

Amstelveenlijn - onderzoek trillingen

Onderzoek naar het aspect trillingen in het kader van de ombouw van de Amstelveenlijn

Status	definitief
Versie	004
Rapport	M.2014.1066.03.R001
Datum	4 december 2015

Colofon

Opdrachtgever	Gemeente Amsterdam Dienst Metro en Tram Postbus 2181 1000 CD AMSTERDAM
Contactpersoon	de heer H. Topper 06-50693312 h.topper@amsterdam.nl
Project Betreft Uw kenmerk	Amstelveenlijn Onderzoek trillingen -
Rapport Datum Versie Status	M.2014.1066.03.R001 4 december 2015 004 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Casuariestraat 5 2511 VB Den Haag Postbus 370 2501 CJ Den Haag
Informatie	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
Auteur	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
Verantwoordelijk	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
Verwerkt door	BK BRA

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Situatie	5
3. Toetsingskader trillingen	7
3.1 Effecten voor de mens	7
3.2 Effecten voor gevoelige apparatuur	7
3.3 Gebouwschade	8
3.4 Richtlijnen	8
4. Ligging van trillingsgevoelige objecten	9
5. Verwachte trillingsniveaus langs het spoor	15
5.1 Algemeen beeld	15
5.2 Onderzoek uit 2010	16
5.3 Verdiepte ligging van drie kruisingen	17
5.4 Verlengde trambaan tussen station Westwijk en het opstelterrein	19
5.5 Mogelijke maatregelen	20
6. Tijdelijke situatie tijdens ombouw	22
7. Trillingen ten gevolge van bouwactiviteiten	23
8. Conclusie	24
9. Aanbevelingen	25
10. Literatuur	26

1. Inleiding

De Amstelveenlijn is één van de belangrijkste slagaders van het openbaar vervoer in de regio. Op 12 maart 2013 heeft de Regioraad van de Stadsregio Amsterdam, na instemming van de colleges van de gemeenten Amsterdam en Amstelveen en het bestuur van stadsdeel Zuid, het nieuwe tracé van de Amstelveenlijn vastgesteld.

De Amstelveenlijn wordt betrouwbaarder, sneller en comfortabeler. Amstelveen wordt daarmee goed aangeakt op de Zuidas én op de trein, metro, tram en bus op station Zuid. De tram moet berekend zijn op een groeiend aantal reizigers en economische verbeteringen.

In 2008 heeft de Stadsregio Amsterdam een haalbaarheidsstudie uitgevoerd naar de ombouw van de Amstelveenlijn tot metro. Feitelijk ging het om het doortrekken van de NZlijn naar Amstelveen. Uitkomst van deze studie was dat ombouw van de Amstelveenlijn naar metrokwaliteit nodig, wenselijk en mogelijk is. In 2010 is op basis van deze studie een projectbureau gestart met de voorbereiding van de realisatie van deze ombouw. Het projectbureau becijferde dat de investeringskosten van een ombouw tot Amstelveen Westwijk zeer hoog waren waar geen dekking voor te vinden zou zijn. Vervolgens heeft het projectbureau in 2011 een vergelijkend onderzoek uitgevoerd naar een vijftal varianten ter vervanging van de huidige Amstelveenlijn: stadstram, regiotram, sneltram, regiotram 51 en een metro vanaf station Zuid naar Westwijk. Hieruit bleek dat de 2 tramvarianten het beste scoorden. Op basis daarvan is in oktober 2011 geconcludeerd dat een hoogwaardige tramverbinding verder moest worden uitgewerkt.

Op basis van alle analyses hebben in februari 2012 de Stadsregio, Amsterdam en Amstelveen besloten de huidige Amstelveenlijn te vervangen door een nieuwe hoogwaardige tramverbinding tussen Amstelveen en Amsterdam.

Belangrijk aandachtspunt in het ontwerp is het verbeteren van de verkeersveiligheid en de doorstroming op belangrijke kruisingen. Onderdeel van besluit is de realisering van een opstelterrein in de Legmeerpolder. Dit omdat de bestaande opstelterreinen voor trammaterieel onvoldoende capaciteit bieden voor het opstellen van de nieuwe trams.

De wijzigingen aan de Amstelveenlijn worden planologisch vastgelegd in een tweetal bestemmingsplannen:

- 1 Ongelijkvloerse Kruisingen Beneluxbaan Amstelveenlijn
- 2 Amstelveenlijn Opstelterrein.

Voorliggend rapport is een bijlage bij de beide bestemmingsplannen en beschrijft de effecten op het gebied van trillingen langs de Amstelveenlijn. Naar het aspect trillingen is reeds in 2010 enig vooronderzoek gedaan. Deze rapportage geeft ook een samenvatting en conclusie van dit onderzoek uit het verleden. Tevens geeft dit rapport een scan van de huidige situatie en de stand van zaken. Verder worden globaal ook de trillingen beschouwd van de tijdelijke situatie tijdens de ombouw.

2. Situatie

De twee belangrijkste onderdelen van de ombouw, die vooralsnog voor geluid en trillingen van belang zouden kunnen zijn, betreft de aanschaf van nieuwe voertuigen en de ombouw van een drietal kruisingen naar ongelijkvloerse kruisingen.

Voor nieuw materieel zal lagevloermaterieel ingezet worden vergelijkbaar met HTM Randstadrail materieel. Van dit materieel is bekend dat het stiller is dan het huidige hogevloersneltrammaterieel S1/S2 van de fabrikant La Brugeoise et Nivelles, Holec en M4/S3, gebouwd door het Spaanse CAF.

Gezien het gegeven dat er geen sprake is van lawaaieriger materieel, mag voorzichtig worden aangenomen dat het nieuwe materieel ook niet meer trillingen zal produceren. Geluid en trillingen zijn immers sterk met elkaar verweven. Het nieuwe materieel zijn voertuigen met een lengte van circa 30 meter per kleinste eenheid en bestaande uit meerdere wagenbakken en met 6 tot maximaal 8 assen. Meestal bestaan voertuigen met gekoppelde trams.

Op het traject moeten de kruispunten veiliger worden en moet de doorstroming voor zowel de tram als het overige verkeer verbeteren. Hiertoe worden in Amstelveen drie kruisingen ongelijkvloers gemaakt. Dit zijn de kruisingen:

- Beneluxbaan / Rembrandtweg
- Beneluxbaan / Zonnestein
- Beneluxbaan / Sportlaan

Als gevolg van deze ombouw naar een verdiepte ligging moet een mogelijk verhoogde trillingsemissie beoordeeld worden. In onderstaande figuur is een overzicht van het traject weergegeven.



Het onderzoek ten aanzien van trillingen heeft plaatsgevonden op de hele lijn vanaf de kruising met de A10 tot en met de opstelstrook aan het eindpunt Westwijk en voor tramlijn 5 tot aan de eind halte Binnenhof. Voor de vernieuwde lijn is tevens gekeken naar de verlenging tot het nieuwe opstelterrein aan de zuidzijde van de J.C. van Hattumweg in de Legmeerpolder.

3. Toetsingskader trillingen

3.1 Effecten voor de mens

Passerende railvoertuigen produceren trillingen in de grond die door bodemlagen wordt overgedragen. De productie van trillingen is het gevolg van de semi-statische verplaatsing van een massa en het gevolg van een dynamisch systeem van staal op staal; de stalen wielen die rollen, glijden en stoten op de stalen spoorstaven.

3.1.1 Voor de mens voelbare trillingen

Deze trillingen manifesteren zich voor de mens op twee manieren. Dit zijn de voelbare trillingen door een beweging van de vloer en door hoorbaar laagfrequent geluid, wat zich kenmerkt door gedreun of gedonder in een woonvertrek.

Trillingen boven een trillingsniveau van 100 dB (ofwel een trillingswaarde van 0.1 ofwel bij benadering een trillingsnelheid van 0.1 mm/s) worden als niet of net voelbaar ervaren. Deze waarde van 100 dB is de perceptiegrens voor de gemiddelde mens.

