1.34	1.34	0.35
50	40	6.6	0.04	0.04	0.01	1.10	1.1	0.31
60	40	6.6	0.03	0.03	0.01	0.92	0.91	0.27
70	40	6.6	0.02	0.03	0.01	0.77	0.77	0.24
80	40	6.6	0.02	0.02	0.01	0.65	0.65	0.22
90	40	6.6	0.02	0.02	0.01	0.55	0.56	0.2
100	40	6.6	0.01	0.02	0.01	0.47	0.48	0.18
120	40	6.6	0.01	0.01	0	0.35	0.36	0.15
140	40	6.6	0.01	0.01	0	0.26	0.28	0.12
160	40	6.6	0.01	0.01	0	0.2	0.22	0.1
180	40	6.6	0	0	0	0.15	0.17	0.09
200	40	6.6	0	0	0	0.11	0.14	0.07

Tabel IV - 11: Verwachtingswaarde voor gebouwen 55m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	55	6.6	0.05	0.05	0.01	1.31	1.24	0.34
50	55	6.6	0.04	0.04	0.01	1.10	1.03	0.3
60	55	6.6	0.03	0.03	0.01	0.92	0.86	0.27
70	55	6.6	0.03	0.02	0.01	0.79	0.74	0.24
80	55	6.6	0.02	0.02	0.01	0.67	0.63	0.22
90	55	6.6	0.02	0.02	0.01	0.58	0.55	0.19
100	55	6.6	0.02	0.02	0.01	0.50	0.47	0.18
120	55	6.6	0.01	0.01	0	0.38	0.36	0.14
140	55	6.6	0.01	0.01	0	0.29	0.29	0.12
160	55	6.6	0.01	0.01	0	0.22	0.24	0.1
180	55	6.6	0	0.01	0	0.17	0.19	0.08
200	55	6.6	0	0	0	0.13	0.16	0.07

Tabel IV - 12: Verwachtingswaarde voor gebouwen 70m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	70	6.6	0.04	0.04	0.01	1.22	1.18	0.31
50	70	6.6	0.03	0.03	0.01	1.01	0.97	0.28
60	70	6.6	0.03	0.03	0.01	0.85	0.82	0.24
70	70	6.6	0.02	0.02	0.01	0.72	0.69	0.22
80	70	6.6	0.02	0.02	0.01	0.61	0.59	0.2
90	70	6.6	0.02	0.02	0.01	0.52	0.51	0.18
100	70	6.6	0.01	0.01	0	0.45	0.44	0.16
120	70	6.6	0.01	0.01	0	0.33	0.34	0.13
140	70	6.6	0.01	0.01	0	0.25	0.26	0.11
160	70	6.6	0.01	0.01	0	0.19	0.2	0.09
180	70	6.6	0	0	0	0.15	0.16	0.08
200	70	6.6	0	0	0	0.11	0.13	0.06

Tabel IV - 13: Verwachtingswaarde voor gebouwen 85m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	85	6.6	0.03	0.03	0.01	0.76	0.80	0.28
50	85	6.6	0.02	0.02	0.01	0.62	0.64	0.24
60	85	6.6	0.02	0.02	0.01	0.51	0.53	0.22
70	85	6.6	0.01	0.01	0.01	0.43	0.43	0.19
80	85	6.6	0.01	0.01	0	0.36	0.36	0.17
90	85	6.6	0.01	0.01	0	0.3	0.31	0.15
100	85	6.6	0.01	0.01	0	0.26	0.26	0.14
120	85	6.6	0.01	0.01	0	0.19	0.19	0.11
140	85	6.6	0	0	0	0.14	0.14	0.09
160	85	6.6	0	0	0	0.1	0.11	0.08
180	85	6.6	0	0	0	0.08	0.08	0.07
200	85	6.6	0	0	0	0.06	0.06	0.05

Tabel IV - 14: *Verwachtingswaarde voor gebouwen 100m hoog en 6,6m beukmaat*

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V_{per}			V_{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	100	6.6	0.02	0.02	0.01	0.47	0.52	0.23
50	100	6.6	0.01	0.01	0.01	0.38	0.41	0.21
60	100	6.6	0.01	0.01	0.01	0.32	0.33	0.18
70	100	6.6	0.01	0.01	0	0.26	0.26	0.16
80	100	6.6	0.01	0.01	0	0.22	0.22	0.15
90	100	6.6	0.01	0.01	0	0.19	0.18	0.13
100	100	6.6	0.01	0	0	0.16	0.15	0.12
120	100	6.6	0	0	0	0.12	0.11	0.1
140	100	6.6	0	0	0	0.09	0.08	0.08
160	100	6.6	0	0	0	0.07	0.06	0.07
180	100	6.6	0	0	0	0.05	0.05	0.06
200	100	6.6	0	0	0	0.04	0.04	0.05

