

Hinderonderzoek trillingen

Hinderonderzoek voor personen in gebouwen ten gevolge van trillingen van het busverkeer in het centrum van Haarlem

Status	definitief
Versie	004
Rapport	M.2015.1464.01.R001
Datum	20 september 2016

Colofon

Opdrachtgever	Gemeente Haarlem Afdeling Gebiedsontwikkeling en Beheer Postbus 511 2003 PB HAARLEM
Contactpersoon	de heer K. Lindhout
Project Betreft Uw kenmerk	Onderzoek trillingshinder centrum Haarlem Rapportage onderzoek trillingshinder centrum Haarlem -
Rapport Datum Versie Status	M.2015.1464.01.R001 20 september 2016 004 definitief
Uitgevoerd door	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Casuariestraat 5 2511 VB Den Haag Postbus 370 2501 CJ Den Haag
Informatie	ir. A.C. (Aart) van Zwiene 088 346 78 56 azw@dgmr.nl
Auteur	ing. M.H.C. (Thijs) Ruiter 088 346 78 57 tru@dgmr.nl
Verantwoordelijk	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen 088 346 75 69 ln@dgmr.nl
Verwerkt door	AZW LN OZU/BRA

Inhoud

1. Inleiding	4
2. Situatie	5
2.1 Achtergrondinformatie	5
2.2 Centrum Haarlem	5
2.3 Onderbouwing onderzoekslocaties	6
3. Hinder door voelbare trillingen en geluid	13
4. Beoordelingsrichtlijnen	14
4.1 SBR-A schade aan gebouwen	14
4.2 SBR-B hinder voor de mens	15
5. Onderzoeksmethode	17
5.1 Meetgrootheden	17
5.2 Meetapparatuur	17
5.3 Bepalingsmethode	19
6. Meetresultaten	21
6.1 Resultaten SBR-B	21
6.2 Resultaten SBR-A	22
6.3 Samenvatting resultaten	24
7. Analyse meetresultaten	27
7.1 Invloed rijnsnelheid	27
7.2 Invloed gelede en ongelede lijnbussen	27
7.3 invloed bodemsamenstelling	27
8. Maatregelen	29
8.1 Bronmaatregelen - snelheidsverlaging	29
8.2 Bronmaatregelen - Andere voertuigen / het weren van voertuigtypen	30
8.3 Bronmaatregelen - aanpassen van vlakheid van het wegdek	30
8.4 Bronmaatregelen - aanbrengen van een vlak (trillingsreducerende) klinkers of asfalt	31
8.5 Bronmaatregelen - verhoging impedantie - aanleg nieuwe grondlaag met isolerende laag	31
8.6 Overdrachtsmaatregelen - trillingsdempende schermen	32
8.7 Overdrachtsmaatregelen - trillingsisolatie om de fundering van de woning/gebouw	32
8.8 Maatregelen bij de woning/gebouw	32
8.9 Welk maatregel waar?	33
9. Conclusie	34
Bijlage 1	

1. Inleiding

In opdracht van de gemeente Haarlem heeft DGMR, adviseurs voor bouw, industrie, verkeer, milieu en software een onderzoek uitgevoerd naar trillingshinder in het centrum van Haarlem.

Bij de gemeente Haarlem zijn veel klachten bekend over voelbare trillingen in en bij woningen in het (historische) centrum van Haarlem. Doel van het onderzoek is het bepalen van de oorzaak in combinatie met het kwantificeren van de trillingsoverlast in het centrum om vervolgens permanente en/of tijdelijke beheersmaatregelen te adviseren. De onderzoeksvragen luiden als volgt:

- 1 Wat is de oorzaak van de gemeten trillingen die leiden tot hinder op de aangewezen locaties?
- 2 Hoe verhouden deze trillingen zich tot de SBR-richtlijnen.
- 3 Wat is het effect op trillingshinder indien klinkers als wegverharding worden vervangen door asfalt en vice versa.
- 4 Is er een relatie met de bodemsamenstelling?
- 5 Wat is het effect op trillingshinder indien de maximale snelheid wordt verlaagd?
- 6 Welke permanente en/of tijdelijke maatregelen zijn mogelijk om deze trillingen te reduceren?

Het rapport is bedoeld als leidraad voor de gemeente en kan worden gehanteerd bij infra projecten binnen de gemeentegrenzen van Haarlem. De rapportage biedt aanbevelingen voor maatregelen die moeten zorgen voor een lagere ervaring van trillingshinder door omwonenden. De adviezen zijn gebaseerd op trillingsmetingen op meerdere locaties die verschillen in bodemgesteldheid en type wegdekverharding. De verzamelde meetgegevens geven een representatief beeld van het trillingsklimaat in de gemeente Haarlem.

Het onderhavige rapport is een uitbreiding van de deskstudie (DGMR rapport 'Resultaten deskstudie onderzoekslocaties' met kenmerk M.2015.1464.00.N001 versie 001 van 7 maart 2016).

In het volgende hoofdstuk 'Situatie' worden de onderzochte meetlocaties behandeld. De onderzoekslocaties worden individueel per paragraaf toegelicht over de huidige situatie (bodemgesteldheid, wegdekverharding, verkeerskarakteristieken etc.). In hoofdstuk 3 wordt de onderzoeksmethode en de beoordelingsrichtlijnen (SBR A en B) beschreven. Een analyse van de meetresultaten wordt in het daaropvolgende hoofdstuk gepresenteerd. In het hoofdstuk 'Beoordeling en discussie' worden de rekenresultaten per onderzoekslocatie beoordeeld en bediscussieerd. Maatregelen, permanente en/of tijdelijk worden in hoofdstuk 7 behandeld. In het hoofdstuk worden de verbanden tussen de onderzoekslocaties, de bodemgesteldheid en het type wegdekverharding toegelicht. Er wordt afgesloten met een conclusie.

2. Situatie

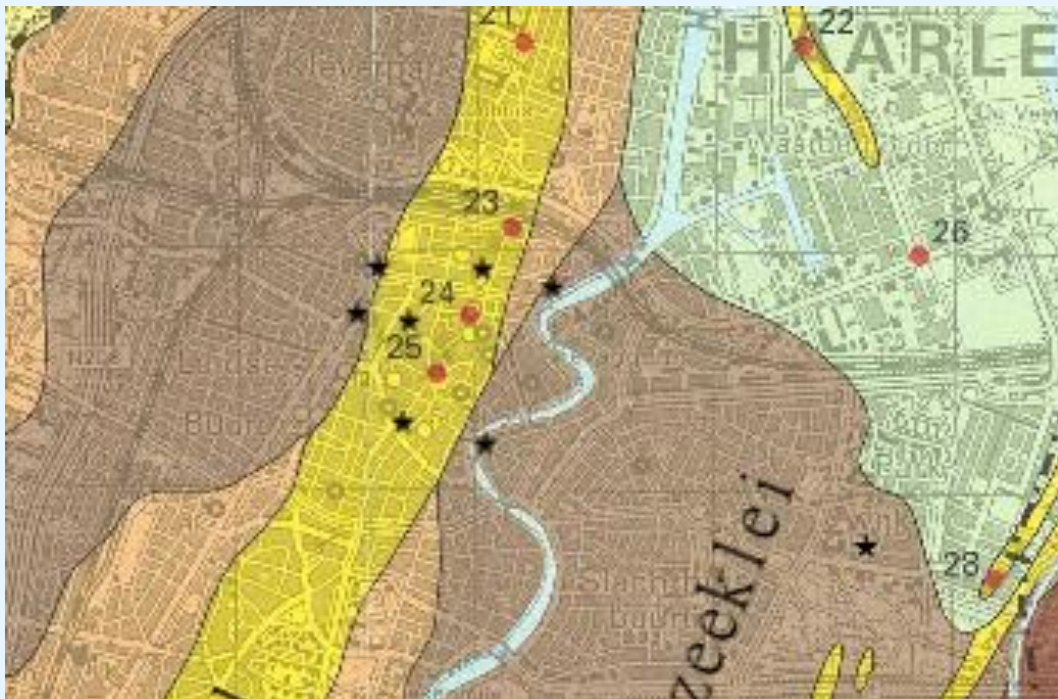
2.1 Achtergrondinformatie

Trillingen worden veroorzaakt door de interactie van een bewegende massa met de ondergrond. Het dynamische gedrag van de massa en de oneffenheden van het oppervlak (spoor of weg) zijn bepalend voor de mate van trillingen naar de omgeving.