Om voor de trillingsniveaus een vergelijking te geven aan de menselijke perceptie is in de Duitse norm een beschrijving gegeven hoe trillingen worden ervaren door de mens. Onderstaand ter indicatie een omschrijving van de trillingsniveaus voor staande en zittende personen in “Kennzeichen Beurteilungs schwingstärke” KB conform de DIN 4150 zie literatuur [4] weergegeven. De KB waarde komt in grote lijnen overeen met de snelheidsniveaus $L_{v,eff,max}$ zoals deze in de Nederlandse richtlijnen wordt gebruikt.

tabel 1: indicatie hinderbeleving trillingsniveaus conform KB volgens DIN 4150

KB-waarde	$L_{v,eff,max}$	hinderbeleving
$KB \leq 0.10$	$L_{v,eff,max} \leq 100$ dB	niet voelbaar
$0.10 < KB \leq 0.4$	$100 \text{ dB} < L_{v,eff,max} \leq 112$ dB	net voelbaar
$0.4 < KB \leq 1.6$	$112 \text{ dB} < L_{v,eff,max} \leq 124$ dB	goed voelbaar
$1.6 < KB \leq 6.3$	$124 \text{ dB} < L_{v,eff,max} \leq 136$ dB	sterk voelbaar
$KB \geq 6.3$	$L_{v,eff,max} > 136$ dB	zeer sterk voelbaar

3.1.2 Laagfrequent geluid als gevolg van bodemtrillingen

Het tweede aspect is laagfrequent geluid dat als gedreun wordt ervaren. Dit word ook wel contactgeluid genoemd. Dit is geluid dat door trillingen van gebouwconstructies (wanden, vloer, plafond) wordt opgewerkt. Juist in woonvertrekken die aan de niet spoorzijde zijn gelegen wordt laagfrequent geluid meestal veel sterker opgemerkt. Dit omdat het directe luchtgeluid hier ontbreekt.

Bodemkarakteristieken, die worden gedomineerd door veel zand, zullen over het algemeen minder damping bezitten voor die frequentiebanden welke verantwoordelijk zijn voor laagfrequent geluid. Dit is het frequentiegebied tussen 20 en 250 Hz. Er zijn situaties bekend waarbij de 16 Hz octaafband ook nog van belang is. Een richtwaarde hiervoor is 35 dB(A).

3.2 Effecten voor gevoelige apparatuur

Bijzonder trillingsgevoelige apparatuur zal vaak bij banken, bij fotoreproducties, bij fijnmechanische productie of in de medische wereld gebruikt worden. Er is ook hier echter wel een trend naar steeds meer robuuste apparaten.

Bij onderzoekslaboratoria en bij wetenschappelijk onderzoek is het nog steeds mogelijk dat er zeer strenge eisen gesteld worden aan de toegestane trillingsniveaus. Vaak is er dan ook een strenge eis op het gebied van elektromagnetische straling als gevolg van de stroom/energietoevoer.

Computerapparatuur (harde vaste schijven) was in het verleden bijzonder trillingsgevoelig, maar de afgelopen 20 jaar is deze gevoeligheid niet meer aan de orde.

Nog steeds is en blijft het mogelijk dat juist door een trilling een schilderij van de muur kan vallen maar het is dan zeer de vraag of de bevestigingsmethode degelijk was.

3.3 Gebouwschade

Schade aan gebouwen door trillingen is tweeërlei. Door trillingen van een bouwconstructie (muren, wanden en plafonds) kan er schade ontstaan. Beperkte schade zal zich manifesteren in het ontstaan van scheuren en scheurtjes of doordat er kalk- en stucwerk zal loslaten. Zwaardere en sterkere trillingen kunnen in directe trillingsschade resulteren maar het is gebleken dat we dan wel praten over zeer hoge trillingsniveaus (boven 140-160 dB t.o.v. 1 nm/s). Dit is dus maar liefst 20 tot 40 dB boven de voelbaarheidsgrens voor de gemiddelde mens.

In de praktijk is gebleken dat gebouwschade vrijwel altijd het gevolg is van zettingen. Trillingen kunnen, en dit is niet altijd het geval, een versnelde zetting geven waardoor er zettingsschade kan ontstaan. Zettingsschade zal alleen ontstaan als een gebouw minder goed gefundeerd is en/of als er nog spanningen in de constructie van het gebouw aanwezig zijn.

3.4 Richtlijnen

In een drietal bestaande richtlijnen van de Stichting Bouw Research SBR (literatuur [1], [2] en [3]) is een handleiding gegeven voor het beoordelen van trillingen. Dit betreft richtlijnen over schade aan gebouwen, hinder voor personen in gebouwen en storing aan apparatuur.

De in de SBR genoemde maximale streefwaarde voor het maximale trillingsniveau voor bestaande situaties is gelijk aan een waarde van 0.4 ofwel een snelheidsniveau van 112 dB. Voor nieuwe situaties is de maximale streefwaarde voor het maximale trillingsniveau gelijk aan een waarde van 0.2 ofwel een snelheidsniveau van 106 dB.

In de SBR richtlijn is tevens nog een grenswaarde gegeven voor wisselende trillingen. Dit is een grenswaarde (v_{per}) die min of meer gebaseerd op equivalente trillingsniveaus. Dit zijn voor de energie gemiddelde waarden ten gevolge van het tramverkeer. Gezien het gegeven dat er nog geen gegevens zijn over de wisselende trillingsniveaus (de spreiding van de trillingen over de verschillende individuele voertuigen) kan er hiervoor nog geen voorspelling gemaakt worden. Hier komt nog eens bij dat voor vergelijkbare situaties deze v_{per} vrijwel nooit maatgevend is voor het wel of niet voldoen aan de SBR richtlijn.

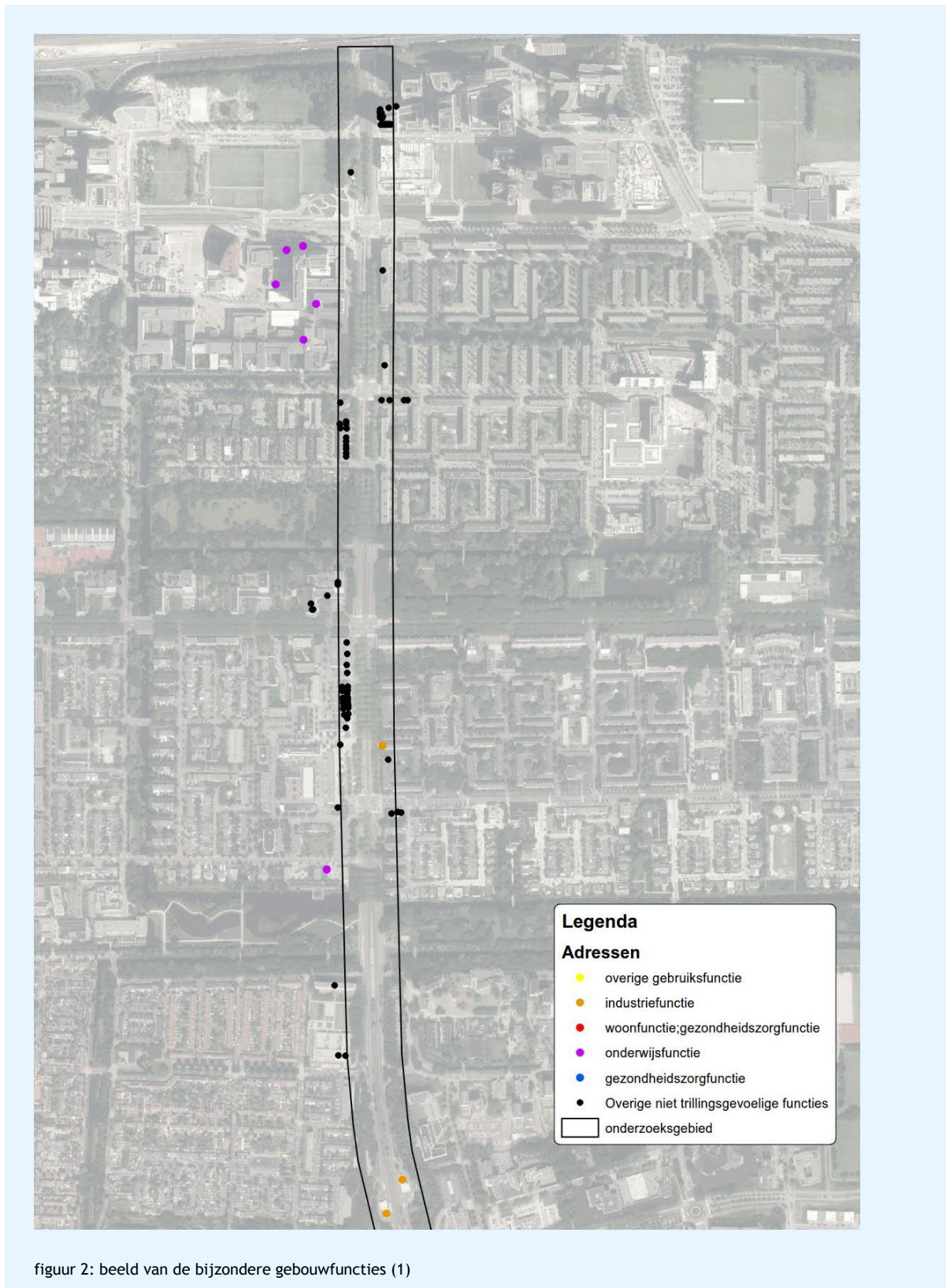
Een richtlijn voor laagfrequent geluid betreft optredende geluidsniveaus boven een waarde van 35 dB(A). Een en ander is beschreven in de methode De Ruiter. Zie literatuur [5]. In deze rapportage is ten aanzien van laagfrequent geluid door trillingen geen prognose gemaakt.