Tabel IV - 15: Verwachtingswaarde voor gebouwen 10m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	10	7.8	0.04	0.04	0.01	0.81	0.72	0.33
50	10	7.8	0.03	0.03	0.01	0.67	0.64	0.29
60	10	7.8	0.02	0.03	0.01	0.56	0.57	0.26
70	10	7.8	0.02	0.02	0.01	0.47	0.51	0.23
80	10	7.8	0.01	0.02	0.01	0.4	0.46	0.2
90	10	7.8	0.01	0.02	0.01	0.35	0.42	0.18
100	10	7.8	0.01	0.01	0	0.3	0.38	0.16
120	10	7.8	0.01	0.01	0	0.22	0.32	0.13
140	10	7.8	0	0.01	0	0.17	0.26	0.11
160	10	7.8	0	0.01	0	0.13	0.22	0.09
180	10	7.8	0	0.01	0	0.1	0.18	0.07
200	10	7.8	0	0	0	0.07	0.15	0.06

Tabel IV - 16: Verwachtingswaarde voor gebouwen 25m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	25	7.8	0.08	0.08	0.01	1.79	1.82	0.33
50	25	7.8	0.06	0.06	0.01	1.47	1.47	0.29
60	25	7.8	0.05	0.04	0.01	1.23	1.2	0.26
70	25	7.8	0.04	0.03	0.01	1.03	1.00	0.23
80	25	7.8	0.03	0.03	0.01	0.88	0.84	0.21
90	25	7.8	0.02	0.02	0.01	0.75	0.71	0.19
100	25	7.8	0.02	0.02	0	0.64	0.6	0.17
120	25	7.8	0.02	0.01	0	0.48	0.44	0.14
140	25	7.8	0.01	0.01	0	0.36	0.34	0.11
160	25	7.8	0.01	0.01	0	0.27	0.28	0.09
180	25	7.8	0.01	0.01	0	0.21	0.23	0.08
200	25	7.8	0	0.01	0	0.16	0.19	0.07

Tabel IV - 17: Verwachtingswaarde voor gebouwen 40m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	40	7.8	0.05	0.05	0.01	1.34	1.34	0.35
50	40	7.8	0.04	0.04	0.01	1.10	1.10	0.31
60	40	7.8	0.03	0.03	0.01	0.92	0.91	0.27
70	40	7.8	0.02	0.03	0.01	0.77	0.77	0.24
80	40	7.8	0.02	0.02	0.01	0.65	0.65	0.22
90	40	7.8	0.02	0.02	0.01	0.55	0.56	0.20
100	40	7.8	0.01	0.02	0.01	0.47	0.48	0.18
120	40	7.8	0.01	0.01	0	0.35	0.36	0.15
140	40	7.8	0.01	0.01	0	0.26	0.28	0.12
160	40	7.8	0.01	0.01	0	0.20	0.22	0.10
180	40	7.8	0	0	0	0.15	0.17	0.09
200	40	7.8	0	0	0	0.11	0.14	0.07

Tabel IV - 18: Verwachtingswaarde voor gebouwen 55m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	55	7.8	0.05	0.05	0.01	1.31	1.24	0.34
50	55	7.8	0.04	0.04	0.01	1.10	1.03	0.3
60	55	7.8	0.03	0.03	0.01	0.92	0.86	0.27
70	55	7.8	0.03	0.02	0.01	0.79	0.74	0.24
80	55	7.8	0.02	0.02	0.01	0.67	0.63	0.22
90	55	7.8	0.02	0.02	0.01	0.58	0.55	0.19
100	55	7.8	0.02	0.02	0.01	0.5	0.47	0.18
120	55	7.8	0.01	0.01	0	0.38	0.36	0.14
140	55	7.8	0.01	0.01	0	0.29	0.29	0.12
160	55	7.8	0.01	0.01	0	0.22	0.24	0.1
180	55	7.8	0	0.01	0	0.17	0.19	0.08
200	55	7.8	0	0	0	0.13	0.16	0.07

