

Uithoornlijn

Planstudie

Gemeente Amstelveen

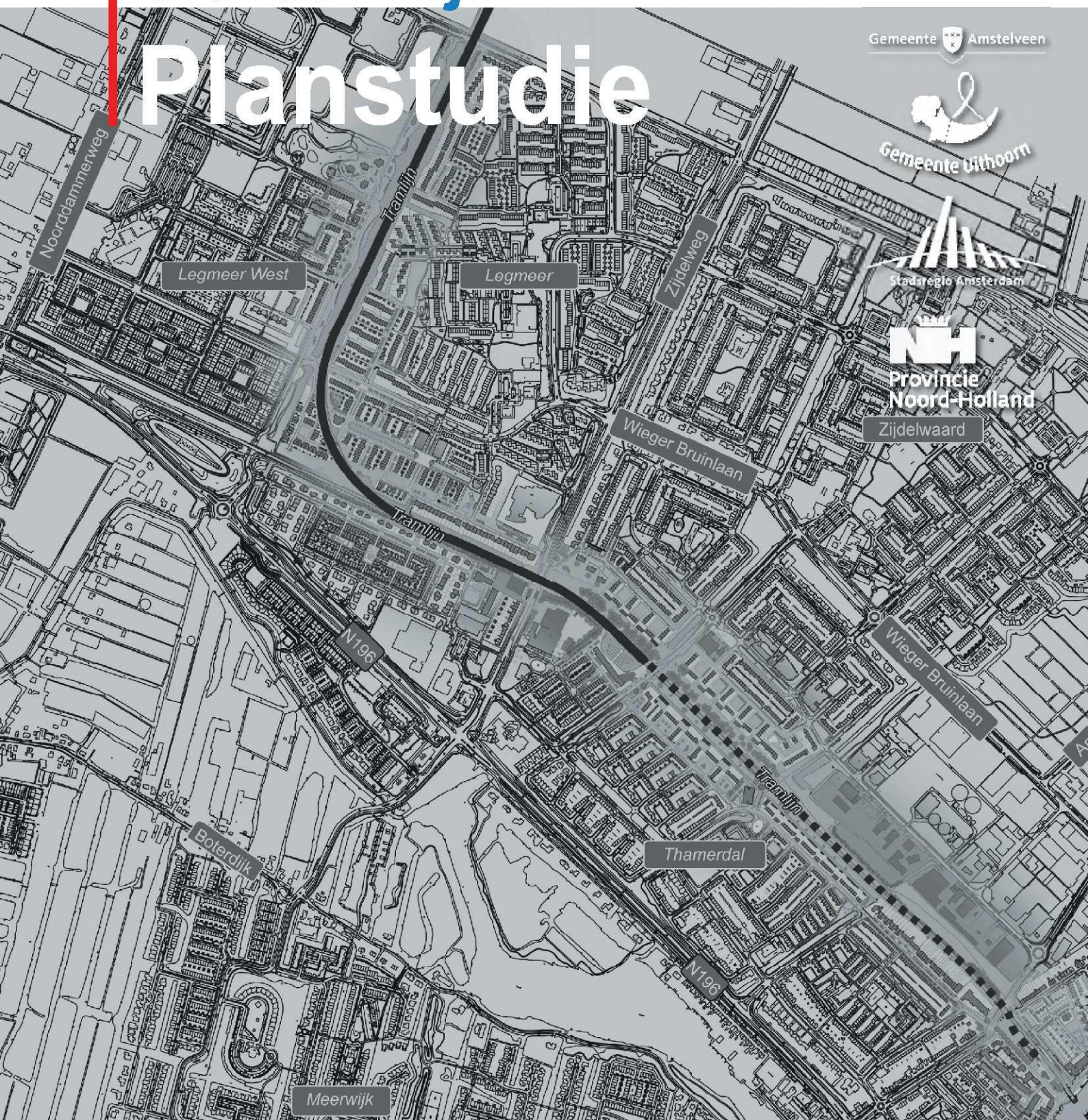


Gemeente Uithoorn



Provincie
Noord-Holland

Zijdelwaard



Quick scan trillingen

Versie 4.0, 11 mei 2016

Movares

Inhoudsopgave

1 Inleiding	3
1.1 Quick scan trillingen	3
1.2 Algemeen onderzoekskader	3
1.3 Leeswijzer	3
2 Situatie	4
2.1 Studiegebied	4
2.2 Uitgangspunten	5
2.3 Snelheden	6
2.4 Intensiteiten	7
2.5 Bodemeigenschappen	7
2.6 Overgangen betonbaan - aardebaan	7
2.7 Rekenmethode	8
3 Beoordelingskader	9
3.1 Algemeen	9
3.2 Grootheden	9
3.3 Streefwaarden	9
3.3.1. <i>Nieuwe of bestaande situatie</i>	9
3.3.2. <i>Periode gedurende de dag</i>	10
3.3.3. <i>Gebouwfunctie</i>	10
3.4 Beoordeling in huidige onderzoek	10
4 Resultaten	11
4.1 Resultaten	11
4.2 Analyse	12
5 Conclusies en aanbevelingen	13
5.1 Conclusies	13
5.2 Aanbevelingen	13
Colofon	14

Bijlage I Gebruikt rekenmodel

1 Inleiding

Stadsregio Amsterdam, provincie Noord-Holland en de gemeenten Uithoorn en Amstelveen onderzoeken of en op welke manier een trambaan vanuit Amstelveen kan worden doorgetrokken naar Uithoorn. Aanleiding hiervoor is onder meer de ombouw van de Amstelveenlijn tot een hoogwaardige tramverbinding. In oktober 2015 is het uitvoeringsbesluit genomen voor deze ombouw. Er komt ten zuiden van Amstelveen Westwijk een nieuw opstelterrein voor de nieuwe trams van de Amstelveenlijn. De afstand tussen het opstelterrein en de grens met Uithoorn is dan niet zo groot meer.