4. Ligging van trillingsgevoelige objecten

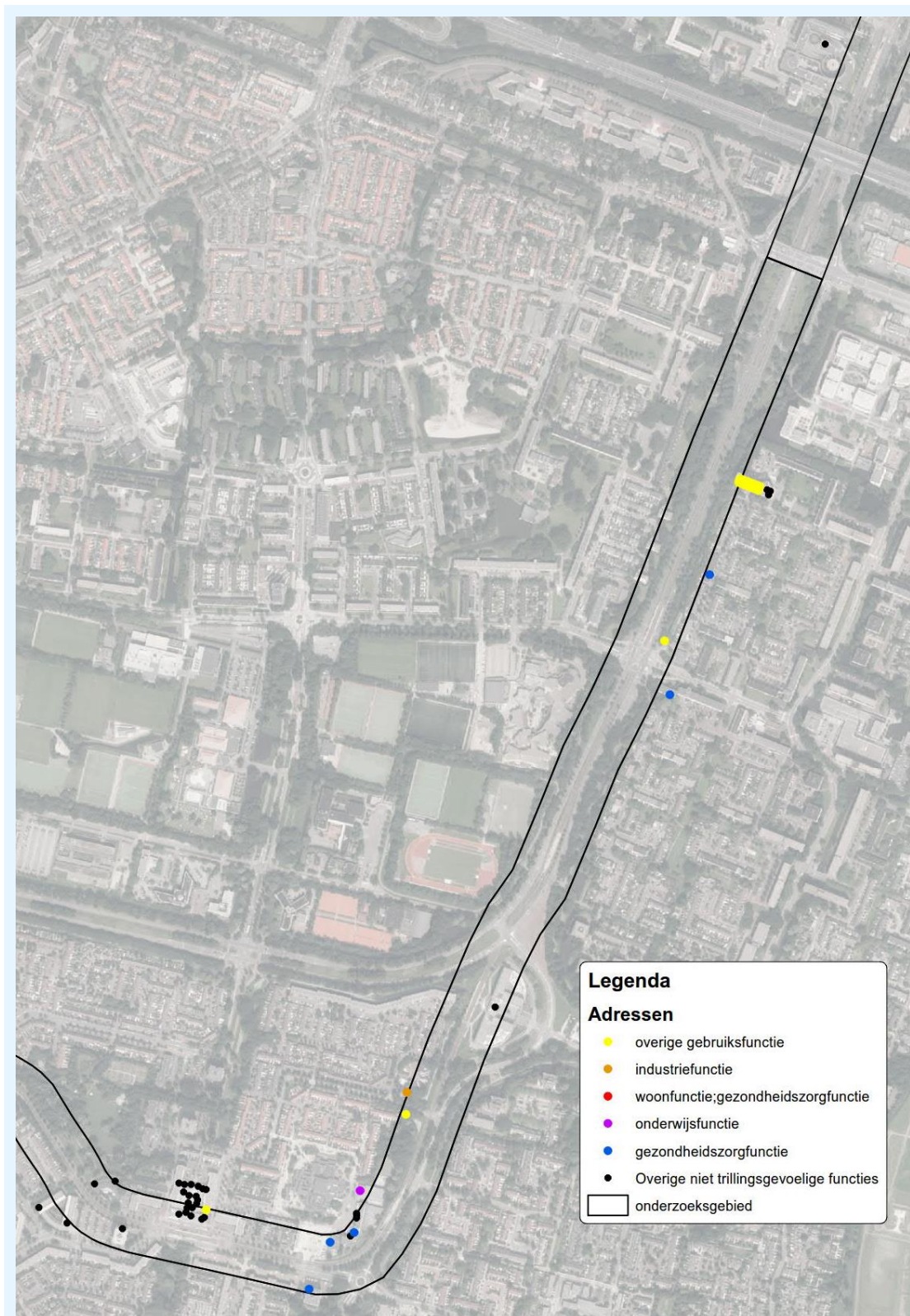
In het kader van dit onderzoek is een beeld gemaakt van mogelijke trillingsgevoelige activiteiten in het gebied rond de Amstelveenlijn. Er zijn geen bedrijfsbezoeken verricht. Aan de hand van openbare informatie en informatie afkomstig van medewerkers van de afdeling 'omgevingsmilieu' van de gemeenten Amstelveen en Amsterdam is een beeld verkregen van mogelijke trillingsgevoelige activiteiten in het gebied.

In eerste instantie is er een kaart gemaakt waarop, volgens het BAG (Basisregistratie Adressen en Gebouwen) bekende adressen zijn met diverse bijzondere gebouwfuncties. Er is hierbij gekeken naar bijzondere fijne-industriefuncties en gezondheidsfuncties binnen 50 m van het huidige spoor. Deze 50 m is een richtwaarde, die bij veel projecten wordt gehanteerd, maar het betekent niet dat er buiten deze 50 m geen hinder kan optreden.

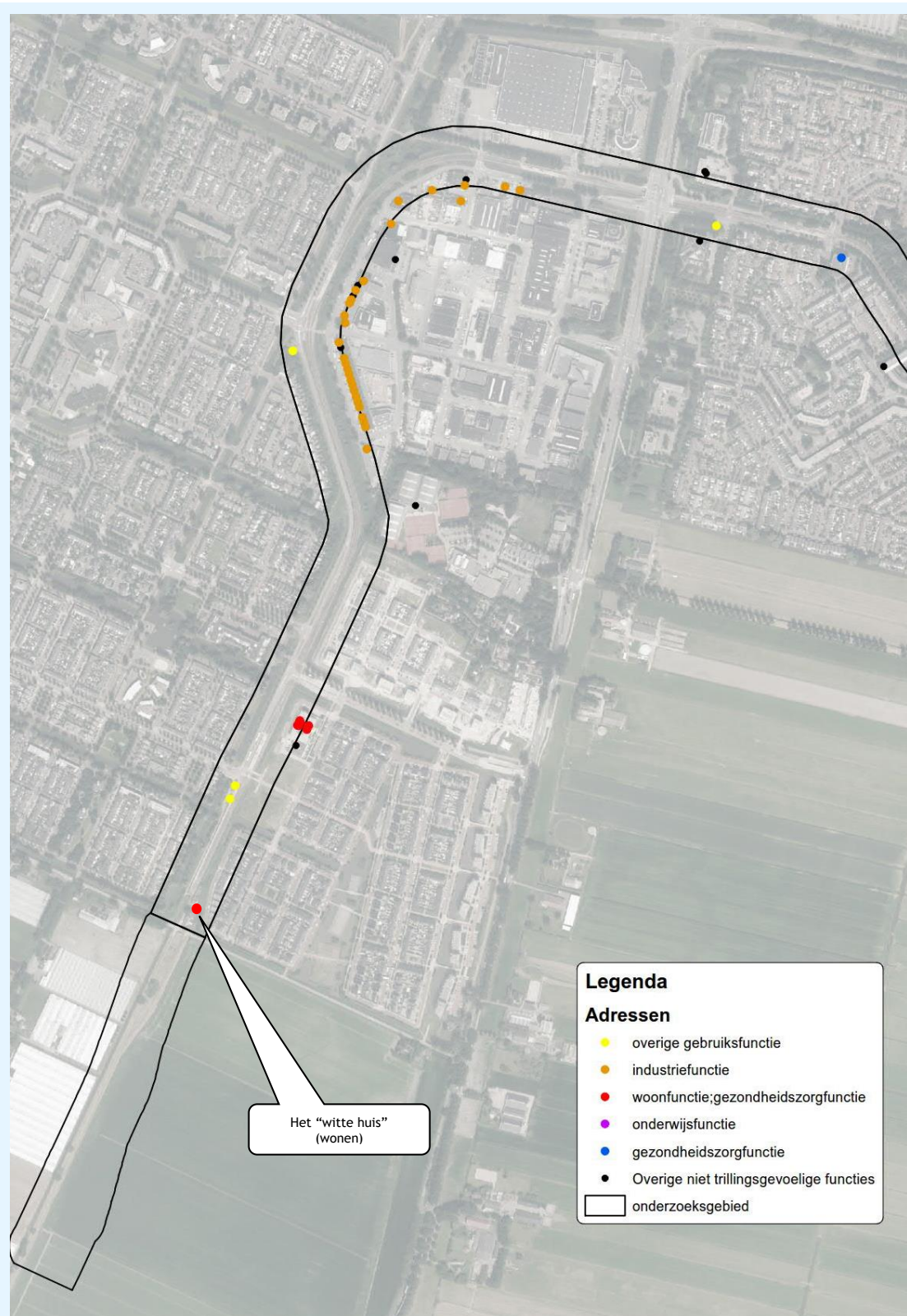
In de figuren 2 tot en met 5 zijn deze kaarten gegeven. Aan de hand van deze kaarten is ter plaatse een inschatting gemaakt naar mogelijke trillingsgevoelige activiteiten.