Tabel IV - 19: Verwachtingswaarde voor gebouwen 70m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	70	7.8	0.04	0.04	0.01	1.22	1.18	0.31
50	70	7.8	0.03	0.03	0.01	1.01	0.97	0.28
60	70	7.8	0.03	0.03	0.01	0.85	0.82	0.24
70	70	7.8	0.02	0.02	0.01	0.72	0.69	0.22
80	70	7.8	0.02	0.02	0.01	0.61	0.59	0.2
90	70	7.8	0.02	0.02	0.01	0.52	0.51	0.18
100	70	7.8	0.01	0.01	0	0.45	0.44	0.16
120	70	7.8	0.01	0.01	0	0.33	0.34	0.13
140	70	7.8	0.01	0.01	0	0.25	0.26	0.11
160	70	7.8	0.01	0.01	0	0.19	0.2	0.09
180	70	7.8	0	0	0	0.15	0.16	0.08
200	70	7.8	0	0	0	0.11	0.13	0.06

Tabel IV - 20: Verwachtingswaarde voor gebouwen 85m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	85	7.8	0.03	0.03	0.01	0.76	0.80	0.28
50	85	7.8	0.02	0.02	0.01	0.62	0.64	0.24
60	85	7.8	0.02	0.02	0.01	0.51	0.53	0.22
70	85	7.8	0.01	0.01	0.01	0.43	0.43	0.19
80	85	7.8	0.01	0.01	0	0.36	0.36	0.17
90	85	7.8	0.01	0.01	0	0.3	0.31	0.15
100	85	7.8	0.01	0.01	0	0.26	0.26	0.14
120	85	7.8	0.01	0.01	0	0.19	0.19	0.11
140	85	7.8	0	0	0	0.14	0.14	0.09
160	85	7.8	0	0	0	0.1	0.11	0.08
180	85	7.8	0	0	0	0.08	0.08	0.07
200	85	7.8	0	0	0	0.06	0.06	0.05

Tabel IV - 21: *Verwachtingswaarde voor gebouwen 100m hoog en 7,8m beukmaat*

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	100	7.8	0.02	0.02	0.01	0.47	0.52	0.23
50	100	7.8	0.01	0.01	0.01	0.38	0.41	0.21
60	100	7.8	0.01	0.01	0.01	0.32	0.33	0.18
70	100	7.8	0.01	0.01	0	0.26	0.26	0.16
80	100	7.8	0.01	0.01	0	0.22	0.22	0.15
90	100	7.8	0.01	0.01	0	0.19	0.18	0.13
100	100	7.8	0.01	0	0	0.16	0.15	0.12
120	100	7.8	0	0	0	0.12	0.11	0.1
140	100	7.8	0	0	0	0.09	0.08	0.08
160	100	7.8	0	0	0	0.07	0.06	0.07
180	100	7.8	0	0	0	0.05	0.05	0.06
200	100	7.8	0	0	0	0.04	0.04	0.05

Bijlage V – Resultaten trillingen (95%-waarde)

In de volgende tabellen zijn de bovengrenswaarden van de trillingen (95%-waarde) weergegeven voor alle typen beschouwde gebouwen.

Kleur	Toelichting
V_{max}	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie voor de functie wonen , alleen 's nachts ($V_{\max} > 0.2$) Geen overschrijding bestaande situatie
V_{max}	Mogelijke overschrijding bestaande situatie voor de functie wonen , alleen 's nachts ($V_{\max} > 0.4$)
V_{max}	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie voor de functie kantoor , zowel overdag als 's nachts ($V_{\max} > 0.6$)
V_{max}	Mogelijke overschrijding bestaande situatie voor de functie kantoor , zowel overdag als 's nachts ($V_{\max} > 0.6$)
V_{per}	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie ($V_{\text{per}} > 0.05$) Geen overschrijding bestaande situatie
V_{per}	Mogelijke overschrijding bestaande situatie ($V_{\text{per}} > 0.10$)
V_{per}	Mogelijke overschrijding nieuwe situatie voor de functie kantoor , zowel overdag als 's nachts ($V_{\text{per}} > 0.07$)
V_{per}	Mogelijke overschrijding bestaande situatie voor de functie kantoor , zowel overdag als 's nachts ($V_{\text{per}} > 0.15$)