1.1 Quick scan trillingen

Onderdeel van de onderzoeken is de voorliggende quick scan naar mogelijke trillingshinder. Op basis van de Planstudie Uithoornlijn volgt een bestuurlijk besluit over het al dan niet verder gaan in de Planuitwerkingsfase. In een eventuele Planuitwerking wordt het ontwerp verder uitgewerkt, inclusief de bijbehorende onderzoeken en bestemmingsplanprocedure.

Onderdeel van de Planstudie voor de Uithoornlijn is een toets op trillingshinder in de vorm van een bureaustudie. Modelmatig is de verandering in trillingshinder in gebouwen berekend, die in de nabijheid van het beoogde tracé van de tramlijn staan. Voor de hieruit volgende aandachtsgebieden is bekeken hoe trillingshinder technisch voldoende ondervangen kan worden.

1.2 Algemeen onderzoekskader

Voor het trillingsonderzoek wordt alle bebouwing met een trillingsgevoelige bestemming in het studiegebied beschouwd. De SBR-richtlijn, deel B (trillingshinder voor personen), vormt het afwegingskader voor de beoordeling van trillingshinder in het plangebied.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een situatiebeschrijving opgenomen. Het beoordelingskader is opgenomen in hoofdstuk 3. De resultaten van de quick-scan zijn opgenomen in hoofdstuk 4.

2 Situatie

Het trillingsonderzoek maakt onderscheid tussen twee situaties:

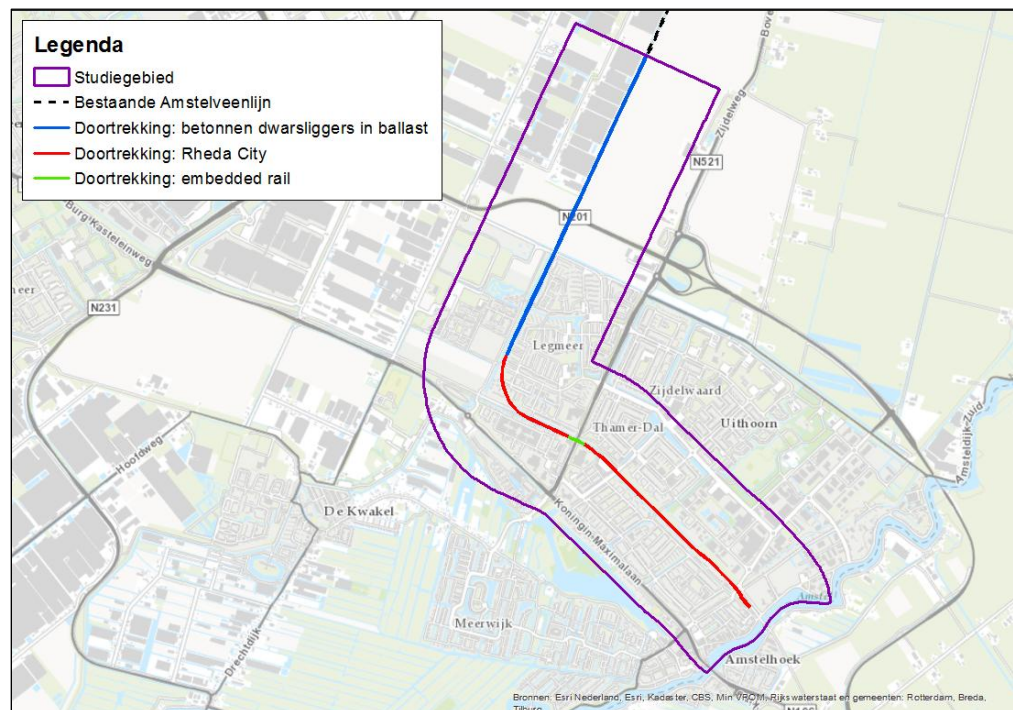
1. De huidige ofwel referentiesituatie in 2015, waarin nog geen sprake is van trillingen door railverkeer in het studiegebied;
2. De toekomstige ofwel plansituatie in 2030, waarin mogelijk sprake is van trillingen door railverkeer in het studiegebied;

In dit hoofdstuk is een beschrijving opgenomen van de situatie in 2030 met de uitgangspunten die zijn gehanteerd voor deze quick-scan.

2.1 Studiegebied

Het studiegebied is weergegeven in Figuur 2-1 en is een zone van 500 meter rond het spoor. Het studiegebied strekt zich uit vanaf het nieuw te realiseren opstel terrein voor de Amstelveenlijn tot aan de Amstel. Het tracé van de tramlijn volgt de bestaande dijklichamen, waarop in het verleden de Haarlemmermeerspoorlijn reed. Tussen Westwijk en even ten noorden van de kruising met de N201 ligt de te onderzoeken tramlijn vlak naast het dijklichaam aan de oostzijde. Ten zuiden van de kruising met de N201 is de situering op het dijklichaam. Het spoor ligt hier op betonnen dwarsliggers in ballast.

Vanaf het begin van de beoogde tramhalte Aan de Zoom wordt het tramspoor aangelegd in Rheda City of een vergelijkbare spoorconstructie met een betonnen fundering. In de onderdoorgang Zijdelweg door wordt in verband met de geringe doorrijdhoogte gebruik gemaakt van een embedded rail constructie. De verharding van de bestaande busbaan wordt vervangen door een overrijdbare betonnen spoorconstructie voor de trambusbaan.