figuur 4: beeld van de bijzondere gebouwfuncties (3)



figuur 5: beeld van de bijzondere gebouwfuncties (4)

Op diverse plaatsen naast het tracé bevinden zich kantoren. De kantoren vallen wat betreft trillingsgevoeligheid onder de functie ‘onderwijs en kantoor’ en zijn niet bijzonder trillingsgevoelig. Een aantal kantoren zouden mogelijk als extra trillingsgevoelig kunnen worden bestempeld. Dit doordat er meer computerapparatuur aanwezig is. Dit zijn:

- Rekencentrum in het kantoor Zwitserleven (Burgemeester Reijnderslaan 7 Amstelveen)
- Rekencentrum in het kantoor ABN (Stroombaan 10-16 Amstelveen).

Zoals reeds aangegeven, is computerapparatuur van de aanwezige rekencentra niet meer trillingsgevoelig. Dit betekent per definitie niet dat er nooit door een trilling van de spoorbaan, een storing zou kunnen optreden, maar een trilling van vergelijkbare sterkte zou ook van een auto/vrachtauto of een menselijke activiteit van binnenuit het gebouw kunnen optreden, waardoor er een storing zou kunnen ontstaan. Een en ander is altijd een risico bij dergelijke apparatuur en onderdeel van het ‘normale’ proces wanneer er storingen optreden.

Het blijkt dat de meeste gezondheidsfuncties, een tandartspraktijk, tandartsenspecialist (parodontoloog) een medisch centrum, of een apotheek betreffen. Er is vooralsnog geen aanleiding gevonden dat er zeer bijzondere functies aanwezig zijn.

Ook de industriële activiteiten langs de Amstelveenlijn zijn niet bijzonder trillingsgevoelig. Er zijn geen inrichtingen gevonden met fotoapparatuur of gevoelige weegapparatuur. De twee inrichtingen zeer dichtbij de Amstelveenlijn in figuur 2 zijn benzinstations.

Een industriële activiteit langs de Amstelveenlijn die niet op de figuren is weergegeven zijn de gelijkrichterstations bij de Sportlaan. Deze staan op zeer korte afstand van het spoor. Aan de hand van een beoordeling van de apparatuur in deze stations wordt er echter geen trillingstechnische impact verwacht op deze gelijkrichterstations.

Uit een inventarisatie ter plaatse zijn er geen bijzondere objecten naar voren gekomen met uitzondering van het laboratorium U-0.29 in de Vrije Universiteit aan de Boelelaan. Hier zijn specialistische laboratoria aanwezig met apparatuur die zeer trillingsgevoelig kan zijn. Uit ervaring van DGMR bij een aantal vergelijkbare situaties kan worden verondersteld dat er nu in de huidige situatie geen verstoring optreedt. Voor het project ‘ombouw Amstelveenlijn’ kan een specificatie gehanteerd worden dat de trillingen afkomstig van buiten het gebouw, of de trilling afkomstig van de spoorbaan niet hoger mogen worden dan de trillingen in de huidige situatie. Het voldoen aan een stand stil principe kan een redelijke en reële basis zijn.

De woningen gelegen aan de J.C. van Hattumweg nummer 4 en 6 zijn zonder meer een aandachtspunt in het kader van de verlenging van het spoor en de aanleg van het opstelterrein. Deze woningen, in dit rapport het “witte huis” genoemd, zullen bij het doorstrekken van het spoor naar het opstelterrein in de Legmeerpolder zeer dicht langs het spoor komen te liggen. De kortste afstand zal circa 7 tot 10 m bedragen. De ligging van deze woningen is weergegeven in figuur 5.

5. Verwachte trillingsniveaus langs het spoor

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de te verwachten trillingsniveaus langs het spoor. Hierbij is onderscheid gemaakt in de volgende onderdelen:

- Algemeen beeld van trillingsniveaus ten gevolge van lightrailmateriaal Overzicht van de resultaten uit het onderzoek van 2010
- Verwachte trillingsniveaus ter plaatse van de verdiepte ligging van drie kruisingen (Bestemmingsplan 'Ongelijkvloerse Kruisingen Beneluxbaan Amstelveenlijn')
- Verwachte trillingsniveaus ter plaatse van de verlengde trambaan tussen station Westwijk en het opstel terrein (Bestemmingsplan 'Amstelveenlijn Opstel terrein').

5.1 Algemeen beeld

Om een eerste beeld te verkrijgen over de omvang van de mogelijke trillingshinder is een prognose gemaakt van de trillingsniveaus in de directe omgeving van spoorbanen met lightrailmaterieel. Deze eerste prognose is gemaakt aan de hand van een aantal projecten en van de meetervaringen van DGMR. De prognose is in de onderstaande grafiek (figuur 6) weergegeven. Op de horizontale as is de frequentie in Hz in 1/3-octaaftanden uitgezet en op de verticale as de snelheid in mm/s en ook het trillingsniveau in dB (ref 1 nm/s). De grafiek laat de verwachtingswaarde van de trillingssnelheid door railverkeer zien bij verschillende afstanden tot het spoor.

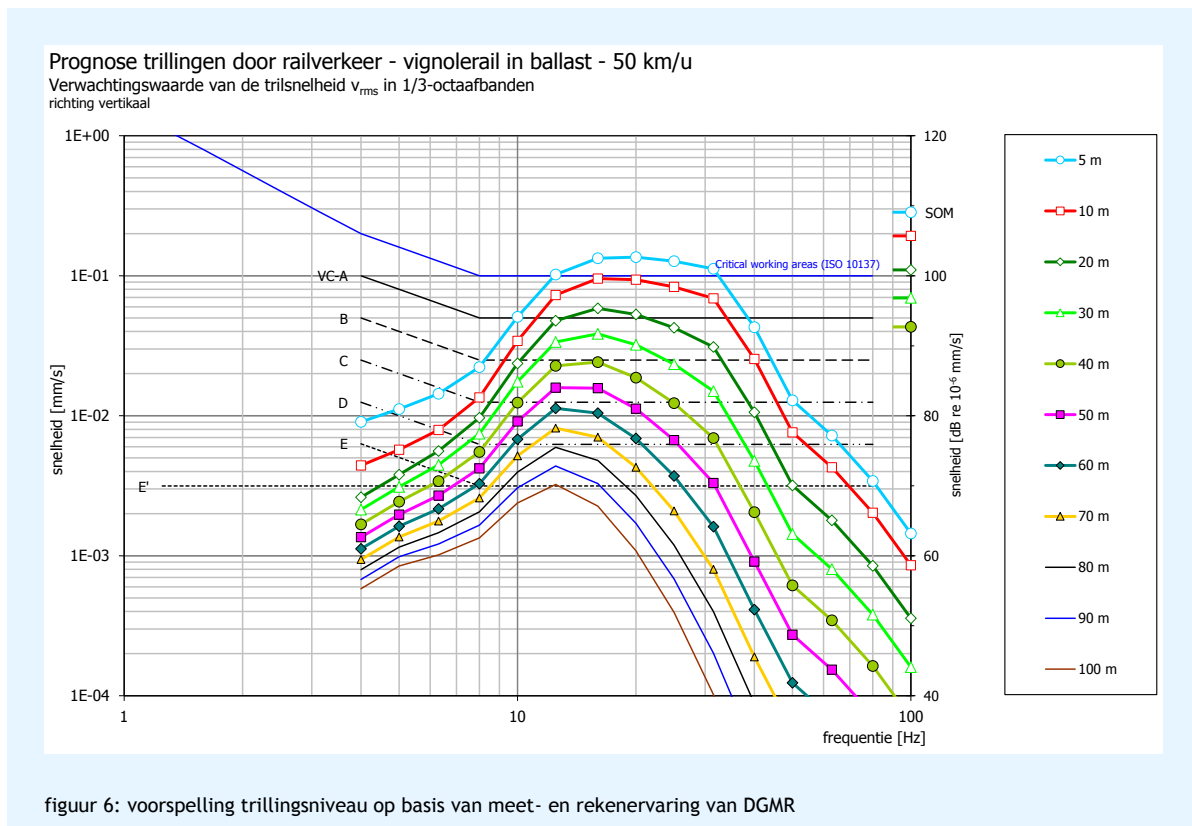
Opgemerkt moet worden dat bij deze prognose wordt uitgegaan van de trillingssnelheidsniveaus, uitgedrukt in v_{rms} . Dit omdat de lagere frequenties het makkelijkst worden overgedragen en hogere trillingsfrequenties sneller uitdempen in de bodem.