Tabel V - 1: 95%-waarde voor gebouwen 10m hoog en 5,4m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	10	5.4	0.07	0.07	0.01	1.07	1.01	0.34
50	10	5.4	0.06	0.07	0.01	0.89	0.90	0.30
60	10	5.4	0.04	0.06	0.01	0.74	0.80	0.26
70	10	5.4	0.03	0.05	0.01	0.63	0.73	0.23
80	10	5.4	0.02	0.04	0.01	0.53	0.66	0.21
90	10	5.4	0.02	0.03	0.01	0.46	0.60	0.19
100	10	5.4	0.01	0.03	0.00	0.39	0.55	0.17
120	10	5.4	0.01	0.02	0.00	0.29	0.46	0.13
140	10	5.4	0.01	0.01	0.00	0.22	0.38	0.11
160	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.17	0.32	0.09
180	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.13	0.27	0.08
200	10	5.4	0.00	0.01	0.00	0.10	0.23	0.06

Tabel V- 2: 95%-waarde voor gebouwen 25m hoog en 5,4m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	25	5.4	0.12	0.12	0.02	2.58	2.65	0.37
50	25	5.4	0.10	0.09	0.01	2.12	2.12	0.33
60	25	5.4	0.08	0.07	0.01	1.77	1.73	0.29
70	25	5.4	0.06	0.06	0.01	1.49	1.43	0.26
80	25	5.4	0.05	0.04	0.01	1.26	1.19	0.23
90	25	5.4	0.04	0.03	0.01	1.08	1.00	0.21
100	25	5.4	0.03	0.03	0.01	0.92	0.85	0.19
120	25	5.4	0.02	0.02	0.00	0.68	0.62	0.16
140	25	5.4	0.02	0.02	0.00	0.51	0.46	0.13
160	25	5.4	0.01	0.01	0.00	0.39	0.37	0.11
180	25	5.4	0.01	0.01	0.00	0.30	0.30	0.09
200	25	5.4	0.01	0.01	0.00	0.23	0.25	0.08

Tabel V- 3: 95%-waarde voor gebouwen 40m hoog en 5,4m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	40	5.4	0.08	0.08	0.01	1.80	1.80	0.41
50	40	5.4	0.06	0.07	0.01	1.47	1.47	0.37
60	40	5.4	0.05	0.05	0.01	1.23	1.23	0.33
70	40	5.4	0.04	0.04	0.01	1.03	1.03	0.29
80	40	5.4	0.03	0.03	0.01	0.87	0.88	0.26
90	40	5.4	0.02	0.03	0.01	0.74	0.75	0.24
100	40	5.4	0.02	0.02	0.01	0.63	0.65	0.22
120	40	5.4	0.01	0.02	0.01	0.47	0.49	0.18
140	40	5.4	0.01	0.01	0.00	0.35	0.37	0.15
160	40	5.4	0.01	0.01	0.00	0.26	0.29	0.13
180	40	5.4	0.01	0.01	0.00	0.20	0.24	0.11
200	40	5.4	0.00	0.01	0.00	0.15	0.20	0.09

Tabel V- 4: 95%-waarde voor gebouwen 55m hoog en 5,4m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	55	5.4	0.08	0.08	0.01	2.10	1.94	0.44
50	55	5.4	0.07	0.06	0.01	1.76	1.62	0.39
60	55	5.4	0.05	0.05	0.01	1.49	1.37	0.35
70	55	5.4	0.04	0.04	0.01	1.27	1.18	0.31
80	55	5.4	0.04	0.04	0.01	1.09	1.01	0.28
90	55	5.4	0.03	0.03	0.01	0.94	0.88	0.25
100	55	5.4	0.03	0.03	0.01	0.81	0.77	0.23
120	55	5.4	0.02	0.02	0.01	0.61	0.62	0.19
140	55	5.4	0.01	0.02	0.00	0.47	0.50	0.16
160	55	5.4	0.01	0.01	0.00	0.36	0.41	0.13
180	55	5.4	0.01	0.01	0.00	0.27	0.33	0.11
200	55	5.4	0.01	0.01	0.00	0.21	0.27	0.10