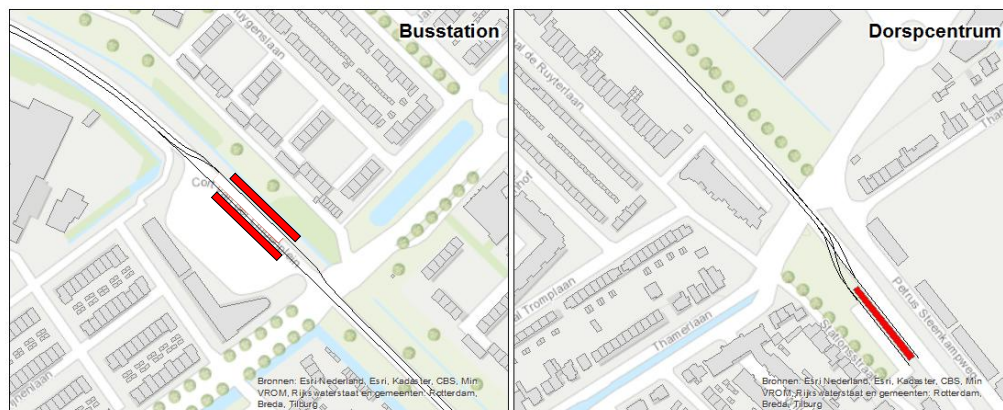


Figuur 2-1 Studiegebied trillingsonderzoek

2.2 Uitgangspunten

Voor de plansituatie is in het trillingsonderzoek gebruik gemaakt van de volgende uitgangspunten:

1. Voor de locatie van wissels is rekening gehouden met wissels rond de haltes Busstation en Dorpscentrum in Uithoorn conform de huidige ontwerpinzichten, zie de locaties van de wissels in Figuur 2-2;



Figuur 2-2 Locatie wissels bij haltes Busstation (als doorrijdhalte) en Dorpscentrum. Bij een eindpunt Busstation als eindhalte komen hier meer wissels op dezelfde locatie.

2. In de quick-scan is geen rekening gehouden met de geometrie van het spoortalud, noch met lokale variaties in de bodem. De bodemeigenschappen zijn bepaald op basis van sonderingen;
3. Er is geen correctiefactor voor de bochten toegepast. Uit onderzoek blijkt dat bochten met een voldoende grote bochtstraal (zoals in het huidige onderzoek) niet leiden tot een toename van de trillingen;
4. Bij de overgang van kunstwerk naar aardebaan bij bijvoorbeeld spoorwegovergangen treden vaak zettingsverschillen op, die leiden tot een toename van de trillingen. Deze lokale bronnen van zettingsverschillen zijn meegenomen in dit onderzoek;
5. Gegevens van de bebouwing zijn ontleend aan de Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG) van het kadaster, versie juli 2014. Daarnaast is rekening gehouden met de reeds vastgestelde bestemmingsplannen in het plangebied;

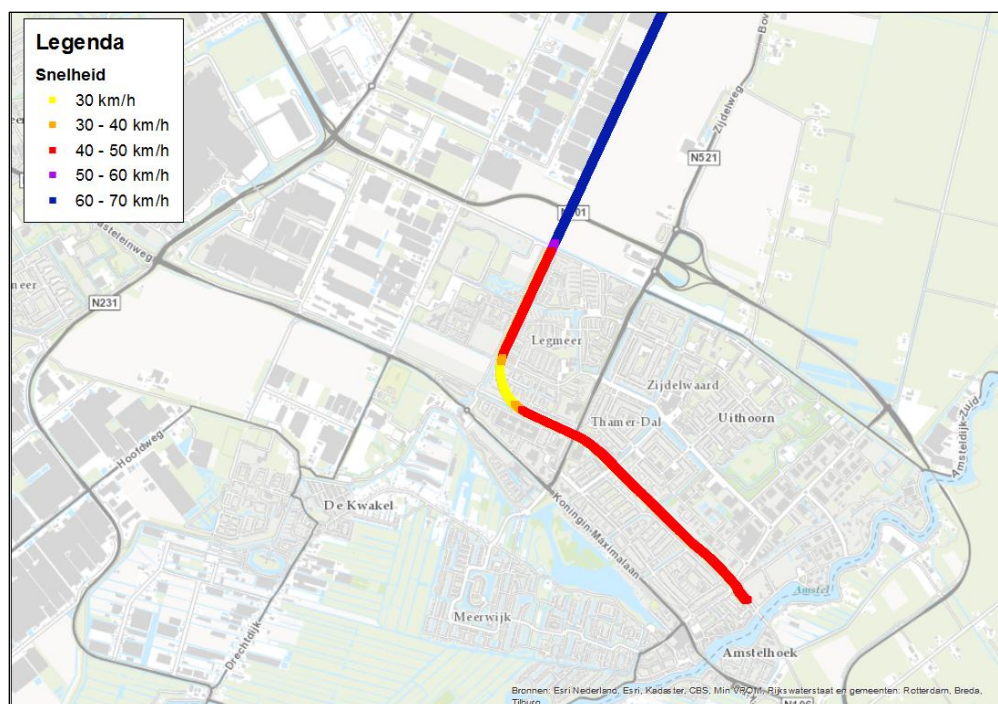
Het materieeltype is nog onbekend. Daarom is gerekend met het huidige materieel op het Amsterdamse tramnet van het type Combino, zie Figuur 2-3. Het huidige trammaterieel van de Amstelveenlijn (lijn 51) is niet relevant voor deze studie, omdat die na de ombouw niet meer over dit traject kan. Er is gebruik gemaakt van een bovengrenswaarde voor de trillingen, gebaseerd op een tramvoertuig (huidige Combino stadstram) met een aslast van circa 9 ton. Het nieuw type voertuigen wordt gebouwd op een aslast van maximaal 9,7 ton en is twee generaties jonger dan de Combino in Amsterdam en omgeving. Een hogere aslast leidt overigens niet automatisch tot hogere trillingen, dit is van meerdere factoren afhankelijk.



Figuur 2-3 Combinotram, als uitgangspunt gebruikt voor dit trillingsonderzoek

2.3 Snelheden

De snelheid van de tram is maximaal 70 km/h op het spoor in ballast op het Amstelveense deel, waarna afgeremd wordt tot aan 50 km/h voor de Randweg. Tussen de Randweg en de eindhalte heeft de tram een maximale snelheid van 50 km/h, tussentijds wordt nog afgeremd naar 30 km/h in de bocht naar de busbaan. De gehanteerde snelheden zijn weergegeven in Figuur 2-4. De lagere snelheid bij de haltes zijn niet meegenomen in deze quick-scan.