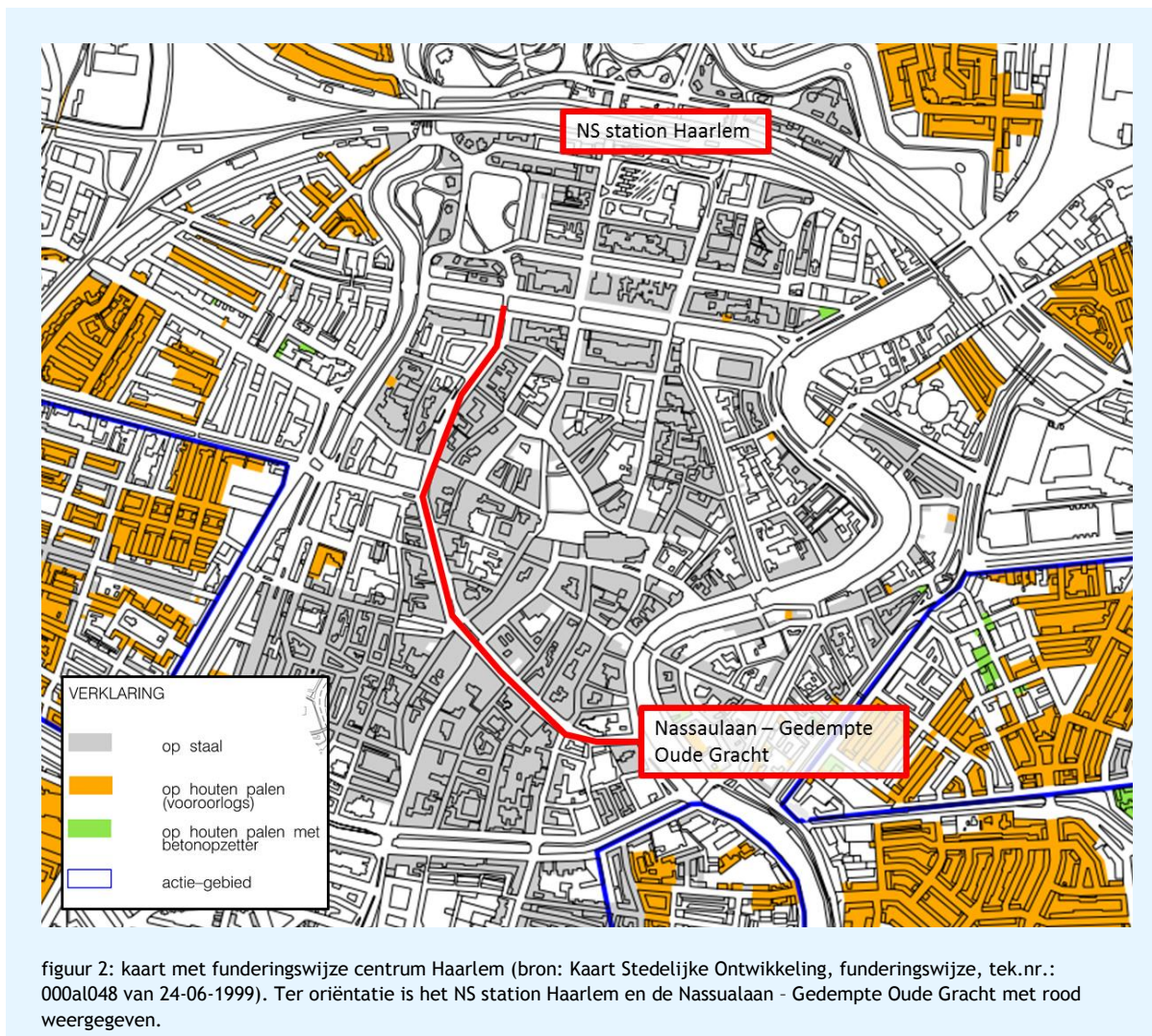
De fysische eigenschappen van de bodem zijn sterk afhankelijk van de structuur en opbouw van de bodem. De bodem gedraagt zich niet als een eenduidig medium. Variatie ontstaat door de gelaagdheid, samenstelling (klei, zand en veen) en ook blijkt de vochtigheid soms van belang te zijn voor de wijze van voortplanting van de trillingen door de bodem. De trillingen die, via de fundering en de constructie van de woning, de vloeren in beweging brengen worden in sterke mate bepaald door de wijze van de constructie van de woning. De soort van de fundering en de toegepaste bouwwijze bepalen het gedrag van de woning op trillingen.

2.2 Centrum Haarlem

Trillingsoverdracht is afhankelijk van onder andere de bodemgesteldheid en type wegdekverharding. Figuur 1 weergeeft de verschillende typen bodems in Haarlem. In het centrum zijn veel woningen op staal gefundeerd (zie figuur 2). Dit is mogelijk vanwege de strandwal (geel). De bodem bestaat verder uit veen op strandwal (oranje) en IJ-klei op strandwal. Veel trillingsklachten zijn afkomstig van woningen op de strandwal of nabij de overgang van strandwal naar IJ-klei of veen op strandwal.



figuur 1: kaart van de bodemgesteldheid van de gemeente Haarlem (bron: Geografische kaart aangeleverd door de gemeente Haarlem). De onderzoekslocaties zijn aangeduid met een ster.