Uit bovenstaand gegeven kan worden afgeleid dat de trillingsversnellingen in de bodem sneller uitdempen dan de trillingssnelheden. De hogere frequentiebanden worden dus in de bodem sneller uitgedempt, waardoor de overdrachtsafstand van de versnellingen aanzienlijk minder ver is. Alleen voor apparatuur, opgesteld zeer dicht bij de spoorbaan, kan het versnellingsniveau relevant zijn.

Bij het maken van deze prognose is uitgegaan van de conditie van een goed onderhouden spoor. De prognose is van lightrailmaterieel op spoor in rechtstand en bij een rijnsnelheid van 50 km/u. Wissels en andere spooronderbrekingen zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. Het wel aanwezig zijn van deze spooronderbrekingen zal een verhoging van het trillingsniveau tot gevolg hebben. In de Amstelveenlijn zijn alle wissels langgelast uitgevoerd, zodat er geen spooronderbrekingen aanwezig zijn die voor verhoging van het trillingsniveau kunnen zorgen.

Uit de grafiek is af te leiden dat de voelbaarheidsgrens voor de gemiddelde zittende of staande mens (een trillingssnelheidsniveau van 100 dB t.o.v. 1 nm/s) is gelegen op circa 10 m uit het spoor. Dit geldt bij een goed onderhouden vignoleraail in ballast en bij circa 50 km/u.

Minder goed onderhouden spoor zal een verslechtering kunnen geven van 5 tot 10 dB. Deze verslechtering is afhankelijk van de hoeveelheid ruwheid op het loopvlak van de spoorstaaf. Ook een wissel en andere spoorstaafonderbrekingen zullen een verhoging kunnen geven van wel 10 dB of meer, zeker voor die situaties waarbij de wissels en railonderbrekingen met een overeenkomstige rijnsnelheid worden bereden. Hierbij is er wel een weer verzachtende omstandigheid omdat, ter voorkoming van te veel "impact", bij deze wissels en railonderbrekingen er meestal een lagere rijnsnelheid aan de orde is.



5.2 Onderzoek uit 2010

Het Projectbureau Amstelveenlijn heeft in 2010 een trillingsonderzoek laten uitvoeren omtrent de ombouw Amstelveenlijn, zie literatuur [6]. Dit onderzoek is uitgevoerd met de achtergrond dat rond 2010 er nog sprake was van een ombouw naar een metroachtige variant van de Amstelveenlijn, terwijl we nu praten over een tramachtige variant. Dit onderzoek uit 2010 omvat metingen en aan de hand van dit onderzoek is het volgende samen te vatten.

Er zijn in een aantal woningen alsmede in het gebouw van de Vrije Universiteit ter hoogte van de Boelelaan trillingsmetingen verricht. Het gaat hierbij om de volgende locaties/woningen:

- Neerkanne 72 afstand 31 m
- Alpenrondweg 38 afstand 53 m
- Guido van Dethlaan 49/51 afstand 54 m nabij wissel
- Laboratoria in de VU Boelelaan afstand 105 m

Een samenvatting van de meetresultaten is in tabel 2 gegeven. In deze tabel is tevens de spreiding tussen de meetresultaten uit verschillende meetperioden gegeven. Hierbij moet opgemerkt worden dat de railvoertuigen over het algemeen geen significante verschillen zullen geven bij verschillende meetperioden.

tabel 2: overzicht meetresultaten van onderzoek uit 2010

	afstand tot midden spoor in m	opmerkingen	gemiddelde trillingssnelheid [-]	gemiddelde trillingsniveau in dB ref 1 nm/s	spreiding tussen de meetperioden in dB
Neerkanne 72	31		0.18	105	8
Alpenrondweg 38	53		0.13	102	1
Guido van Dethlaan 49/51	54	nabij wissel	0.09	99	5
VU Ruimte U-0.29 vmax	105	begane grond	0.20	106	13
VU Ruimte U-0.29 vtop	105	begane grond	0.74	117	18
VU Ruimte UK-0.9 vmax	105	kelder	0.03	88	12
VU Ruimte UK-0.9 vtop	105	kelder	0.06	95	6

De conclusie is dat de gemiddelde meetresultaten in de woningen geen aanleiding geven tot een overschrijding van de SBR-streefwaarde (waarde van 0.4 ofwel een snelheidsniveau van 112 dB) voor de bestaande situatie.

Voor het laboratorium U-0.29 in de Vrije Universiteit aan de Boelelaan zijn wel hoge waarden gemeten, maar of de herkomst van deze trillingen een relatie heeft met de Amstelveenlijn is twijfelachtig.

Wel is bij de meetlocaties bij de woning Neerkanne 72 en in een paar ruimten van de universiteit en flinke spreiding tussen de meetperioden vast te stellen. Een en ander wijst op ofwel een daadwerkelijk groot verschil in type en onderhoudstoestand van de spoorwegvoertuigen, ofwel op veel verstoring van niet spoorlijn-eigen bronnen.

In vergelijking met de grafiek van figuur 6 zijn de gemeten trillingsniveaus in de woningen relatief hoog. De voorspellingsgrafiek geeft op 30 tot 50 m afstand beduidend lagere waarden dan zoals deze gemeten zijn. De verschillen liggen tussen 10 en 15 dB, zodat geconcludeerd moet worden dat de metingen hoge waarden opleveren. Het is derhalve de vraag of de conditie van het spoor aanzienlijk slechter was, ten opzichte van de uitgangspositie van de voorspellingsgrafiek ofwel dat er nog andere verslechterende omstandigheden waren waardoor hoge waarden zijn gemeten.

5.3 Verdiepte ligging van drie kruisingen

Bij de ombouw van de Amstelveenlijn worden in Amstelveen drie kruisingen ongelijkvloers gemaakt. Als gevolg van deze ombouw naar een verdiepte ligging is gekeken naar een mogelijk verhoogde trillingsemissie.

In het algemeen geldt, dat een tunnelconstructie zorgt voor een betere koppeling van de gehele bovenbouwconstructie naar de ondergrond. De spoorstaven zijn middels de bevestigingsklemmen gekoppeld aan de betonnen vloerplaat en de zijwanden met de bodem lagen. Een groter contactvlak, de tunnelvloer en met name de tunnelwanden zorgen, door een betere impedantieaanpassing, voor een hogere transmissie van trillingsenergie naar de ondergrond. Dus door een betere koppeling van spoorbaan en ondergrond zullen trillingen in de directe omgeving nabij een tunnel of tunnelbak hoger worden. Met een tunnelbak zullen de trillingsniveaus circa 3 tot 5 dB hoger zijn als gevolg van deze sterkere overdracht van de trillingsenergie. De spreiding is het gevolg van de details van de bak en de eigenfrequenties die dominant en significant kunnen zijn. Voor nader onderzoek zou een FE-model van de gehele bak gemaakt moeten worden.

Overigens is deze sterkere koppeling alleen van belang voor de spoorlijn. Wegverkeer zal over het algemeen, als gevolg van een vlak wegdek geen verhoogd trillingsniveau in de bodemlagen tot gevolg hebben.

5.3.1 De tunnelbak bij de Sportlaan

De meest nabijgelegen (laagbouw) woningen zijn gelegen bij de kruising met de Sportlaan. De kortste afstand tussen de woningen en de betonconstructie van de tunnelbak bedraagt circa 27 tot 31 m.

Hierbij is de rand van de nieuwe tunnelbak van belang, omdat de betonconstructie kan gaan meetrillen met de gehele bovenbouwconstructie. De delen van de tunnelbak met het spoor worden niet gedilateerd met die delen waar het autoverkeer zal gaan rijden. De kortste afstanden van circa 27 tot 31 m betreffen zowel woningen aan de oost- als aan de westzijden van de Beneluxlaan.

Op de afstand van circa 27 m worden, zonder een tunnelbak, trillingsniveaus geprognoseerd van circa 98 tot 104 dB (trillingssnelheid 0.08 - 0.16). Met een tunnelbak zullen deze niveaus 3 tot 5 dB hoger zijn als gevolg van een sterkere overdracht van de trillingsenergie (door impedantieaanpassing) tussen de betonnen bak en bodemlagen. Als gevolg hiervan zullen waarden van circa 103 tot 107 dB (trillingssnelheid 0.14 - 0.22 vastgesteld worden, zodat de richtlijnwaarde van de SBR voor nieuwe situaties overschreden kan worden. Nader onderzoek is nodig voor een meer kwantitatieve onderbouwing.