Tabel V- 5: 95%-waarde voor gebouwen 70m hoog en 5,4m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	70	5.4			0.01	2.08	1.98	0.43
50	70	5.4	0.06	0.06	0.01	1.72	1.64	0.38
60	70	5.4	0.05	0.05	0.01	1.44	1.38	0.34
70	70	5.4	0.04	0.04	0.01	1.22	1.18	0.30
80	70	5.4	0.03	0.03	0.01	1.04	1.01	0.27
90	70	5.4	0.03	0.03	0.01	0.89	0.87	0.25
100	70	5.4	0.02	0.02	0.01	0.76	0.76	0.23
120	70	5.4	0.02	0.02	0.01	0.57	0.58	0.19
140	70	5.4	0.01	0.01	0.00	0.43	0.44	0.16
160	70	5.4	0.01	0.01	0.00	0.32	0.35	0.13
180	70	5.4	0.01	0.01	0.00	0.25	0.28	0.11
200	70	5.4	0.01	0.01	0.00	0.19	0.22	0.09

Tabel V- 6: 95%-waarde voor gebouwen 85m hoog en 5,4m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	85	5.4	0.05	0.05	0.01		1.32	0.41
50	85	5.4	0.04	0.04	0.01	1.00	1.06	0.36
60	85	5.4	0.03	0.03	0.01	0.82	0.86	0.32
70	85	5.4	0.02	0.02	0.01	0.69	0.71	0.29
80	85	5.4	0.02	0.02	0.01	0.58	0.59	0.26
90	85	5.4	0.02	0.02	0.01	0.49	0.49	0.23
100	85	5.4	0.01	0.01	0.01	0.41	0.41	0.21
120	85	5.4	0.01	0.01	0.01	0.30	0.30	0.18
140	85	5.4	0.01	0.01	0.00	0.22	0.22	0.15
160	85	5.4	0.00	0.00	0.00	0.17	0.17	0.12
180	85	5.4	0.00	0.00	0.00	0.12	0.13	0.10
200	85	5.4	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09

Tabel V- 7: 95%-waarde voor gebouwen 100m hoog en 5,4m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	100	5.4	0.03	0.03	0.01	0.72	0.81	0.35
50	100	5.4	0.02	0.02	0.01	0.59	0.63	0.30
60	100	5.4	0.02	0.02	0.01	0.48	0.50	0.27
70	100	5.4	0.01	0.01	0.01	0.41	0.40	0.24
80	100	5.4	0.01	0.01	0.01	0.34	0.33	0.22
90	100	5.4	0.01	0.01	0.01	0.29	0.27	0.20
100	100	5.4	0.01	0.01	0.01	0.25	0.22	0.18
120	100	5.4	0.01	0.00	0.00	0.18	0.15	0.15
140	100	5.4	0.00	0.00	0.00	0.14	0.11	0.12
160	100	5.4	0.00	0.00	0.00	0.10	0.08	0.10
180	100	5.4	0.00	0.00	0.00	0.08	0.07	0.09
200	100	5.4	0.00	0.00	0.00	0.06	0.05	0.07

Tabel V- 8: 95%-waarde voor gebouwen 10m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	10	6.6	0.07	0.07	0.01	1.07	1.01	0.34
50	10	6.6	0.06	0.07	0.01	0.89	0.90	0.30
60	10	6.6	0.04	0.06	0.01	0.74	0.81	0.26
70	10	6.6	0.03	0.05	0.01	0.63	0.73	0.23
80	10	6.6	0.02	0.04	0.01	0.53	0.66	0.21
90	10	6.6	0.02	0.03	0.01	0.46	0.60	0.19
100	10	6.6	0.01	0.03	0.00	0.39	0.55	0.17
120	10	6.6	0.01	0.02	0.00	0.29	0.46	0.13
140	10	6.6	0.01	0.01	0.00	0.22	0.38	0.11
160	10	6.6	0.00	0.01	0.00	0.17	0.32	0.09
180	10	6.6	0.00	0.01	0.00	0.13	0.27	0.08
200	10	6.6	0.00	0.01	0.00	0.10	0.23	0.06