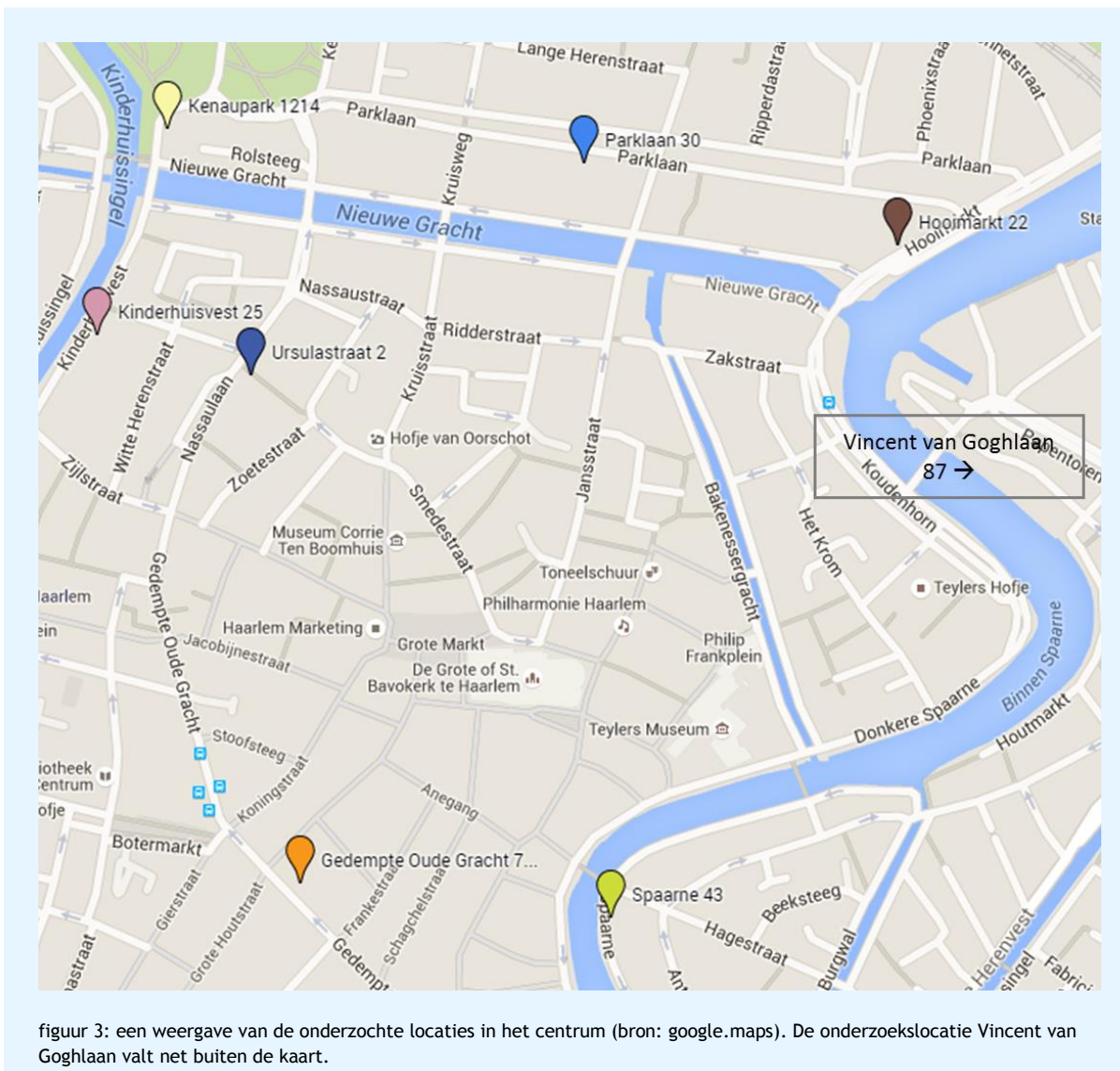


2.3 Onderbouwing onderzoekslocaties

Aan de hand van aangereikte informatie van de gemeente is op basis van geregistreeerde trillingsklachten, de bodemgesteldheid en het type wegdekverharding van acht onderzoekslocaties aangewezen die samen een representatief beeld van de meest voorkomende situaties binnen de gemeentegrenzen vormen. Op basis van deze informatie zijn de volgende locaties als onderzoekslocatie aangewezen:

- 1 Gedempte Oude Gracht 75A
- 2 Hooimarkt 22
- 3 Kenaupark 12
- 4 Kinderhuisvest 25
- 5 Spaarne 43
- 6 Parklaan 30
- 7 Ursulastraat 2
- 8 Vincent van Goghlaan 87

De onderzoekslocaties worden in de onderstaande paragrafen toegelicht. In figuur 3 is de ligging van de onderzoekslocaties weergegeven.



figuur 3: een weergave van de onderzochte locaties in het centrum (bron: google.maps). De onderzoekslocatie Vincent van Goghlaan valt net buiten de kaart.

De bodemgesteldheid is bepaald op basis van de ‘Bodemvisie, Bouwen op slappe grond - Zettingsgevoeligheid’ van de provincie Noord-Holland. De data is gecontroleerd door middel van de kaart van Stedelijke Ontwikkeling, Funderingswijze uit 24-06-1999, tekening nummer 000a1048. De gekozen meetlocaties zijn representatief voor de meeste woningsituaties in het centrum van Haarlem. In onderstaande tabel is de spreiding van de onderzoeklocaties weergegeven.

tabel 1: overzicht onderzoekslocatie, verhouding bodemgesteldheid en type wegdekverharding

	Veen met dunne IJ-klei op strandwal	Zand/strandwal
Asfalt	2	2
Klinkers	3	1

2.3.1 Gedempte Oude Gracht 75A

De trillingen op de Gedempte Oude Gracht worden waarschijnlijk veroorzaakt door bus- en (zwaar) vrachtverkeer in beide richtingen op de overgang van asfalt naar klinkers (inclusief bijbehorende verkeersdrempel) ter hoogte van de Gedempte oude gracht, Grote houtstraat. De weg zelf is

gefundeerd. Op de kruising van de Gedempte Oude Gracht - Kleine Houtstraat zijn al eerder maatregelen getroffen [5].

Uit onderzoek van Heijmans bleek dat stootplaten de enige juiste oplossing was bij de overgang van asfalt naar klinkers. Na het toepassen van deze stootplaten waren de ervaringen van de omwonenden positief. De trillingen zijn drastisch afgenomen volgens het gevoel van de bewoners, mits er aan de toegestane snelheid gehouden wordt. Door beide straten rijden de buslijnen 2, 3, 73 en 300. De Gedempte Oude Gracht is geasfalteerd en de maximale rij snelheid bedraagt 30 km/u.



figuur 4: voorgevel meetlocatie inclusief meetapparatuur.



figuur 5: overzicht waarschijnlijke bron trillingshinder.

De meting heeft plaatsgevonden aan de Oude Gedempte Gracht 75a gedurende 31-05 t/m 16-06. De woning is op staal gefundeerd op geroerde en/of opgebrachte grond met daaronder een zandlaag/strandwal [10]. De trillingsopnemers zijn bevestigd op de voorgevel, op een hoogte van 3 meter. Het betreft een massief gebouw waar de begane grond in gebruik is als winkelruimte en de verdiepingen erboven als bovenwoning. De verdiepingsvloer bestaat uit een betonplaat met daarop parket. De voorgevel is waarschijnlijk een spouwmuur.

2.3.2 Hooimarkt 22

De hooimarkt is een tweebaans geasfalteerde weg met een maximale rij snelheid van 50 km/u. Lijnbus 15 rijdt in noordelijke richting over de Hooimarkt. De bodem bestaat uit veen met een dunne laag IJ-klei op strandwalzand. De panden aan de Hooimarkt zijn gebouwd tussen 1800 en 1900, een aantal heeft een beschermde status. De metingen zijn uitgevoerd op nummer 22. De trillingsopnemer is aan de buitenzijde van de voorgevel ter hoogte van de fundatie geplaatst. De woning is op staal gefundeerd. De meting heeft plaatsgevonden vanaf 09-05 t/m 18-05.



figuur 6: aanzicht gevel onderzoekslocatie.



figuur 7: locatie trillingsopnemers onderzoekslocatie

2.3.3 Kinderhuisvest 25 en Kenaupark 12

Kinderhuisvest en Kenaupark liggen vlak bij elkaar ten noorden van het centrum, nabij het NS station. Onder andere buslijnen 8, 14, 81, 50, 340, 346 en 356 maken gebruik van deze weg. De weg, maximale toegestane snelheid 50 km/u bestaat bij de Kinderhuisvest uit asfalt en bij het Kenaupark uit klinkers. Deze woningen zijn op staal gebouwd op veen met dunne laag IJ-klei op strandwalzand.

De meting bij de Kinderhuisvest is uitgevoerd op nummer 25. De trillingsopnemers zijn bevestigd op een dragende scheidingswand in de garage op de begane grond. Het gebouw is opgetrokken uit metselwerk, op de begane grondvloer zijn tegels als afwerking aangebracht. De meting heeft plaatsgevonden tussen 04-05 t/m 18-05.

De meting bij Kenaupark is uitgevoerd op de fundatie bij nummer 12A. Het betreft een vrijstaand Rijksmonument. De trillingsopnemers zijn op de fundatie bij het kruipluik geplaatst. Het betreft een massief gebouw bestaande uit een betonnen geïsoleerde begane grondvloer. De meting heeft plaatsgevonden tussen 26-04 t/m 04-05.



figuur 8: aanzicht Kinderhuisvest 25 (bron: google.maps)



figuur 9: Kenaupark 12 te Haarlem

2.3.4 Spaarne 43

Van verschillende woningen op het 'eiland' tussen de Spaarne en de Burgwal zijn trillingsklachten bekend. Er rijden hier geen lijnbussen, het wegdek bestaat uit klinkers en de maximale snelheid bedraagt 50 km/u. De meting is uitgevoerd in de kelder van de woning Spaarne 43. Zoals de meeste woningen op het 'eiland' is de woning op staal gefundeerd op een dunne laag IJ-klei op strandwalzand. De woning is een beschermd gebouw. Het is een pand met een klokgevel met onderpui. De vloeren zijn van hout. De trillingsopnemers zijn geplaatst in een gemetselde kelder enige meters van de voorgevel af. De meting heeft plaatsgevonden tussen 14-06 t/m 21-06.



figuur 10: overzicht van de meetlocatie (bron: google.maps).

2.3.5 Parklaan 30

De Parklaan ligt ten noorden van het centrum, net onder het NS station Haarlem. De weg vormt de ontsluitingsweg tot het station voor de lijnbussen van Connexxion. Op de Parklaan rijden de volgende buslijnen: 2, 3, 8, 14, 15, 50, 73, 81, 300, 340, 346 en 356. Dit komt neer op ongeveer 53 bussen per uur afhankelijk van de spitsdienstregeling. De weg zelf is geasfalteerd.