5.3.2 De tunnelbak bij de kruising Zonnestein / Straat van Messina

Ook nabij de nieuwe kruising Zonnestein en de Straat van Messina zal de toekomstige open tunnelbak gelegen zijn op korte afstand van woningen. Deze dichtstbijzijnde flats liggen op circa 26 m afstand van de rand van de nieuwe tunnelbak. Het betreft een appartementsgebouwen van meer dan 15 verdiepingen. Dergelijke hoge gebouwen werken door hun massa mee ter vermindering van de trillingsniveaus. Hoe zwaarder het gebouw des te lager zullen de trillingsniveaus zijn.

Op deze afstand worden, zonder een tunnelbak trillingsniveaus geprognoseerd van circa 95 tot 101 dB (trillingssnelheid 0.06 - 0.11). Met een tunnelbak zullen deze niveaus 3 tot 5 dB hoger zijn als gevolg van een betere energie overdracht van de trillingen tussen de betonnen bak en bodemlagen. Als gevolg hiervan zullen waarden van circa 100 tot 104 dB (trillingssnelheid 0.10 - 0.16).

Verwacht wordt dat de richtlijnwaarde van de SBR voor nieuwe situaties niet overschreden worden. Ook hier geldt dat nader onderzoek nodig is voor een meer kwantitatieve onderbouwing.

5.3.3 De tunnelbak bij de kruising Rembrandtweg / Saskia van Uylenburgweg

De meest nabijgelegen appartementen en flats liggen op circa 57 en 64 m afstand van de rand van de nieuwe tunnelbak. Op deze afstand worden, zonder een tunnelbak, trillingsniveaus geprognoseerd van circa 82 tot 91 dB (trillingssnelheid 0.01 - 0.04). Met een tunnelbak zullen deze niveaus 3 tot 5 dB hoger zijn als gevolg van een betere energieoverdracht tussen de betonnen bak en bodemlagen. Als gevolg hiervan zullen waarden van circa 87 tot 94 dB (trillingssnelheid 0.02 - 0.05), zodat de richtlijnwaarde van de SBR voor nieuwe situaties niet overschreden zullen worden. De prognoses liggen ruim onder de voelbaarheidsgrens voor de gemiddelde mens welke gelijk is aan een snelheidsniveau van 100 dB.

5.3.4 Samengevat

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van de te (verwachten) trillingsniveaus in de huidige en toekomstige situatie voor de maatgevende (dichtstbij gelegen) woningen bij de 3 nieuwe ongelijkvloerse kruisingen.

tabel 3: overzicht van de huidige en de te verwachten trillingsniveaus in de eindsituatie

Kruising	kortste afstand in m	maatgevend object	Huidige situatie				Toekomstige situatie			
			min	max	min	max	min	max	min	max
			dB	dB	mm/s	mm/s	dB	dB	mm/s	mm/s
Sportlaan	27	woningen Maarten Lutherweg	98	104	0.08	0.16	103	107	0.14	0.22
Sportlaan	31	appartementen 5 lagen Alpen Rondweg	93	99	0.04	0.09	98	102	0.08	0.13
Zonnestein	26	flats >15 lagen Westelijk Halfrond	95	101	0.06	0.11	100	104	0.10	0.16
Zonnestein	28	flats >15 lagen Van Heuven Goedhartlaan	95	101	0.06	0.11	100	104	0.10	0.16
Rembrandt weg	57	appartemenen 5 lagen Biesbosch	85	91	0.02	0.04	90	94	0.03	0.05
Rembrandt weg	64	flats >15 lagen Tiengemeten	82	88	0.01	0.03	87	91	0.02	0.04

Het is niet direct waarschijnlijk dat ook de SBR richtwaarden voor bestaande situaties overschreden zullen worden. Er kan echter wel bediscussieerd worden of de ombouw van de Amstelveenlijn nu een bestaande of nieuwe situatie is, aangezien de trambaan nu ook al aanwezig is. Alle waarden zijn lager dan de grenswaarde voor een bestaande spoorbaan.

Zoals wel eenduidig beschreven in de SBR richtlijn moeten in redelijkheid maatregelen getroffen worden om de trillingssterkte te reduceren volgens het ALARA principe (As Low As Reasonable Achievable). Een en ander houdt in dat bij de afweging omtrent de toelaatbaarheid van een bepaalde trillingssterkte, er niet alleen rekening wordt gehouden met de functie van het gebouw maar dat ook rekening gehouden wordt met het in redelijkheid kunnen treffen van maatregelen om de trillingssterkte te kunnen reduceren.

5.4 Verlengde trambaan tussen station Westwijk en het opstelterrein

Langs het aan te leggen spoorgedeelte tussen station Westwijk en het nieuwe opstelterrein zijn de woningen aan de J.C. van Hattumweg nummer 4 en 6 een aandachtspunt.

Deze woningen zullen bij het doortrekken van het spoor naar het opstelterrein in de Legmeerpolder zeer dicht langs het spoor komen te liggen. De kortste afstand tussen de woningen en het hart van het spoor zal circa 7 tot 10 m bedragen. Een beeld en de ligging van deze woningen zijn weergegeven in de onderstaande figuur.



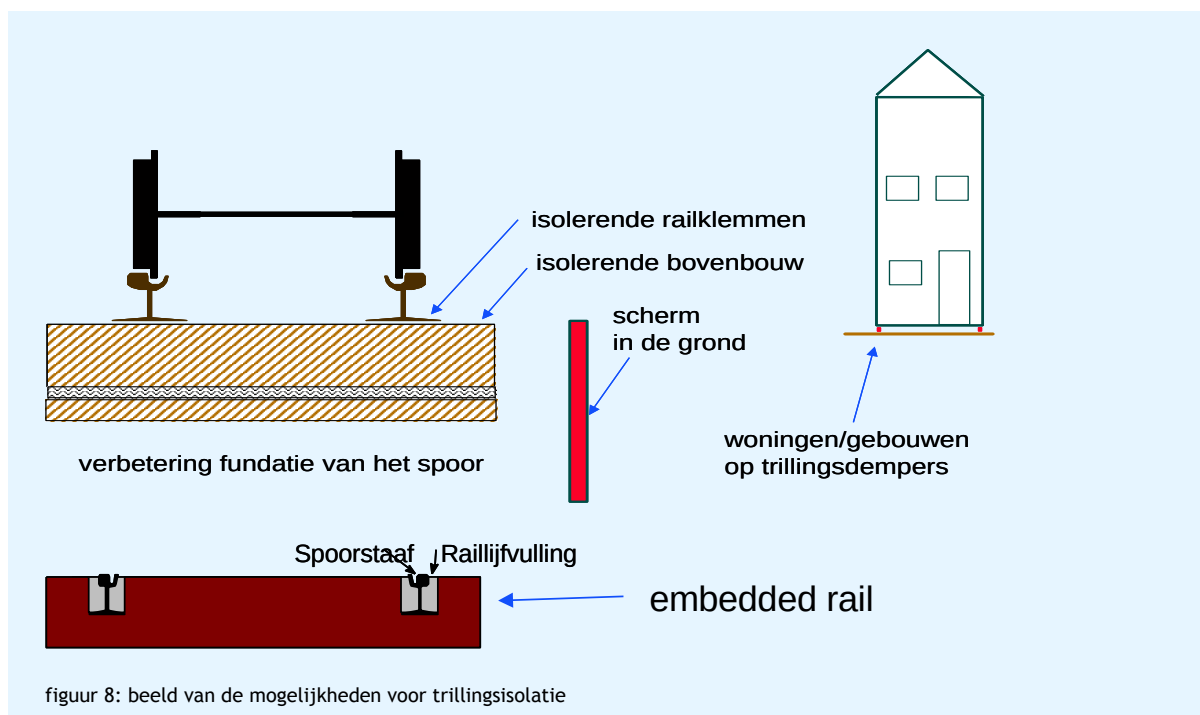
figuur 7: de woningen in het 'witte huis' aan de J.C. van Hattumweg (nrs 4 en 6) Foto Google Earth)

Voor de prognose van de trillingsniveaus is uitgegaan van een vignoleraail op betonnen dwarsligger in ballast en een rijksnelheid van maximaal 50 km/u. Er wordt geprognostiseerd dat deze woningen een trillingsniveau van circa 112 tot 117 dB zullen ondervinden (trillingssnelheid van 0.4 tot 0.7 mm/s). Hiermee is er sprake van een overschrijding volgens SBR-richtlijn B (gebaseerd op een nieuwe situatie). Er zullen maatregelen genomen moeten worden om deze trillingen te verminderen.