Figuur 2-4 Rijsnelheden van de tramvoertuigen

2.4 Intensiteiten

Door Stadregio Amsterdam is een opgave verstrekt van de verwachte dienstregeling van de Uithoornlijn. Deze is gebaseerd op een beoogde dienstregeling van de omgebouwde Amstelveenlijn, waarbij het aantal ritten per uur is gehanteerd met een maximum van 10 ritten per richting per uur (spitsperioden). Voor het toekomstige gebruik, 10 jaar na ingebruikname van de eventuele nieuwe tramlijn, wordt modelmatig van onderstaande dienstregeling uitgegaan. Het is een aanname aan de veilige (hoge) kant. De intensiteiten in de toekomstige situatie zijn weergegeven in **Fout! Ongeldige bladwijzerverwijzing..** Dit betreft gemiddelde voertuigintensiteiten per uur per richting, rekening houdend dat er binnen een periode een spits-, een dal- of een avondperiode kan zitten. Dat geeft omgerekend per uur een getal waarmee gerekend is.

Tabel 2-1 Voertuigintensiteiten in plansituatie, per uur per richting

Lijn	Dag (7:00 – 19:00)	Avond (19:00 – 23:00)	Nacht (23:00 – 7:00)
Amstelveen – Uithoorn v.v.	8.17	5.50	1.50

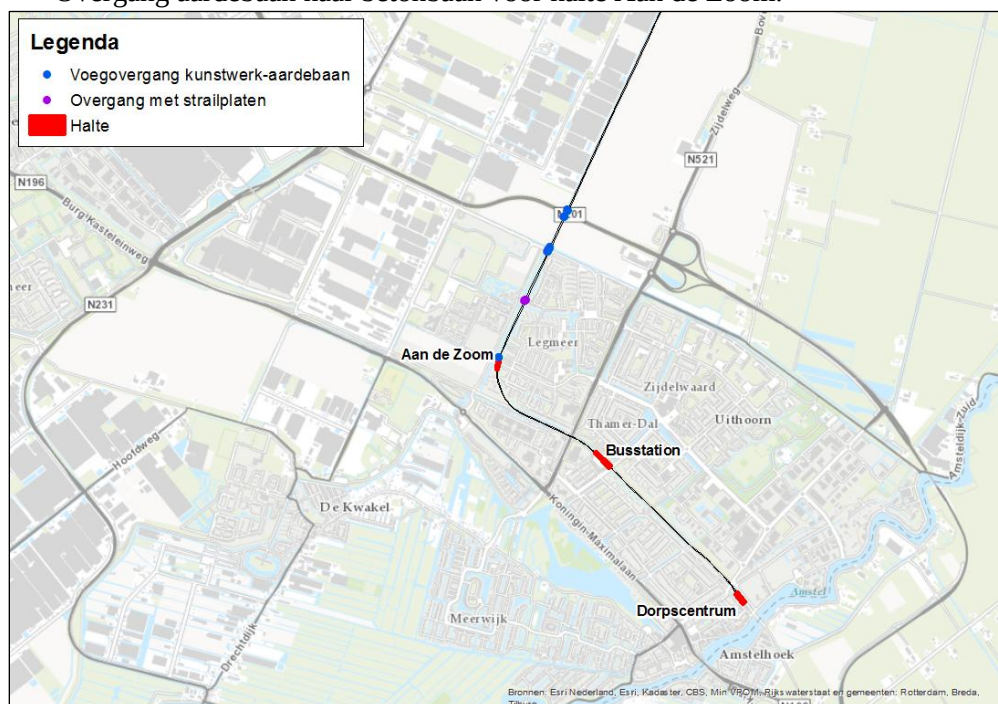
2.5 Bodemeigenschappen

De bodem van het dijklichaam bestaat uit een toplaag van circa 1 meter zand met daaronder zes tot acht meter slappe klei, afgewisseld met een enkele veenlaag. Daaronder bevindt zich een dragend zandpakket. De slappe bodem zorgt voor een relatief snelle uitdemping van de trillingen.

2.6 Overgangen betonbaan - aardebaan

In dit onderzoek wordt bij de overgang van kunstwerk naar aardebaan een toeslagfactor op de trillingen gehanteerd. De toename van de trillingen bij de overgang van betonbaan naar aardebaan kan ontstaan door zettingsverschillen in de spoorbaan. Locaties waar gerekend is met een overgang van een betonbaan naar aardebaan zijn weergegeven in Figuur 2-5 en hieronder opgesomd:

- Viaduct N201;
- Spoorwegovergang Randweg en brug over de Hoofdtocht;
- Overgang aardebaan naar betonbaan voor halte Aan de Zoom.



Figuur 2-5 *Overzicht locaties stations en overgangen kunstwerk - aardebaan*

Bij de overgang voor fietsers en voetgangers bij de Bieslook is modelmatig rekening gehouden met een overgang met strailplaten en een doorgaand ballastbed (zie Figuur 2-6). Dit voorkomt trillingshinder doordat er geen constructieovergang is van betonbaan naar aardenbaan.



Figuur 2-6 *Strailplaten op een overgang met doorgaand ballastbed*

2.7 Rekenmethode

De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het rekenmodel *VibraDyna* (versie 1.5). Zie ook bijlage I. In deze quickscan is scalair (frequentieonafhankelijk) gerekend. In dit onderzoek wordt gesproken over een kans op trillingshinder, omdat het model rekent met een conservatieve bovengrens voor de trillingssterkte, en omdat de mate waarin mensen trillingen als hinderlijk ervaren, sterk verschilt per persoon.

Pas in de Planuitwerkingsfase van de Uithoornlijn worden exacte ligging van het tracé, type wissels, details van kunstwerken en keuze van het materieeltype bepaald. Daarom is naast de conservatieve bovengrensberekening ook een ondergrensberekening uitgevoerd. Deze berekening dient om aan te geven waar aandachtslocaties zijn. In een eventuele Planuitwerkingsfase van de Uithoornlijn worden deze aandachtslocaties nader onderzocht en wordt bepaald welke technische maatregelen eventueel nodig zijn om binnen de gestelde grenzen van de SBR B-richtlijnen te blijven.

3 Beoordelingskader

3.1 Algemeen

Tramverkeer kan aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot schade of 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.