De meting is uitgevoerd op nummer 30. De trillingsopnemers zijn bevestigd aan de zijgevel van het gebouw net boven het straatniveau. Het betreft een massief gebouw, welke een Rijksmonument is. De meting heeft plaatsgevonden tussen 30-06 t/m 07-07. Het wegdek bestaat uit asfalt en de maximale rijsnelheid bedraagt 50 km/u.



figuur 11: voorgevel onderzoekslocatie Parklaan. Met rood is de locatie van de trillingsopnemers weergegeven.

2.3.5.1 Ursulastraat 2

De Nassaulaan ligt in het centrum van Haarlem. Buslijnen 2, 3 en 73 maken van deze weg gebruik. De gebouwen rondom de weg zijn op staal gefundeerd. Van de bewoners/eigenaren van het Rijksmonument aan de Ursulastraat 2 is na het herasfalteren van een strook wegverharding trillingshinder bekend [9]. De woning is op staal gebouwd op geroerde en/of opgebrachte grond met daaronder een zandlaag/strandwal [10]. De trillingsopnemers zijn op de fundatie bevestigd middels de zijgevel van het pand. De meting heeft plaatsgevonden tussen 31-05 t/m 07-06. Opgemerkt dient te worden dat in de wegverharding gaten/bulten bekend zijn (zie onderstaande foto). De maximale rijsnelheid bedraagt 50 km/u.



figuur 12: voorgevel onderzoekslocatie Nassaulaan.



figuur 13: locatie reparatievak Nassaulaan

2.3.6 Vincent van Goghlaan 87

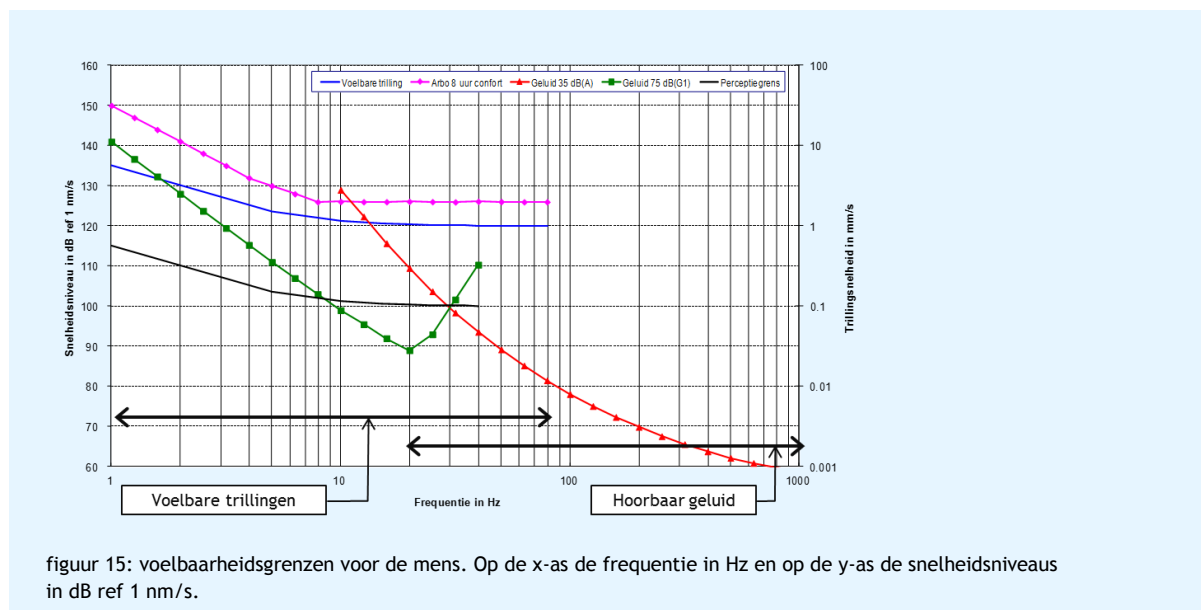
De Vincent van Goghlaan ligt ten westen van het centrum. Buslijnen 80 en 680 maken gebruik van deze weg. De weg zelf bestaat uit klinkers (maximale rijsnelheid 30 km/u) met daaronder een veenondergrond. Het appartementencomplex waar de meting heeft plaatsgevonden bestaat uit vier bouwlagen. Het relatief nieuwe gebouw bestaat uit een massieve opbouw van geïsoleerde spouwmuren en betonnen verdiepingvloeren. De meting heeft plaatsgevonden op nummer 87 van 26-04 t/m 05-04. De trillingsopnemers zijn bevestigd aan de voorgevel van een benedenwoning. De camera en snelheidsradar zijn bevestigd ter hoogte van de eerste verdieping aan een regenpijp. Er dient te worden vermeld dat de wegdekverharding niet egaal was aangelegd of is verzakt.



figuur 14: het appartementencomplex waar de meting heeft plaatsgevonden

3. Hinder door voelbare trillingen en geluid

Trillingen worden in het algemeen voelbaar waargenomen in het frequentiegebied tussen 1 en 80 Hz, figuur 8. In de onderstaande figuur is de voelbaarheidsgrens met blauw weergegeven.



Om de trillingsniveaus een vergelijking te geven met de menselijke perceptie is onderstaand ter indicatie een omschrijving van de trillingsniveaus voor staande en zittende personen in KB en snelheidsniveaus in $L_{v,eff,max}$ conform de DIN 4150 'Erschütterung im Bauwesen' in tabel 2 weergegeven. KB/DIN 4150 zijn dimensieloos, ter verduidelijking is de betreffende waarde in mm/s weergegeven.

tabel 2: indicatie hinderbeleving trillingsniveaus conform KB (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 dB $< L_{v,eff,max} \leq 112$ dB	Net voelbaar
$0.4 < KB \leq 1.6$	112 dB $< L_{v,eff,max} \leq 124$ dB	Goed voelbaar
$1.6 < KB \leq 6.3$	124 dB $< L_{v,eff,max} \leq 136$ dB	Sterk voelbaar
$KB \geq 6.3$	$L_{v,eff,max} > 136$ dB	Zeer sterk voelbaar

Naast voelbare trillingen is het aspect laagfrequent geluid (LF-geluid) te beschouwen. Het frequentiegebied van LF-geluid ligt niet eenduidig vast. Men hanteert een frequentiegebied tussen de 20 en 200 Hz als LF-geluid. LF-geluid wordt als hinderlijk beoordeeld indien dit voor de mens waarneembaar is. Op basis van 'expert judgement' is LF-geluid niet van toepassing als bron voor de waargenomen hinderbeleving in het centrum van Haarlem. LF-geluid wordt dan ook verder in dit onderzoek niet behandeld.

Trillingen worden veroorzaakt door een combinatie van overdracht via lucht en/of bodem. Oneffenheden in weg, zoals verkeersdrempels maar ook klinkerstenen, randen en putdeksels geven pulsformige trillingen in de bodem die in aanliggende gebouwen gevoeld kunnen worden. Door het rijden op luchtbanden ligt het accent in het trillingspectrum van zwaar verkeer op frequenties tot circa 20 Hz. Boven 20 Hz neemt de trillingsenergie in de bodem, maar ook in de gebouwen snel af. Trillingsoverdracht is verder sterk afhankelijk van de bodemsamenstelling en de fundering- en gebouwconstructie.

4. Beoordelingsrichtlijnen

Er bestaan drie typen SBR-richtlijnen:

- SBR-A: Schade aan gebouwen;
- SBR-B: Hinder voor personen in gebouwen;
- SBR-C: Storing aan apparatuur.

In dit document wordt er getoetst aan SBR richtlijn A en B. De andere richtlijn (C) wordt buiten beschouwing gelaten. De richtlijnen worden alom geaccepteerd als beoordelingskader maar zijn niet vastgelegd in een wettelijk kader.

4.1 SBR-A schade aan gebouwen

De SBR-A richtlijn maakt gebruik van streefwaarden welke gericht zijn om schaden aan gebouwen te beoordelen. Overschrijding van deze streefwaarden zou aanleiding kunnen geven tot het ontstaan van schade aan de constructie van de gebouwen. Indien de streefwaarden worden overschreden, moet dit de aanleiding zijn voor overleg tussen de betrokken partijen. Afhankelijk van de omstandigheden kan vervolgens een afweging worden gemaakt of de te beoordelen trillingssterkte al dan niet acceptabel is.