5.5 Mogelijke maatregelen

5.5.1 Maatregel principe

Om trillingsniveaus te reduceren kan gedacht worden aan een aantal type maatregelen of mogelijke combinaties van maatregelen. In onderstaande figuur zijn maatregelen in principe aangegeven. Alle maatregel zijn geënt op het onderbreken van de overdrachtsweg van de trillingen tussen spoorstaaf en fundering van de woning.



Hieronder is een overzicht gegeven van de mogelijke maatregelen met een indicatie van de trillingsreductie en eventuele nadelen.

- Met het toepassen van **isolerende railbevestigingsklemmen** wordt de spoorstaaf meer geïsoleerd van de dwarsliggers. Het effect op de trillingsisolatie bedraagt circa 2 tot 3 dB. Nadeel is dat de luchtgeluidsproductie met circa 3 tot 5 dB(A) zal toenemen.
- Isolatie van de spoorstaaf op de onderbouw door middel van isolerende onderlegplaatjes. Het reducerend effect op de trillingen zal circa 3 tot 8 dB bedragen.
- Isolatie van de spoorstaaf op de onderbouw door middel van **ingegoten spoorstaven** (embedded rail). Het reducerend effect op de trillingen zal circa 1 tot 3 dB bedragen.
- Isolatie van de spoorbaan door **isolatie van de dwarsliggers** in het ballast. De spoorbaan met ballast en dwarsliggers kan doorgezet worden. Het effect op de trillingen zal circa 3 tot 5 dB bedragen. Nadeel is dat de luchtgeluidsproductie met circa 3 tot 5 dB(A) zal toenemen afhankelijk van de toe te passen materialen tussen en naast het spoor.

- Isolatie van de spoorbaan op de ondergrond door middel van **ballastmatten**. De spoorbaan met ballast en dwarsliggers kan eenvoudig doorgezet worden. Het effect op de trillingen zal circa 6 tot 10 dB bedragen. Ballastmatten zijn een elastische kunststof, van rubber of kunnen ook bestaan uit minerale wol platen. Grondwaterstand is hierbij wel een belangrijk criterium. De luchtgeluidsproductie zal beperkt beïnvloed worden.
- Isolatie van de spoorbaan op de ondergrond door middel van een **afgeveerde spoorconstructie**. De spoorbaan wordt met een af te veren betonplaat geïsoleerd aangebracht op een onderbetonplaat. (slab track). Het effect op de trillingen zal circa 7 tot 12 dB bedragen. Nadeel is dat de luchtgeluidsproductie met circa 3 tot 5 dB(A) zal toenemen afhankelijk van de toe te passen materialen tussen en naast het spoor. Deze maatregel is bijzonder kostbaar.
- De trillingen in de bodem kunnen ook geïsoleerd worden door middel van een **scherm in de bodem**. Voor een nieuwe situatie is dit niet opportuun.
- De overdracht van trillingen in een woning kan geïsoleerd worden door **de woning te isoleren** middels trillingsdempers in de fundatie. Dit is voor een bestaande woning niet opportuun.

5.5.2 Tunnelbak bij de Sportlaan

Ter plaatse van de woningen aan de Maarten Lutherweg worden de grenswaarden uit de SBR-richtlijn voor een nieuwe situatie ($v_{\max} = 0.2$ ofwel 106 dB) overschreden. Om te kunnen voldoen aan de SBR-richtlijn moet een reductie van 1 tot 2 dB gerealiseerd worden. Dit kan bijvoorbeeld bereikt worden door onder de trambaan isolerende onderlegplaten toe te passen. De maatregelen dienen over een lengte van circa 250 m toegepast te worden.

5.5.3 Woningen JC van Hattumweg 4-6

Ten einde te voldoen aan de SBR-richtlijn ($v_{\max} = 0.2$ ofwel 106 dB) dient een isolatie gerealiseerd te worden van 6 tot 11 dB. Dit is met bovengenoemde maatregelen te realiseren. Er zal dan nog een net voelbare trilling aanwezig zijn.

Gezien het bovenstaande lijkt het opportuun om hier maatregelen te nemen in de vorm van ballastmatten. De lengte van de te nemen maatregel is beperkt tot circa 100 m en het toepassen van ballastmatten is minder kritisch dan andere maatregelen. Het nadeel van een verhoogde luchtgeluidsproductie is met ballastmatten niet of zeer beperkt aanwezig. Aan de hand van de lokale situatie kan een keuze gemaakt worden over het toe te passen materiaal van de ballastmat.

De detailuitwerking van de maatregelen moet plaatsvinden aan de hand van nauwkeurige emissiemetingen langs het bestaande traject, waarbij ook de diverse frequentiecomponenten worden vastgelegd en de dynamische eigenschappen van de bouwconstructie van de woningen. De gegeven range van de effecten is sterk afhankelijk van de dimensionering van de maatregelen en dus ook van detailinformatie van de bron.

Overigens kunnen er ook nog operationele maatregelen genomen worden zoals extra gladde sporen en/of lage rijsnelheden.

Zoals wel eenduidig beschreven in de SBR-richtlijn moeten in redelijkheid maatregelen getroffen worden om de trillingssterkte te reduceren volgens het ALARA-principe (As Low As Reasonable Achievable). Een en ander houdt in dat bij de afweging omtrent de toelaatbaarheid van een bepaalde trillingssterkte, er niet alleen rekening wordt gehouden met de functie van het gebouw maar dat ook rekening gehouden wordt met het in redelijkheid kunnen treffen van maatregelen om de trillingssterkte te kunnen reduceren.

6. Tijdelijke situatie tijdens ombouw

Een belangrijk aspect is dat bij de bouw van de ongelijkvloerse kruisingen de sporen tijdelijk naar buiten worden geplaatst en daarmee dichterbij de woningen komen te liggen. Ook het wegverkeer komt in de tijdelijke situatie dichterbij.

Voor de kruisingen Rembrandtweg en Zonnestein is in onderstaande tabel een overzicht gegeven van de te (verwachten) trillingsniveaus ten gevolge van het spoorwegverkeer in de huidige en de tijdelijke situatie tijdens de aanleg van de ongelijkvloerse kruisingen voor de maatgevende (dichtstbij gelegen) woningen. Hierbij is uitgegaan van een tijdelijke verkorting van de kortste afstand van het spoor tot de woningen.

Voor de kruising Sportlaan is er geen tijdelijke verlegging van het spoor. De spoorlijn zal op deze plaats tijdelijk worden opgeheven.

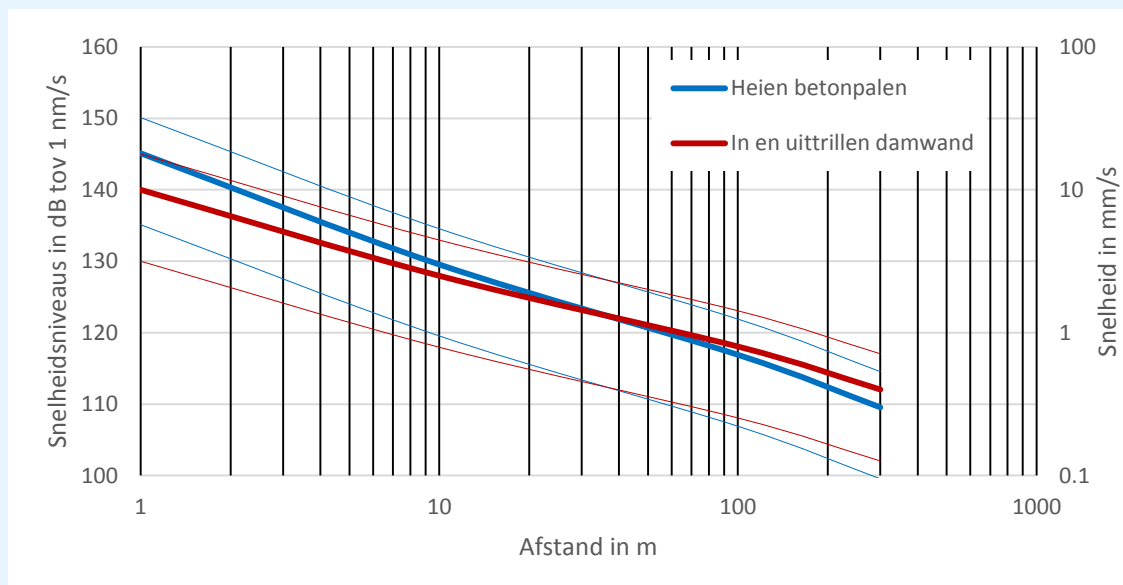
tabel 4: overzicht van de huidige en de te verwachten trillingsniveaus tijdens de aanleg van de tunnels (tijdelijke situatie)

			Huidige situatie				Tijdelijke situatie			
	kortste afstand	maatgevend object	min	max	min	max	min	max	min	max
	in m		dB	dB	mm/s	mm/s	dB	dB	mm/s	mm/s
Zonnestein	26	flats >15 lagen Westelijk Halfrond	95	101	0.06	0.11	101	107	0.11	0.22
Zonnestein	28	flats >15 lagen Van Heuven Goedhartlaan	95	101	0.06	0.11	101	107	0.11	0.22
Rembrandtweg	57	appartementen 5 lagen Biesbosch	85	91	0.02	0.04	88	94	0.03	0.05
Rembrandtweg	64	flats >15 lagen Tien Gemeenten	82	88	0.01	0.03	85	91	0.02	0.04

Voor de kruising met de Rembrandtweg zijn de maatgevende woningen op voldoende grote afstand gelegen zodat er geen trillingshinder verwacht zal worden. Voor de kruising met de Zonnestein kan in de tijdelijke situatie voor de meest conservatieve prognose enige hinder ontstaan.