In dit onderzoek wordt verstoring aan apparatuur niet onderzocht omdat er geen ziekenhuizen of andere locaties met zeer gevoelige apparatuur langs het tracé aanwezig zijn. Voor het onderzoek naar trillingshinder wordt daarom gebruik gemaakt van de SBR B-richtlijn, die strenger is dan de richtlijn voor schade aan gebouwen.

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. 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 types 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} .

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. De Uithoornlijn wordt beoordeeld als een nieuwe situatie, zie par. 10.3 van de SBR B-richtlijn. Er is immers in de huidige situatie nog geen sprake van trillingen ten gevolge van railverkeer.

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 trillingssterktes gedurende de nacht strenger zijn dan die gedurende de dag en avond. De SBR B-richtlijn kent de volgende periodes: 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 railverkeer worden gewoonlijk de streefwaarden voor de nacht gehanteerd, omdat deze strenger zijn dan die van de dag. Deze keuze is gerechtvaardigd omdat railverkeer 's nachts doorgaans vergelijkbare trillingen geeft als railverkeer 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. Op basis van deze drie criteria zijn de streefwaarden voor A1, A2 en A3 weergegeven in Tabel 3-1 voor nieuwe situaties.

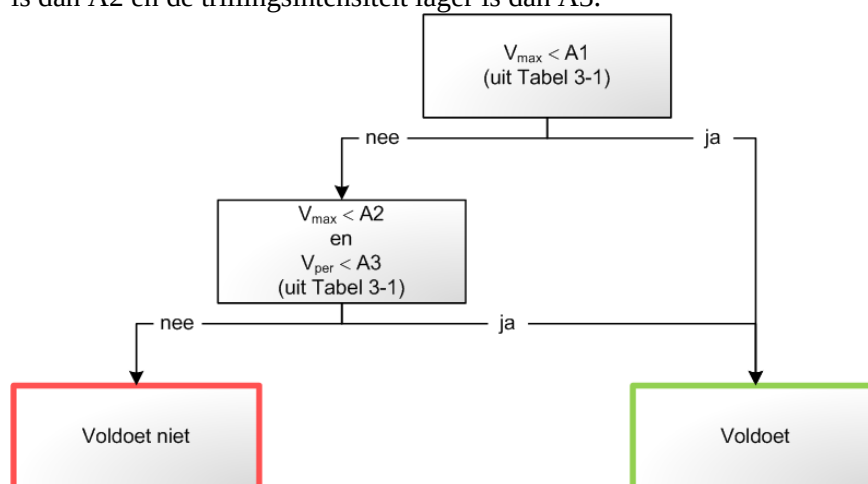
Tabel 3-1 Streefwaarden nieuwe situatie volgens SBR B-richtlijn

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

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

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.