Onder schade aan een bouwwerk wordt een verandering van de eigenschappen of van de positie van (een onderdeel van) een bouwwerk verstaan, met één of meer van de volgende gevolgen:

- Een verlies van functie, zoals het bezwijken van dragende onderdelen.
- Een vermindering van de integriteit van het onderdeel of van het bouwwerk als geheel met betrekking tot zijn dragende functie, waarbij sprake is van een significante vermindering van de veiligheid om de korte of langere termijn (vermindering van de verwachte levensduur).
- Een vermindering van de economische waarde of de gebruikswaarde, zoals bij scheurvorming in afwerkklagen of betegeling.

Omdat SBR-A kijkt naar de schade aan gebouwen zijn er drie categorieën van bouwwerken.

Categorie 1:

- In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout.
- Onderdelen van een bouwwerk die geen deel uitmaken van de draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies), indien deze bestaan uit gewapend beton of hout.
- Draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijde, die bestaan uit metselwerk zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke.

Categorie 2:

- In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk.
- In goede staat verkerende onderdelen van een gebouw die niet tot de draagconstructie behoren, zoals scheidingsconstructies die bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.

Categorie 3:

- Onderdelen van oude en monumentale gebouwen met grote cultuurhistorische waarde.
- In slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of in slechte staat verkerende onderdelen van gebouwen.

Het bouwwerk kan in een slechte bouwkundige staat verkeren. Er is sprake van een slechte bouwkundige staat als:

- De sterkte van de draagconstructie in belangrijke mate is verminderd door reeds aanwezige schade;
- De onderlinge samenhang van onderdelen of de sterkte van verbindingen tussen onderdelen zodanig is dat deze door trillingen kan bezwijken of in belangrijke mate kan verzwakken.

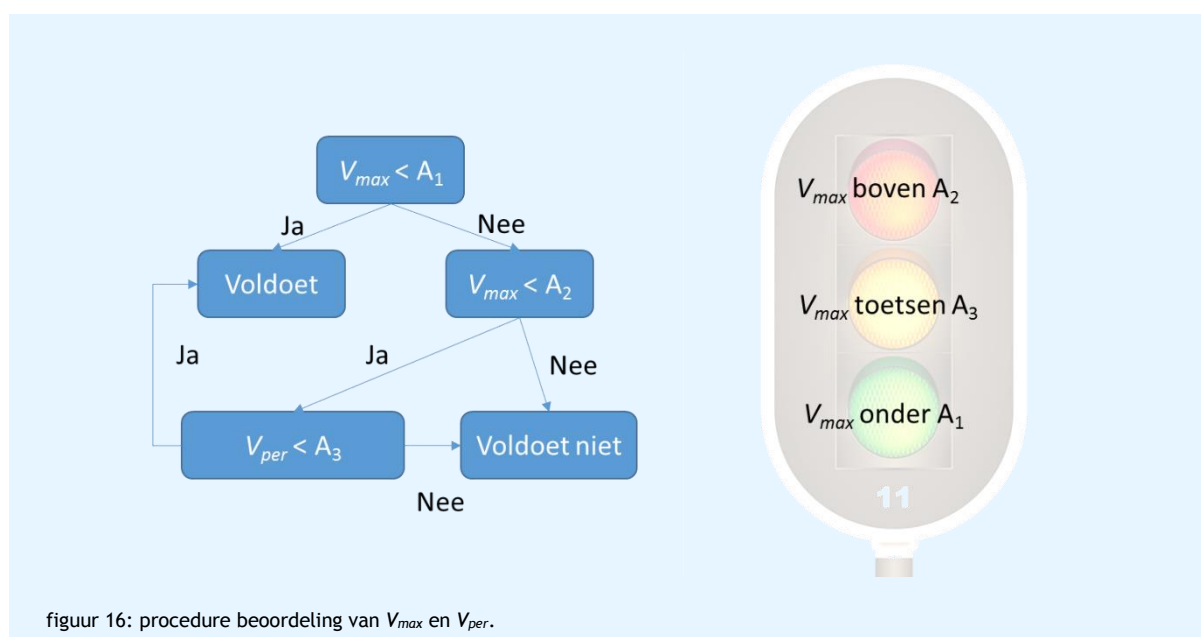
Naast de typen gebouwen wordt er onderscheid gemaakt tussen de verschillende typen trillingsbronnen.

- Bronnen die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken door een stootvormige excitatie. Het aantal malen dat het trillingsverschijnsel voorkomt is zo gering dat vermoeiing van constructiematerialen niet kan optreden. Bijvoorbeeld: explosies, botsingen.
- Bronnen die herhaalde kortdurende trillingen veroorzaken bij een stootvormige excitatie. Hieronder wordt verstaan bronnen die zo vaak voorkomen dat vermoeiingseffecten in de bouwmaterialen kunnen optreden. Bijvoorbeeld: heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer.
- Bronnen die continue trillingen veroorzaken. Hieronder wordt verstaan alle bronnen die niet onder de voorgaande twee categorieën kunnen worden ingedeeld of bronnen waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in de onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Bijvoorbeeld: machines met roterende onderdelen.

Of er schade aan het gebouw plaatsvindt is afhankelijk van V_d (rekenkundige trillingssnelheid) en V_r (rekenkundige grenswaarde). Waarbij de schade aan het gebouw afkomstig van een trilling zeer onwaarschijnlijk is indien V_d kleiner is dan V_r .

4.2 SBR-B hinder voor de mens

De SBR-B richtlijn maakt gebruik van streefwaarden die gericht zijn op hinder door trillingen te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van deze streefwaarden dient dan ook zoveel mogelijk te worden vermeden. Indien de streefwaarden worden overschreden, dient dit de aanleiding te zijn voor overleg tussen de betrokken partijen. Afhankelijk van de omstandigheden kan vervolgens een afweging worden gemaakt of de te beoordelen trillingssterkte al dan niet acceptabel is.



figuur 16: procedure beoordeling van V_{max} en V_{per} .

Trillingshinder wordt beoordeeld aan de hand van het maximaal optredende trillingsniveau en het gemiddelde trillingsniveau, vergelijkbaar met het maximale geluidsniveau en het langtijdgemiddelde geluidsniveau bij de beoordeling van geluid. Voor een aantal typen trillingen en verschillende gebouwfuncties (wonen, onderwijs e.d.) staan in de richtlijn grens- en streefwaarden voor maximaal optredende trillingsniveaus en gemiddelde trillingsniveaus. Voor herhaald voorkomende trillingen wordt er getoetst volgens figuur 16 met de streefwaarde uit tabel 3.

tabel 3: streefwaarde voor herhaald voorkomende trillingen voor bestaande situaties

Gebouwfunctie	Dag en avond (07:00-23:00)			Nacht (23:00-07:00)		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg	0.2 / 106	0.8 / 118	0.1 / 100	0.2 / 106	0.4 / 112	0.1 / 100
Wonen	0.2 / 106	0.8 / 118	0.1 / 100	0.2 / 106	0.4 / 112	0.1 / 100
Onderwijs en kantoor	0.3 / 110	1.2 / 122	0.15 / 104	0.3 / 110	1.2 / 122	0.15 / 104
Bijeenkomst	0.3 / 110	1.2 / 122	0.15 / 104	0.3 / 110	1.2 / 122	0.15 / 104
Kritische werkruimte	0.1 / 100	0.1 / 100	-	0.1 / 100	0.1 / 100	-

* vermelden waarden in mm/s en dB (ref 1 nm/s)

Waarbij de streefwaarden zijn aangegeven door:

A₁ onderste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} [-]

A₂ bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} [-]

A₃ streefwaarde voor de trillingssterkte V_{per} [-]

Overschrijding van de streefwaarden leidt tot een reële kans op hinder (tabel 4). Hoewel de waarden internationaal gezien redelijk streng zijn, zullen er nog steeds mensen zijn die de trillingen onder de streefwaarden als hinderlijk kunnen ervaren.

tabel 4: hinderkwalificatie streefwaarde

V_{max} [-]	Hinderkwalificatie
< 0.1	Geen hinder
0.1 - 0.2	Weinig hinder (bestaande situaties)
0.2 - 0.8	Matige hinder
0.8 - 3.2	Hinder
> 3.2	Ernstige hinder

5. Onderzoeksmethode

Het trillingsklimaat in een ruimte is afhankelijk van de activiteiten buiten (passerende lijnbussen, vrachtwagens, ambulances etc.) en binnen (personen, apparatuur, schoonmaakwerkzaamheden etc.). Het in relatie brengen van (gemeten) trillingen en de veroorzaker is een belangrijk aandachtspunt voor het realiseren van trillingsreducerende maatregelen. Met behulp van video en geluidsopnames is het mogelijk om op een betrouwbare manier gemeten trillingen te koppelen aan passerende voertuigen of andere activiteiten/veroorzakers. In de onderstaande paragrafen wordt de bepalingsmethode en de statische analyse van het onderhavige onderzoek toegelicht.