Tabel V- 9: 95%-waarde voor gebouwen 25m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	25	6.6	0.12	0.12	0.02	2.58	2.65	0.37
50	25	6.6	0.10	0.09	0.01	2.12	2.12	0.33
60	25	6.6	0.08	0.07	0.01	1.77	1.73	0.29
70	25	6.6	0.06	0.06	0.01	1.49	1.43	0.26
80	25	6.6	0.05	0.04	0.01	1.26	1.19	0.23
90	25	6.6	0.04	0.03	0.01	1.08	1.00	0.21
100	25	6.6	0.03	0.03	0.01	0.92	0.85	0.19
120	25	6.6	0.02	0.02	0.00	0.68	0.62	0.16
140	25	6.6	0.02	0.02	0.00	0.51	0.46	0.13
160	25	6.6	0.01	0.01	0.00	0.39	0.37	0.11
180	25	6.6	0.01	0.01	0.00	0.30	0.30	0.09
200	25	6.6	0.01	0.01	0.00	0.23	0.25	0.08

Tabel V- 10: 95%-waarde voor gebouwen 40m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	40	6.6	0.08	0.08	0.01	1.80	1.80	0.41
50	40	6.6	0.06	0.07	0.01	1.47	1.47	0.37
60	40	6.6	0.05	0.05	0.01	1.23	1.23	0.33
70	40	6.6	0.04	0.04	0.01	1.03	1.03	0.29
80	40	6.6	0.03	0.03	0.01	0.87	0.88	0.26
90	40	6.6	0.02	0.03	0.01	0.74	0.75	0.24
100	40	6.6	0.02	0.02	0.01	0.63	0.65	0.22
120	40	6.6	0.01	0.02	0.01	0.47	0.49	0.18
140	40	6.6	0.01	0.01	0.00	0.35	0.37	0.15
160	40	6.6	0.01	0.01	0.00	0.26	0.29	0.13
180	40	6.6	0.01	0.01	0.00	0.20	0.24	0.11
200	40	6.6	0.00	0.01	0.00	0.15	0.20	0.09

Tabel V- 11: 95%-waarde voor gebouwen 55m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	55	6.6	0.08	0.08	0.01	2.10	1.94	0.44
50	55	6.6	0.07	0.06	0.01	1.76	1.62	0.39
60	55	6.6	0.05	0.05	0.01	1.49	1.37	0.35
70	55	6.6	0.04	0.04	0.01	1.27	1.18	0.31
80	55	6.6	0.04	0.04	0.01	1.09	1.01	0.28
90	55	6.6	0.03	0.03	0.01	0.94	0.88	0.25
100	55	6.6	0.03	0.03	0.01	0.81	0.77	0.23
120	55	6.6	0.02	0.02	0.01	0.61	0.62	0.19
140	55	6.6	0.01	0.02	0.00	0.47	0.50	0.16
160	55	6.6	0.01	0.01	0.00	0.36	0.41	0.13
180	55	6.6	0.01	0.01	0.00	0.27	0.33	0.11
200	55	6.6	0.01	0.01	0.00	0.21	0.27	0.10

Tabel V- 12: 95%-waarde voor gebouwen 70m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	70	6.6	0.08	0.08	0.01	2.08	1.98	0.43
50	70	6.6	0.06	0.06	0.01	1.72	1.65	0.38
60	70	6.6	0.05	0.05	0.01	1.44	1.38	0.34
70	70	6.6	0.04	0.04	0.01	1.22	1.18	0.30
80	70	6.6	0.03	0.03	0.01	1.04	1.01	0.27
90	70	6.6	0.03	0.03	0.01	0.89	0.87	0.25
100	70	6.6	0.02	0.02	0.01	0.76	0.76	0.23
120	70	6.6	0.02	0.02	0.01	0.57	0.58	0.19
140	70	6.6	0.01	0.01	0.00	0.43	0.44	0.16
160	70	6.6	0.01	0.01	0.00	0.32	0.35	0.13
180	70	6.6	0.01	0.01	0.00	0.25	0.28	0.11
200	70	6.6	0.01	0.01	0.00	0.19	0.22	0.09

Tabel V- 13: 95%-waarde voor gebouwen 85m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	85	6.6	0.05	0.05	0.01		1.32	0.41
50	85	6.6	0.04	0.04	0.01	1.00	1.06	0.36
60	85	6.6	0.03	0.03	0.01	0.82	0.86	0.32
70	85	6.6	0.02	0.02	0.01	0.69	0.71	0.29
80	85	6.6	0.02	0.02	0.01	0.58	0.59	0.26
90	85	6.6	0.02	0.02	0.01	0.49	0.49	0.23
100	85	6.6	0.01	0.01	0.01	0.41	0.41	0.21
120	85	6.6	0.01	0.01	0.01	0.30	0.30	0.18
140	85	6.6	0.01	0.01	0.00	0.22	0.22	0.15
160	85	6.6	0.00	0.00	0.00	0.17	0.17	0.12
180	85	6.6	0.00	0.00	0.00	0.12	0.13	0.10
200	85	6.6	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09