7. Trillingen ten gevolge van bouwactiviteiten

De belangrijkste trillingsgevoelige onderdelen van de bouw van de ongelijkvloerse kruisingen/tunnels zijn de funderingswerkzaamheden met damwanden, andere heiwerkzaamheden en het grondtransport. Naast de mogelijke geluidshinder van heiwerkzaamheden zullen deze activiteiten zeker ook trillingsoverlast tot gevolg hebben. Heiwerkzaamheden zijn tijdelijk van aard, maar zullen in een goed omgevingsplan door de aannemer verantwoord moeten worden. Een eerste indicatie van de optredende trillingsniveaus is in onderstaand figuur gegeven.



figuur 9: Indicatief beeld van trillingsniveaus voor het heien van standaard prefab betonpalen of het in- en uittrillen van damwanden. De grafiek geeft een benadering op basis van metingen van IFCO, Muller van Dorsser en DGMR. In de grafiek is met de dunne lijnen de spreiding aangegeven.

De meest nabij de nieuwe kruisingen en open tunnelbak gelegen woningen liggen op circa 25 m afstand van de rand van de nieuwe tunnelbak. Bij deze woningen zal tijdens de funderingswerkzaamheden rekening gehouden moeten worden met sterk voelbare trillingen. Een en ander is ook nog wel afhankelijk van het type woningen of appartementengebouw. Het ontstaan van schade aan gebouwconstructies lijkt als eerste screening niet aan de orde, doch een goede analyse hiervoor is aan te bevelen.

Hierbij is het ook aan te bevelen om te onderzoeken of het noodzakelijk is om aanvullende maatregelen te treffen tijdens de realisatie om trillingshinder te beperken.

8. Conclusie

De langs het tracé liggende woningen worden in de huidige situatie niet belast met trillingen boven de SBR richtlijn B grenswaarden. Ook in gebouwen met als functie onderwijs worden de richtlijnen in de huidige situatie niet overschreden.

In dit onderzoek zijn geen kantoren gevonden die bijzonder trillingsgevoelig zijn. Ook de industriële activiteiten langs de Amstelveenlijn zijn niet bijzonder trillingsgevoelig. Er zijn geen inrichtingen gevonden met fotoapparatuur of gevoelige weegapparatuur. Hierbij geldt wel een voorbehoud, omdat er geen bezoek geweest is van de panden en directe vraaggesprekken zijn gevoerd.

Het witte huis gelegen aan de J.C. van Hattumweg (nummers 4 en 6) is zonder meer een aandachtspunt. Er zullen ingrijpende maatregelen genomen moeten worden om bij deze woningen aan de SBR richtlijn te gaan voldoen. Het lijkt het meest opportuun om maatregelen te nemen in de vorm van ballastmatten. De lengte van de te nemen maatregel is beperkt tot circa 100 m en het toepassen van ballastmatten is minder kritisch dan andere maatregelen. Het nadeel van een verhoogde luchtgeluidsproductie is met ballastmatten niet of zeer beperkt aanwezig. Aan de hand van de lokale situatie kan een keuze gemaakt worden over het toe te passen materiaal van de ballastmat.

De detailuitwerking van de maatregelen moet plaatsvinden aan de hand van nauwkeurige emissiemetingen langs het bestaande traject, direct voor het huidige eindpunt, waarbij ook de diverse frequentiecomponenten van de emissie worden vastgelegd. Van de woningen moeten middels metingen dan ook de dynamische eigenschappen van de bouwconstructie van de woningen worden bepaald. De gegeven range van de effecten is sterk afhankelijk van de dimensionering van de maatregelen en dus ook van detailinformatie van de bron en van de woning.

De meest nabij de nieuwe kruisingen en open tunnelbak gelegen woningen liggen op circa 25 m afstand van de rand van de nieuwe tunnelbak. Voor woningen kan op deze afstand, bij een conservatieve benadering, de richtlijnwaarde van de SBR (106 dB) overschreden worden. Dit treedt op ter plaatse van de woningen aan de Maarten Lutherweg (kruising Sportlaan). Deze kan worden voorkomen door bijvoorbeeld de toepassing van isolerende onderlegplaten onder de trambaan toe te passen over circa 250 m lengte.

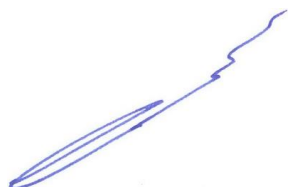
Voor de kruising met de Zonnestein kunnen in de toekomstige situatie net voelbare trillingen ontstaan, maar de richtlijnwaarde van de SBR zal niet overschreden worden. Voor de kruising met de Rembrandtweg zullen, gezien de grotere afstanden tot woningen, ook in de toekomstige situatie geen voelbare trillingen ontstaan. De richtlijnwaarde van de SBR zal hier niet overschreden worden.

Zoals beschreven in de SBR richtlijn moeten in redelijkheid maatregelen getroffen worden om de trillingssterkte te reduceren volgens het ALARA principe (As Low As Reasonable Achievable). Een en ander houdt in dat bij de afweging omtrent de toelaatbaarheid van een bepaalde trillingssterkte, er niet alleen rekening wordt gehouden met de functie van het gebouw maar dat ook rekening gehouden wordt met het in redelijkheid kunnen treffen van maatregelen om de trillingssterkte te kunnen reduceren.

9. Aanbevelingen

Het verdient aanbeveling om in het kader van trillingen bij de woningen gelegen aan de J.C. van Hattumweg 4/6 (het witte huis), nader onderzoek in de vorm van metingen te doen om de te treffen maatregelen zo goed mogelijk te kunnen dimensioneren. Hierbij dienen nauwkeurige emissiemetingen langs het bestaande traject uitgevoerd te worden, waarbij ook de diverse frequentiecomponenten worden vastgelegd en de dynamische eigenschappen van de bouwconstructie van de woningen. De gegeven range van de effecten is sterk afhankelijk van de dimensionering van de maatregelen en dus ook van detailinformatie van de bron.

Er wordt aanbevolen om bij de bouw van de verdiepte liggingen en tunnelbakken, in het kader van omgevingsmanagement, een prognose te maken van de te verwachten trillingsniveaus als gevolg van de diverse bouwactiviteiten. Een en ander aan de hand van de toe te passen funderingsmethoden, grondslag, sonderingen en type gebouwen (woningen/appartementengebouwen). Hierbij is het ook aan te bevelen om te onderzoeken of het noodzakelijk is om aanvullende maatregelen te treffen tijdens de realisatie om trillingshinder te beperken.



ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

10. Literatuur

- [1] Stichting bouwresearch, Trillingen deel A, Schade aan gebouwen meet- en beoordelingsrichtlijn, SBR Rotterdam, 2006;
- [2] Stichting bouwresearch, Trillingen deel B, Hinder voor personen in gebouwen meet- en beoordelingsrichtlijn SBR Rotterdam, 2006;
- [3] Stichting bouwresearch, Trillingen deel C, Storing aan apparatuur meet- en beoordelingsrichtlijn, SBR Rotterdam 2006;
- [4] DIN 4150 'Erschütterung im Bauwesen'
- [5] Methode Bob de Ruiter, Gemeentewerken Rotterdam. Deze methode werd voorheen in TNO-rapporten ook wel de 'GWR richtlijn' genoemd. Methode de Ruiter, ProRail (2008) Trillingen en LF Geluid, Kennisdocument van het kenniscentrum Spoorgeluid.
- [6] Projectbureau Amstelveenlijn Ombouw Amstelveenlijn Trillingsonderzoek Railinfra Solutions, 23 december 2010;