5.1 Meetgrootheden

De gemeten grootheden zijn versnellingen (a) of versnellingsniveaus (L_a), door integratie van dit signaal wordt de trillingsnelheid V (SBR-A) en de snelheidsniveaus ($V_{\text{eff,max}}$) bepaald. Het versnellingsniveau wordt lineair, ongewogen, gepresenteerd en worden uitgedrukt in dB ten opzichte van 10^{-9} m/s ofwel 1 nm/s, formule 1.

$$(1) \quad L_v = 10 * \log \left(\frac{V^2}{V_o^2} \right)$$

L_v	snelheidsniveau in dB
V	gemeten snelheid in m/s
V_o	referentie snelheid: 1 nm/s

$$(2) \quad v = v_o * 10^{\left(\frac{L_v}{20}\right)}$$

In de grafieken op de website van Sensornet worden de trillingsnelheden V in drie richtingen en twee analysemethoden weergegeven:

- V_{top} , de topwaarde van het snelheidsniveau per seconde (volgens SBR-A);
- $V_{\text{eff,max}}$, het effectieve maximale snelheidsniveau per seconde (volgens SBR-B).

Het gedigitaliseerde trillingssignaal wordt conform SBR publicatie 'Trillingen: meet- en beoordelingsrichtlijnen' deel B omgezet naar $V_{\text{eff,max}}$ (tijdconstante 1/8 seconde).

Voor alle onderzoekslocaties is de SBR-B analysemethode toegepast. Voor de locaties Gedempte Oude Gracht, Spaarne, Parklaan en Ursulastraat is gelijktijdig de SBR-A analysemethode toegepast. Voor de overige locaties is de SBR-A methode bepaald door middel van de in paragraaf 6.2 toegelichte methode bepaald.

De trillingen van bussen manifesteren zich als voor de mens voelbare trillingen door een beweging van de vloer en door LF-geluid, wat zich kenmerkt door gedreun of gedonder in een woonvertrek. De meetmethode maakt het mogelijk om effectief op basis van de trillingsmetingen van de fundatie van de woning een omrekening te maken voor het bepalen van de trillingsinvloed elders in het gebouw.

5.2 Meetapparatuur

In de onderstaande tabel zijn de specificaties van de trillingsopnemers weergegeven. De metingen worden uitgevoerd in drie richtingen, x, y en z. De x-richting zijn trillingen evenwijdig aan de geprojecteerde geluidsbron (de weg), y-richting zijn de trillingen loodrecht op deze lijn en de z-richting zijn verticale trillingen (ofwel in de hoogte). De algemene meetnauwkeurigheid bedraagt 1 tot 2 dB.

tabel 5: specificaties trillingsopnemers doorlopende metingen (deel 1/2)

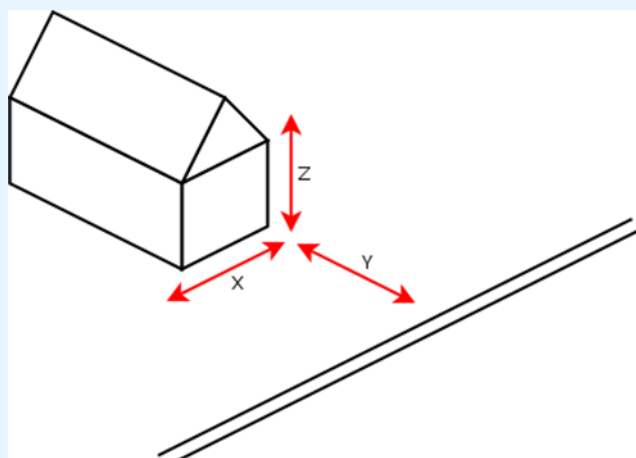
	Spaarne, Kinderhuisvest en Ursulastraat			Kenaupark		
Fabrikant	Meggitt Sensing Systems, Maryland USA					
Koffer	V010	V008	V007	V033	V030	V037
Model	17200	17200	17200	17200	17200	17200
SN	SN-J0397	SN-J0398	SN-J0400	SN-J0412	SN-J0409	SN-J0416
Sensitivity [mV/g]	981.7	998.57	947.46	957.09	1001.56	955.71
Bias Voltage [V]	12	12	12	12	12	12
Resonance [k Hz]	8	8	8	8	8	8
Maximum amplitude range [m/s ² peak]	±50	±50	±50	±50	±50	±50
Kalibratie datum	2014-11-20	2014-11-20	2014-11-20	2015-07-27	2015-07-27	2015-07-27
Bestandsnaam	Trill-010	Trill-008	Trill-007	V033	V030	V037

tabel 6: specificaties trillingsopnemers doorlopende metingen (deel 2/2)

	Vincent v Goghlaan, Parklaan en Gedempte Oude Gracht			Hooimarkt		
Fabrikant	Meggitt Sensing Systems, Maryland USA					
Koffer	V006	V011	V009	V032	V028	V031
Model	17200	17200	17200	17200	17200	17200
SN	SN-J0401	SN-J0396	SN-J0399	SN-J0411	SN-J0407	SN-J0520
Sensitivity [mV/g]	961.96	954.48	958.51	1016	967.09	961.48
Bias Voltage [V]	12	12	12	12	12	12
Resonance [k Hz]	8	8	8	8	8	8
Maximum amplitude range [m/s ² peak]	±50	±50	±50	±50	±50	±50
Kalibratie datum	2014-11-20	2014-11-20	2014-11-20	2015-07-27	2015-07-27	2015-07-27
Bestandsnaam	Trill-006	Trill-011	Trill-009	V032	V028	V031



figuur 17: een trillingsversnellingsopnemer



figuur 18: overzicht van de gedefinieerde meetrichtingen

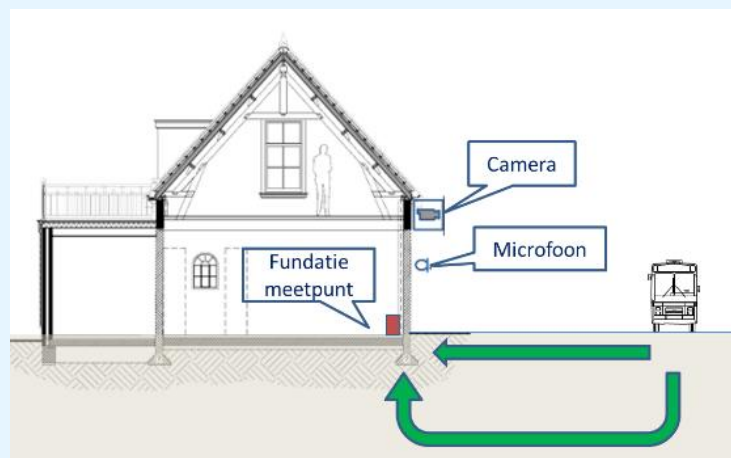
Het trillingssignaal wordt gedigitaliseerd met het Sensornet B3 meetsysteem, welke speciaal galvanisch gescheiden én gestabiliseerd is. De rimpel van de sensorvoeding is minder dan < 0.01% (of -80dB). Het meetbereik van de B3 is: ±5V (single-end) of ±10V (differentiaal), de ruisvloer is 25 µV. Het dynamisch (amplitude) bereik is 112 dB, het frequentiebereik 1 tot 32 KHz. Speciaal voor trillingssnelheidsmetingen volgens de SBR norm is er een filter van 1-100 Hz (SBR-A) en 1-80 Hz (SBR-B). De combinatie van deze trillingssensoren en de B3 geeft een ruisvloer circa 60 dB (ref 1nm/s).