Tabel V- 14: 95%-waarde voor gebouwen 100m hoog en 6,6m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	100	6.6	0.03	0.03	0.01	0.72	0.81	0.35
50	100	6.6	0.02	0.02	0.01	0.59	0.63	0.30
60	100	6.6	0.02	0.02	0.01	0.48	0.50	0.27
70	100	6.6	0.01	0.01	0.01	0.41	0.40	0.24
80	100	6.6	0.01	0.01	0.01	0.34	0.33	0.22
90	100	6.6	0.01	0.01	0.01	0.29	0.27	0.20
100	100	6.6	0.01	0.01	0.01	0.25	0.22	0.18
120	100	6.6	0.01	0.00	0.00	0.18	0.15	0.15
140	100	6.6	0.00	0.00	0.00	0.14	0.11	0.12
160	100	6.6	0.00	0.00	0.00	0.10	0.08	0.10
180	100	6.6	0.00	0.00	0.00	0.08	0.07	0.09
200	100	6.6	0.00	0.00	0.00	0.06	0.05	0.07

Tabel V- 15: 95%-waarde voor gebouwen 10m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	10	7.8	0.07	0.08	0.01	1.07	1.01	0.35
50	10	7.8	0.06	0.07	0.01	0.89	0.90	0.30
60	10	7.8	0.04	0.06	0.01	0.74	0.81	0.26
70	10	7.8	0.03	0.05	0.01	0.63	0.73	0.23
80	10	7.8	0.02	0.04	0.01	0.54	0.66	0.21
90	10	7.8	0.02	0.03	0.01	0.46	0.60	0.19
100	10	7.8	0.01	0.03	0.00	0.39	0.55	0.17
120	10	7.8	0.01	0.02	0.00	0.29	0.46	0.13
140	10	7.8	0.01	0.01	0.00	0.22	0.38	0.11
160	10	7.8	0.00	0.01	0.00	0.17	0.32	0.09
180	10	7.8	0.00	0.01	0.00	0.13	0.27	0.08
200	10	7.8	0.00	0.01	0.00	0.10	0.23	0.06

Tabel V- 16: 95%-waarde voor gebouwen 25m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	25	7.8	0.12	0.12	0.02	2.58	2.65	0.37
50	25	7.8	0.10	0.09	0.01	2.12	2.12	0.33
60	25	7.8	0.08	0.07	0.01	1.77	1.73	0.29
70	25	7.8	0.06	0.06	0.01	1.49	1.43	0.26
80	25	7.8	0.05	0.04	0.01	1.26	1.19	0.23
90	25	7.8	0.04	0.03	0.01	1.08	1.00	0.21
100	25	7.8	0.03	0.03	0.01	0.92	0.85	0.19
120	25	7.8	0.02	0.02	0.00	0.68	0.62	0.16
140	25	7.8	0.02	0.02	0.00	0.51	0.46	0.13
160	25	7.8	0.01	0.01	0.00	0.39	0.37	0.11
180	25	7.8	0.01	0.01	0.00	0.30	0.30	0.09
200	25	7.8	0.01	0.01	0.00	0.23	0.25	0.08

Tabel V- 17: 95%-waarde voor gebouwen 40m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	40	7.8	0.08	0.08	0.01	1.80	1.80	0.41
50	40	7.8	0.06	0.07	0.01	1.47	1.47	0.37
60	40	7.8	0.05	0.05	0.01	1.23	1.23	0.33
70	40	7.8	0.04	0.04	0.01	1.03	1.03	0.29
80	40	7.8	0.03	0.03	0.01	0.87	0.88	0.27
90	40	7.8	0.02	0.03	0.01	0.74	0.75	0.24
100	40	7.8	0.02	0.02	0.01	0.63	0.65	0.22
120	40	7.8	0.01	0.02	0.01	0.47	0.49	0.18
140	40	7.8	0.01	0.01	0.00	0.35	0.37	0.15
160	40	7.8	0.01	0.01	0.00	0.26	0.29	0.13
180	40	7.8	0.01	0.01	0.00	0.20	0.24	0.11
200	40	7.8	0.00	0.01	0.00	0.15	0.20	0.09