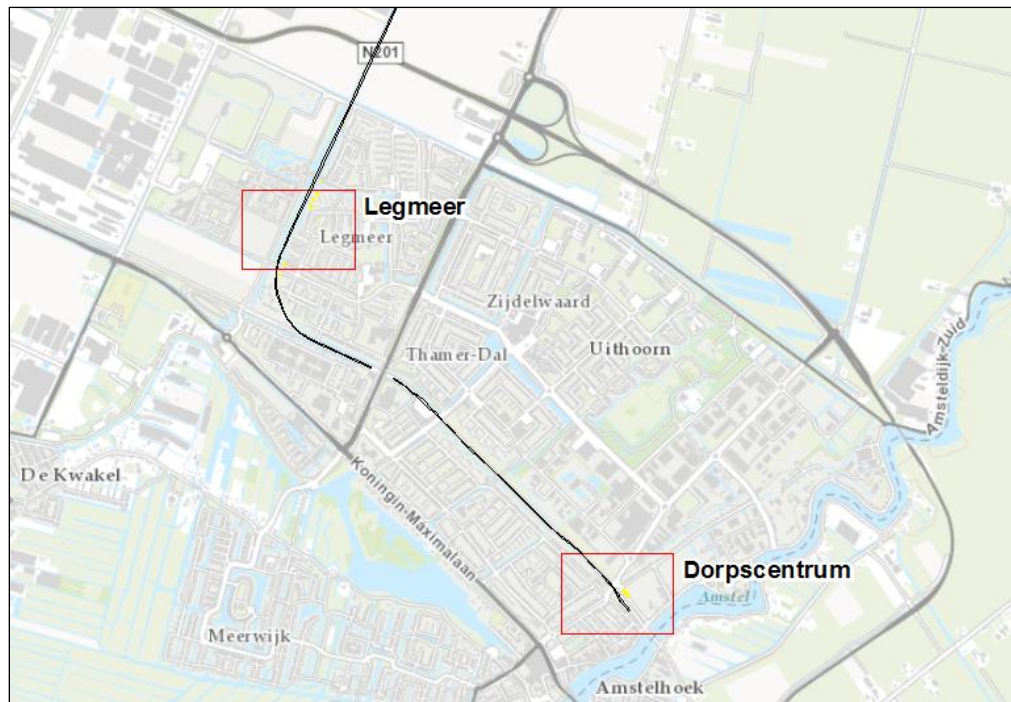


Figuur 3-1 Stroomschema beoordeling nieuwe situatie in SBR B-richtlijn

4 Resultaten

4.1 Resultaten

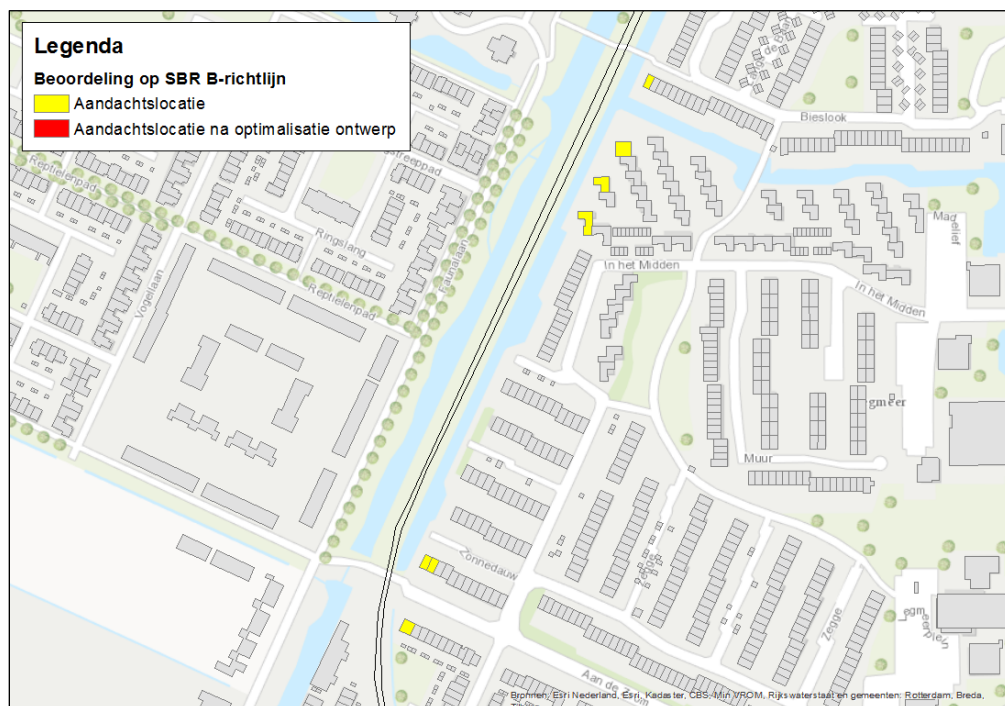
De trillingssterkte en trillingsintensiteit zijn bepaald met behulp van VibraDyna, en vervolgens beoordeeld op de SBR B-richtlijn. De rode locaties in figuur 4-1 zijn aandachtsgebieden, vanwege de overgang van betonbaan naar aardenbaan en de locatie van wissels in combinatie met de afstand tot de bebouwing.



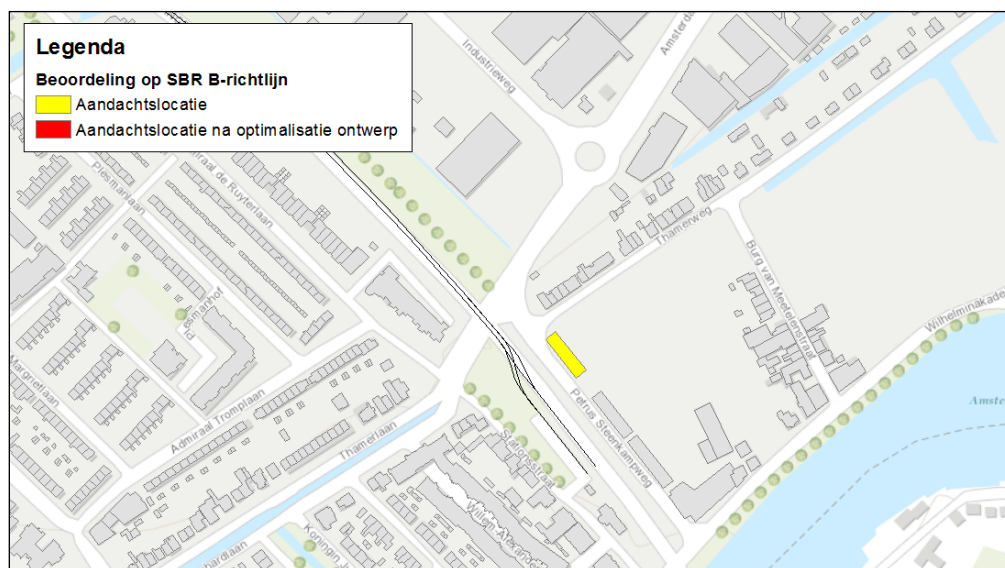
Figuur 4-1 Aandachtsgebieden op basis van beoordeling SBR B-richtlijn

Hieronder zijn de twee aandachtsgebieden meer in detail weergegeven, zie ook Figuur 4-2 en Figuur 4-3:

1. Binnen aandachtsgebied 1 komen enkele woningen tussen de Bieslook en de halte Aan de Zoom naar voren als aandachtslocatie. Het betreft enkele woningen in de eerstelijnsbebouwing. Bij een gunstig materieeltype ten aanzien van trillingen en de verdere uitwerking van de overgang tussen betonbaan en aardebaan worden hier geen overschrijdingen van de richtlijn verwacht. Dit wordt uitgewerkt in de Planuitwerkingsfase en nogmaals doorgerekend;
2. Binnen aandachtsgebied Dorpscentrum komen enkele woningen in de omgeving van de beoogde tramhalte Dorpscentrum naar voren als aandachtslocatie. Dit betreft de nieuwbouwlocatie Vinckebuurt. Bij een gunstig materieeltype ten aanzien van trillingen en optimalisatie van de wissels (toepassing van wissel met harde overgang) en goede constructieovergangen van het viaduct over de Amsterdamsesweg worden hier geen overschrijdingen van de richtlijn verwacht. Ook dit wordt verder uitgewerkt in de Planuitwerkingsfase en nogmaals doorgerekend.



Figuur 4-2 Aandachtslocaties Legmeer



Figuur 4-3 Aandachtslocaties Dorpscentrum

4.2 Analyse

Uit het onderzoek blijkt dat er vooral aandachtslocaties zijn langs het spoor in ballast en slechts een beperkt aantal langs de huidige busbaan. Dit komt door de lagere trillingssterkte van de aangehouden Rheda City spoorconstructie van de trambusbaan, de lagere rijnsnelheid van de voertuigen en de over het algemeen grotere afstand tussen gebouwen en het spoor. Verder geldt dat na optimalisatie van het materieeltype, het type wissels en optimalisatie van de constructie van de overgang van betonbaan naar aardebaan bij de halte Aan de Zoom en viaduct over de Amsterdamseweg, het aantal aandachtslocaties afneemt van 8 naar 0 panden. De verwachting is dat er na optimalisatie van het ontwerp géén aandachtslocaties meer zijn.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In het voorliggende onderzoek is de trillingssituatie van de Uithoornlijn in kaart gebracht middels een quickscan. In het onderzoek is de verwachte trillingssituatie in alle trillingsgevoelige gebouwen in de omgeving van het tramspoor in kaart gebracht.