Tabel V- 18: 95%-waarde voor gebouwen 55m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	55	7.8	0.08	0.08	0.01	2.10	1.94	0.44
50	55	7.8	0.07	0.06	0.01	1.76	1.62	0.39
60	55	7.8	0.05	0.05	0.01	1.49	1.37	0.35
70	55	7.8	0.04	0.04	0.01	1.27	1.18	0.31
80	55	7.8	0.04	0.04	0.01	1.09	1.01	0.28
90	55	7.8	0.03	0.03	0.01	0.94	0.88	0.25
100	55	7.8	0.03	0.03	0.01	0.81	0.77	0.23
120	55	7.8	0.02	0.02	0.01	0.61	0.62	0.19
140	55	7.8	0.01	0.02	0.00	0.47	0.50	0.16
160	55	7.8	0.01	0.01	0.00	0.36	0.41	0.13
180	55	7.8	0.01	0.01	0.00	0.27	0.33	0.11
200	55	7.8	0.01	0.01	0.00	0.21	0.27	0.10

Tabel V- 19: 95%-waarde voor gebouwen 70m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	70	7.8	0.08	0.08	0.01	2.08	1.98	0.43
50	70	7.8	0.06	0.06	0.01	1.72	1.65	0.38
60	70	7.8	0.05	0.05	0.01	1.44	1.38	0.34
70	70	7.8	0.04	0.04	0.01	1.22	1.18	0.30
80	70	7.8	0.03	0.03	0.01	1.04	1.01	0.27
90	70	7.8	0.03	0.03	0.01	0.89	0.87	0.25
100	70	7.8	0.02	0.02	0.01	0.76	0.76	0.23
120	70	7.8	0.02	0.02	0.01	0.57	0.58	0.19
140	70	7.8	0.01	0.01	0.00	0.43	0.44	0.16
160	70	7.8	0.01	0.01	0.00	0.32	0.35	0.13
180	70	7.8	0.01	0.01	0.00	0.25	0.28	0.11
200	70	7.8	0.01	0.01	0.00	0.19	0.22	0.09

Tabel V- 20: 95%-waarde voor gebouwen 85m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	85	7.8	0.05	0.05	0.01		1.32	0.41
50	85	7.8	0.04	0.04	0.01	1.00	1.06	0.36
60	85	7.8	0.03	0.03	0.01	0.82	0.86	0.32
70	85	7.8	0.02	0.02	0.01	0.69	0.71	0.29
80	85	7.8	0.02	0.02	0.01	0.58	0.59	0.26
90	85	7.8	0.02	0.02	0.01	0.49	0.49	0.23
100	85	7.8	0.01	0.01	0.01	0.41	0.41	0.21
120	85	7.8	0.01	0.01	0.01	0.30	0.30	0.18
140	85	7.8	0.01	0.01	0.00	0.22	0.22	0.15
160	85	7.8	0.00	0.00	0.00	0.17	0.17	0.12
180	85	7.8	0.00	0.00	0.00	0.12	0.13	0.10
200	85	7.8	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.09

Tabel V- 21: 95%-waarde voor gebouwen 100m hoog en 7,8m beukmaat

Afstand [m]	Hoogte [m]	Beukmaat [m]	V _{per}			V _{max}		
			X	Y	Z	X	Y	Z
40	100	7.8	0.03	0.03	0.01	0.72	0.81	0.35
50	100	7.8	0.02	0.02	0.01	0.59	0.63	0.31
60	100	7.8	0.02	0.02	0.01	0.48	0.50	0.27
70	100	7.8	0.01	0.01	0.01	0.41	0.40	0.24
80	100	7.8	0.01	0.01	0.01	0.34	0.33	0.22
90	100	7.8	0.01	0.01	0.01	0.29	0.27	0.20
100	100	7.8	0.01	0.01	0.01	0.25	0.22	0.18
120	100	7.8	0.01	0.00	0.00	0.18	0.15	0.15
140	100	7.8	0.00	0.00	0.00	0.14	0.11	0.12
160	100	7.8	0.00	0.00	0.00	0.10	0.08	0.10
180	100	7.8	0.00	0.00	0.00	0.08	0.07	0.09
200	100	7.8	0.00	0.00	0.00	0.06	0.05	0.07