Uit het onderzoek blijkt dat er twee aandachtsgebieden zijn. Dit komt bij gebied 1 (Legmeer) door de constructie overgang van ballastbed naar een betonbaan spoorconstructie. Bij gebied 2 (Dorpscentrum) heeft dit te maken met de aanwezigheid van wissels en een overgang van een viaduct over de Amsterdamseweg. Verder geldt dat in een eventuele Planuitwerkingsfase ook meer bekend is van het materieeltype dat op de Uithoornlijn kan gaan rijden. Verder kan een goede keuze voor het type wissels en de positionering van deze wissels worden gemaakt en worden de overgangen in spoorconstructie verder uitgewerkt.

Naar verwachting kan het aantal aandachtslocaties worden teruggebracht van 8 naar 0 panden. Er zijn na verdere uitwerking van het ontwerp geen locaties meer waar een overschrijding van de SBR B-richtlijn wordt verwacht.

5.2 Aanbevelingen

In deze quickscan is gerekend met een conservatief model omdat het om een eerste aanzet van het inpassingsontwerp gaat en het materieeltype nog niet bekend is. Tijdens de eventuele Planuitwerkingsfase worden de volgende aandachtspunten meegenomen, in aflopende prioriteit:

1. De keuze voor een nieuw materieeltype en ook de trillingseigenschappen van het voertuig worden meegenomen in een nieuw trillingsonderzoek, deze zijn namelijk sterk bepalend voor de verwachte trillingen;
2. Bij halte Dorpscentrum wordt gebruik gemaakt van wissels met een harde overgang om de trillingen van de wissels te reduceren;
3. Een blijvend goede aansluiting tussen betonbaan en aardebaan bij de overgang van Rheda City naar ballastspoor, en bij spoorwegovergangen en kunstwerken. Een trillingsreductie kan bereikt worden door de ondergrond rond een dergelijke overgang lokaal te verstevigen.

Colofon

Opdrachtgever Stadsregio Amsterdam
Bas Vroon
Status opdrachtgever Technisch projectmanager

Uitgave Movares Nederland B.V.

Divisie Ruimte, Mobiliteit en Infra
Afdeling Planontwikkeling en Bouwprocessen: Mobiliteit en Ruimtelijke
Ontwikkeling

Daalse Kwint, Daalseplein 100, Utrecht
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 06-2244 1137

Ondertekenaar Mario Genot
Projectmanager

Projectnummer RM002731

Kenmerk B80-SJA-KA-1600511

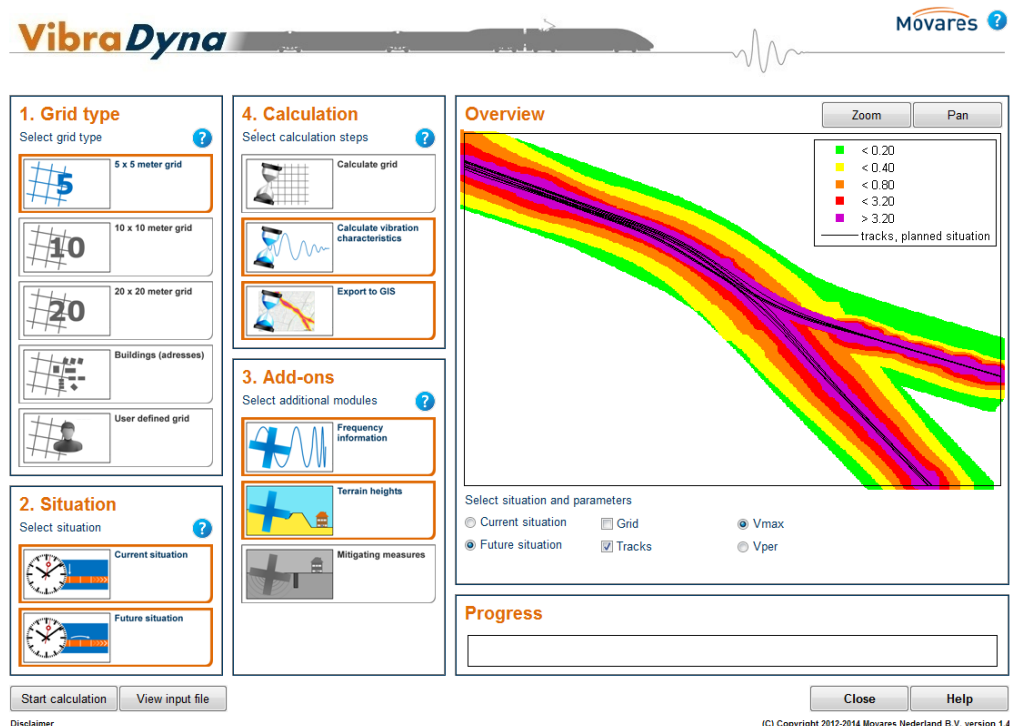
Opgesteld door Steven Jansen, Pieter Boon

© 2016, 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 Gebruikt rekenmodel

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van VibraDyna, een door Movares ontwikkeld rekenmodel dat met behulp van een database en door de gebruiker geselecteerde specifieke gegevens de trillings- en laagfrequent geluidhinder berekend ten gevolge van rail- of wegverkeer, zie Figuur I - 1



Figuur I - 1 VibraDyna screenshot

In VibraDyna kan zowel globaal, op basis van een database, als nauwkeurig, op basis van metingen en modelberekeningen, worden gerekend. In het huidige onderzoek is gebruik gemaakt van een globale berekening op basis van een database met daarin een groot aantal metingen die verspreid over geheel Nederland zijn uitgevoerd. VibraDyna rekent geografisch op basis van de ligging van gebouwen en het spoor.

Het model

VibraDyna is gebaseerd op de Barkanvergelijking, een empirische vergelijking die de prolongatie van trillingsgolven door de bodem beschrijft. Uit onderzoek blijkt dat deze empirische relatie goed bruikbaar is om de afname van trillingen met de afstand tot een trillingsbron te beschrijven, mits wordt gecorrigeerd voor een aantal effecten zoals bodemgelaagdheid.

Het model rekent de trillingssituatie in een bepaald gebouw uit. Resultaten kunnen worden gevisualiseerd in bijvoorbeeld een GIS-applicatie.

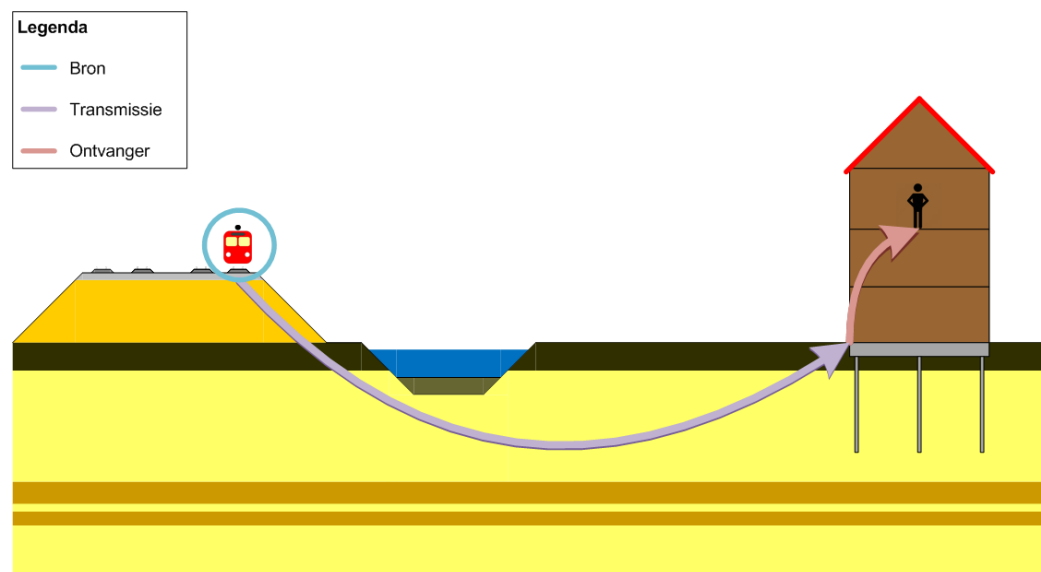
Invoerparameters

In de overdracht van trillingen van bron naar ontvanger onderscheid gemaakt tussen de bron, de transmissie (of overdracht) en de ontvanger. Een voorbeeld van een dwarsdoorsnede van een gebied langs het spoor is weergegeven in Figuur I - 2. Bron, transmissie en ontvanger zijn daarin aangegeven.

Per categorie (bron, transmissie en ontvanger) is in de modelberekening een aantal parameters gedefinieerd:

1. Trillingsbron. Hierbij zijn de parameters voertuigtype, voertuigsnelheid, voertuigaantallen en kunstwerken gedefinieerd;
2. Transmissie. Hierbij is het bodemtype (bodemopbouw, bepaald uit sonderingen en maaiveldmetingen), de uitdemping van trillingen in de bodem met de afstand en de geometrische uitbreiding van trillingen met de afstand gedefinieerd;
3. Ontvanger. Bij het gebouw zijn de gebouwafmetingen, zoals gebouwhoogte, maximale vloeroverspanning en afmetingen van het grondvlak gedefinieerd, alsmede het type fundering (op palen of op staal), de leeftijd van het gebouw en de bouwstijl.

De invloed van de parameters op de trillingssterkte in een gebouw is bepaald vanuit eerdere onderzoeken.



Figuur I - 2 Transmissie van trillingen

Modelonzekerheden

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van trillingsmodellen in plaats van metingen in gebouwen. Het gebruik van trillingsmodellen in plaats van het uitvoeren van metingen heeft een aantal voordelen:

- Het maakt het mogelijk om sneller een goede prognose te geven van de trillingssituatie in een gebouw;
- Het maakt het mogelijk om een groter aantal verschillende locaties te beschouwen. Het uitvoeren van metingen op een groot aantal locaties is zowel

tijdrovend als kostbaar en kan bij het gebruik van een trillingsmodel achterwege blijven.

Nadeel van het gebruik van modellen is dat een model slechts een *benadering* van de werkelijkheid is. De onzekerheid van het model wordt veroorzaakt door een aantal parameters:

1. Onzekerheid in de gebruikte parameters. Voorbeeld hiervan is de variatie van bijvoorbeeld de bodemdamping langs het tracé. De variatie in parameters is met behulp van modellen en berekeningen in kaart gebracht door voor elke parameter een gemiddelde, 95-procent bovengrens en probabilistische verdeling te definiëren. Met behulp van Monte Carlo-simulatie is vervolgens de propagatie van deze onzekerheden door het model bepaald. Hierbij wordt voor elk gebouw 500-maal een parametervariatie uitgevoerd, zodat een set resulteert met 500 berekeningen voor de trillingssituatie in een gebouw. De spreiding van deze resultaten geeft een indicatie van de onzekerheid in het model;
2. Onzekerheid in de betrouwbaarheid van het model. De betrouwbaarheid van het model is uitvoerig geverifieerd in eerdere onderzoeken met behulp van metingen in gebouwen. Uit deze verificatiemetingen volgt dat het gebruikte model een hoge betrouwbaarheid heeft, zie onder meer de trillingsonderzoeken ten behoeve van de tracébesluiten *Sporen in Arnhem* en *Sporen in Utrecht*.

Om zorg te dragen voor zo betrouwbaar mogelijke resultaten, vindt de beoordeling van trillingshinder plaats op basis van een statistisch bepaalde bovengrens van 95 procent. Dit betekent dat er in werkelijkheid een kans is van 5 procent dat in een gebouw toch een hogere trillingssterkte of trillingsintensiteit optreedt dan het model aangeeft. Deze kans is, vanuit de bestaande jurisprudentie, acceptabel.