5.3 Bepalingsmethode

Op elke onderzoekslocatie is een week lang gemeten. Voor de metingen is gebruik gemaakt van een triaxiale versnellingsopnemers gemonteerd aan de fundering of een dragende gevel die het dichtst bij de trillingsbron is gesitueerd. Gedurende de meetperiode is tevens geluid en beeld geregistreerd ten behoeve van de indicatie van de trillingsbron. Als de trilling boven een niveau van 100 dB (referentie 1 nm/s) uitkwam dan werd er beeld geregistreerd en het event van de trillingen gestart. Bij een geluidsniveau variërend van 70 tot 85 dB(A) (afhankelijk van de locatie) werd geluid opgenomen. Zodra de trillingen, het geluid onder de ingestelde triggerniveaus kwamen werd de meting gestopt.



figuur 19: aanzicht meetopstelling met de camera?

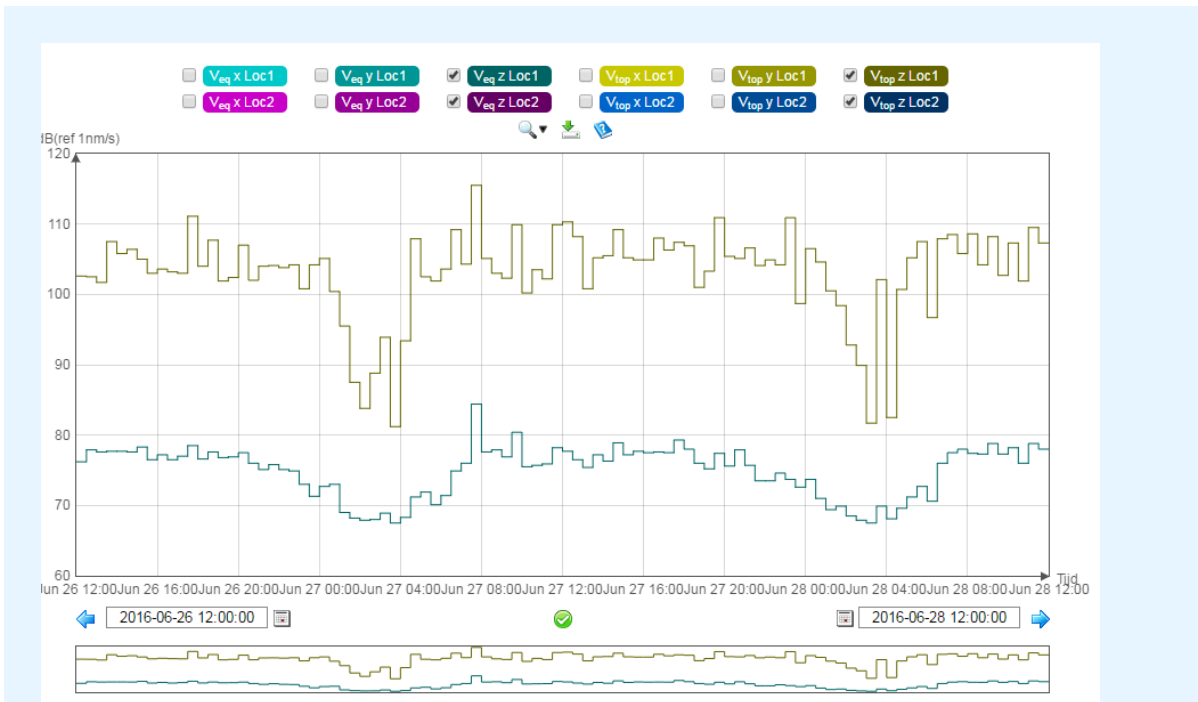


figuur 20: schematische doorsnede principe werking meetopstelling

Alle geregistreerde data zijn naar de servers van Sensornet B.V. verzonden. Deze registratie vond plaats zodat de data van de meetpunten gemodereerd konden worden via de trillingsidentificatie viewer. In de viewer wordt de hoogste waarde van een event weergegeven in de X-, Y- en Z-richting alsmede de hoogste waarde van de drie richtingen ($F_{N,veff,max}$). Daarnaast is de dominante frequentieband van de $F_{N,veff,max}$ weergegeven. Per event is aangegeven of het om een lijnbus, vrachtverkeer, overig verkeer of onbekend ging. Daarnaast is aangegeven of de trillingen verstoord waren door meerdere bussen tegelijkertijd of andere oorzaken.

Het meetsysteem verzendt haar data 'live' via internet, zodat tijdens het meten de eerste verwerkte meetdata kunnen worden vertoond. Op deze wijze kan zo direct beoordeeld worden of de meetdata reproduceerbaar zijn en de metingen daarmee na zeven dagen afgerond kunnen worden.

Hinderonderzoek trillingen



figuur 21: voorbeeld van een overzicht meetresultaten over een periode van 2 maal 24 uur op de website van SensorNet, op de x-as de tijd en op de y-as de gemeten waarden



figuur 22: voorbeeld van een deel van de trillingsidentificatie viewer SensorNet, locatie Parklaan 30

6. Meetresultaten

De metingen vonden plaats op de fundering van het gebouw. Indien dit niet mogelijk was is er gemeten op de eerste of tweede verdieping. Voor de berekeningen zijn de 200 hoogste trillingen gemodereerd waarbij alleen de lijnbussen zonder verstoring zijn gebruikt.

6.1 Resultaten SBR-B

Voor de beoordeling is er getoetst aan de gebouwfunctie “Wonen” waarbij de type trilling herhaald voorkomende trillingen in een bestaande situatie zijn. Voor het bepalen van de V_{per} is uitgegaan van 30 seconde per meting.

De metingen zijn minimaal uitgevoerd gedurende een periode van 7 x 24 uur. Dit betekent dat er volgens de SBR-richtlijn met zekerheid gezegd kan worden dat de hoogste pieken zijn gemeten voor wegverkeer. De trillingsniveaus zijn om deze reden volgens de worstcase methode bepaald. Indien de ‘statistische verwerking’ wordt toegepast, die verplicht is bij een meetduur korter dan 7 x 24 uur, worden er onterecht correctiefactoren gebruikt.

In de onderstaande tabellen staan de V_{max} , en V_{per} bepaald volgens de statistische benadering zoals beschreven in de SBR-B richtlijn voor de verschillende meetlocaties. In bijlage 2 is de gedetailleerde informatie weergegeven.

tabel 7: trillingsniveaus voor de locatie Kinderhuisvest 25 per periode

Gebouwfunctie: Wonen	Dag	Avond	Nacht
Aantal trillingsevents	155	18	8
V_{per} [mm/s]	0.08	0.05	0.02
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0.31	0.34	0.25
V_{per} [dB]	98	93	86
$V_{eff,max}$ [dB]	110	111	108
Voldoet	Ja	Ja	Ja
Hinderkwalificatie	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder

tabel 8: trillingsniveaus voor de locatie Kenaupark 12 per periode

Gebouwfunctie: Wonen	Dag	Avond	Nacht
Aantal trillingsevents	148	34	9
V_{per} [mm/s]	0.09	0.07	0.03
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0.49	0.41	0.32
V_{per} [dB]	99	97	88
$V_{eff,max}$ [dB]	114	112	110
Voldoet	Ja	Ja	Ja
Hinderkwalificatie	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder

tabel 9: trillingsniveaus voor de locatie Vincent van Goghlaan 87 per periode

Gebouwfunctie: Wonen	Dag	Avond	Nacht
Aantal trillingsevents	136	34	16
V_{per} [mm/s]	0.12	0.11	0.05
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0.67	0.65	0.51
V_{per} [dB]	102	100	94
$V_{eff,max}$ [dB]	117	116	114
Voldoet	Nee	Nee	Nee
Hinderkwalificatie	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder

tabel 10: trillingsniveaus voor de locatie Hooimarkt 22 per periode

Gebouwfunctie: Wonen	Dag	Avond	Nacht
Aantal trillingsevents	102	9	58
V_{per} [mm/s]	0.09	0.04	0.08
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0.53	0.38	0.51
V_{per} [dB]	99	93	98
$V_{eff,max}$ [dB]	115	112	114
Voldoet	Ja	Ja	Nee
Hinderkwalificatie	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder

tabel 11: trillingsniveaus voor de locatie Ursulastraat 2 per periode

Gebouwfunctie: Wonen	Dag	Avond	Nacht
Aantal trillingsevents	154	58	34
V_{per} [mm/s]	0.09	0.10	0.05
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0.36	0.38	0.31
V_{per} [dB]	99	100	94
$V_{eff,max}$ [dB]	111	112	110
Voldoet	Ja	Ja	Ja
Hinderkwalificatie	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder

tabel 12: trillingsniveaus voor de locatie Gedempte Oude Gracht 75a per periode

Gebouwfunctie: Wonen	Dag	Avond	Nacht
Aantal trillingsevents	120	27	22
V_{per} [mm/s]	0.07	0.06	0.04
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0.30	0.28	0.27
V_{per} [dB]	97	95	91
$V_{eff,max}$ [dB]	110	109	109
Voldoet	Ja	Ja	Ja
Hinderkwalificatie	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder

tabel 13: trillingsniveaus voor de locatie Spaarne 43 per periode

Gebouwfunctie: Wonen	Dag	Avond	Nacht
Aantal trillingsevents	49	3	0
V_{per} [mm/s]	0.03	0.01	--
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0.36	0.15	--
V_{per} [dB]	90	79	--
$V_{eff,max}$ [dB]	111	104	--
Voldoet	Ja	Ja	--
Hinderkwalificatie	Matige hinder	Weinig hinder	--

tabel 14: trillingsniveaus voor de locatie Parklaan 30 per periode

Gebouwfunctie: Wonen	Dag	Avond	Nacht
Aantal trillingsevents	180	57	18
V_{per} [mm/s]	0.05	0.05	0.02
$V_{eff,max}$ [mm/s]	0.19	0.21	0.19
V_{per} [dB]	94	93	86
$V_{eff,max}$ [dB]	106	106	106
Voldoet	Ja	Ja	Ja
Hinderkwalificatie	Weinig hinder	Matige hinder	Weinig hinder

6.2 Resultaten SBR-A

Op vier locaties zijn naast de SBR-B V_{eff} trillingsniveaus ook rechtstreeks de SBR-A V_{top} niveaus gemeten (locaties: Gedempte oude gracht 75a, Ursulastraat 2, Spaarne 43 en Parklaan 30).

Door middel van de events, welke zijn gebruikt bij de SBR-B toetsing, zijn de gemeten trillingsniveaus (V_{top}) van de SBR-A methode gekoppeld aan de gemiddelde events. Uit deze koppeling blijkt dat het verschil tussen V_{eff} en V_{top} gemiddeld 6.3 dB is oftewel een verhouding heeft van 2.08. In de onderstaande tabel is het gemiddelde verschil per locatie weergegeven als mede een gemiddelde over alle gemeten verschillen. Voor de trillingen in mm/s is een gemiddelde verhouding bepaald en voor de trillingen in dB een gemiddeld verschil.

tabel 15: verschil tussen de V_{top} en de V_{eff} gemeten waarde

	Gedempte Oude Gracht 75a	Ursulastraat 2	Spaarne 43	Parklaan 30	Gemiddeld
mm/s	2.005	2.184	2.261	1.876	2.082
dB	6.0	6.8	7.0	5.4	6.3

Om de trillingsniveaus voor de SBR-A methode te beoordelen is gebruik gemaakt van de gemodereerde data van de SBR-B methode welke zijn vermenigvuldigd met de verhouding bijbehorende de locatie. Indien er geen V_{top} gemeten is op de locatie zoals eerder genoemd is er gebruik gemaakt van de algemeen gemiddelde verhouding (2.082). Voor de toetsing aan de grenswaarde is aangenomen dat de Vincent van Goghlaan 87 een categorie 1 pand is en de overige onderzoekslocaties een categorie 3 pand zijn. In de onderstaande tabellen is de meetdata inclusief toetsing volgens de SBR-A richtlijn weergegeven.

tabel 16: trillingsniveaus voor de locatie Kinderhuisvest 25 per periode

Categorie 3 gebouw	Dag	Avond	Nacht
N	155	18	8
V_{dTop} [mm/s]	1,03	1,14	0,83
V_{dTop} [dB]	120	121	118
$V_{r,Fund}$ [mm/s]	10,61	10,61	7,07
$V_{r,Cat}$ [mm/s]	2,00	2,00	2,42
f dom [Hz]	8	8	16
Schade fundering?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk
Schade gebouw?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk

tabel 17: trillingsniveaus voor de locatie Kenaupark 12 per periode

Categorie 3 gebouw	Dag	Avond	Nacht
N	77	34	9
V_{dTop} [mm/s]	1,63	1,36	1,07
V_{dTop} [dB]	124	123	121
$V_{r,Fund}$ [mm/s]	10,61	10,61	10,61
$V_{r,Cat}$ [mm/s]	2,00	2,00	2,00
f dom [Hz]	8	8	8
Schade fundering?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk
Schade gebouw?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk

tabel 18: trillingsniveaus voor de locatie Vincent van Goghlaan 87 per periode

Categorie 1 gebouw	Dag	Avond	Nacht
N	136	34	16
V_{dTop} [mm/s]	2,23	2,15	1,71
V_{dTop} [dB]	127	127	125
$V_{r,Fund}$ [mm/s]	10,61	10,61	10,61
$V_{r,Cat}$ [mm/s]	2,00	2,00	2,00
f dom [Hz]	8	8	8
Schade fundering?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk
Schade gebouw?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk

tabel 19: trillingsniveaus voor de locatie Hooimarkt 22 per periode

Categorie 3 gebouw	Dag	Avond	Nacht
N	102	9	58
V_{dTop} [mm/s]	1,77	1,25	1,69
V_{dTop} [dB]	125	122	125
$V_{r,Fund}$ [mm/s]	10,61	10,61	10,61
$V_{r,Cat}$ [mm/s]	2,00	2,00	2,00
f dom [Hz]	8	8	8
Schade fundering?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk
Schade gebouw?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk

tabel 20: trillingsniveaus voor de locatie Ursulastraat 2 per periode

Categorie 3 gebouw	Dag	Avond	Nacht
N	154	58	34
V _{dTop} [mm/s]	1,20	1,25	1,03
V _{dTop} [dB]	122	122	120
V _{r,Fund} [mm/s]	10,61	7,07	10,61
V _{r,Cat} [mm/s]	2,00	2,42	2,00
f dom [Hz]	8	16	8
Schade fundering?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk
Schade gebouw?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk

tabel 21: trillingsniveaus voor de locatie Gedempte Oude Gracht 75a per periode

Categorie 3 gebouw	Dag	Avond	Nacht
N	120	27	22
V _{dTop} [mm/s]	0,97	0,90	0,85
V _{dTop} [dB]	120	119	119
V _{r,Fund} [mm/s]	7,07	7,07	7,07
V _{r,Cat} [mm/s]	2,42	2,42	2,42
f dom [Hz]	16	16	16
Schade fundering?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk
Schade gebouw?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk

tabel 22: trillingsniveaus voor de locatie Spaarne 43 per periode

Categorie 3 gebouw	Dag	Avond	Nacht
N	13	3	0
V _{dTop} [mm/s]	1,30	0,55	--
V _{dTop} [dB]	122	115	--
V _{r,Fund} [mm/s]	7,07	7,07	--
V _{r,Cat} [mm/s]	2,42	2,42	--
f dom [Hz]	16	16	--
Schade fundering?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	--
Schade gebouw?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	--

tabel 23: trillingsniveaus voor de locatie Parklaan 30 per periode

Categorie 3 gebouw	Dag	Avond	Nacht
N	180	57	18
V _{dTop} [mm/s]	0,57	0,63	0,57
V _{dTop} [dB]	115	116	115
V _{r,Fund} [mm/s]	10,61	10,61	10,61
V _{r,Cat} [mm/s]	2,00	2,00	2,00
f dom [Hz]	8	8	8
Schade fundering?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk
Schade gebouw?	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk	Niet waarschijnlijk

6.3 Samenvatting resultaten

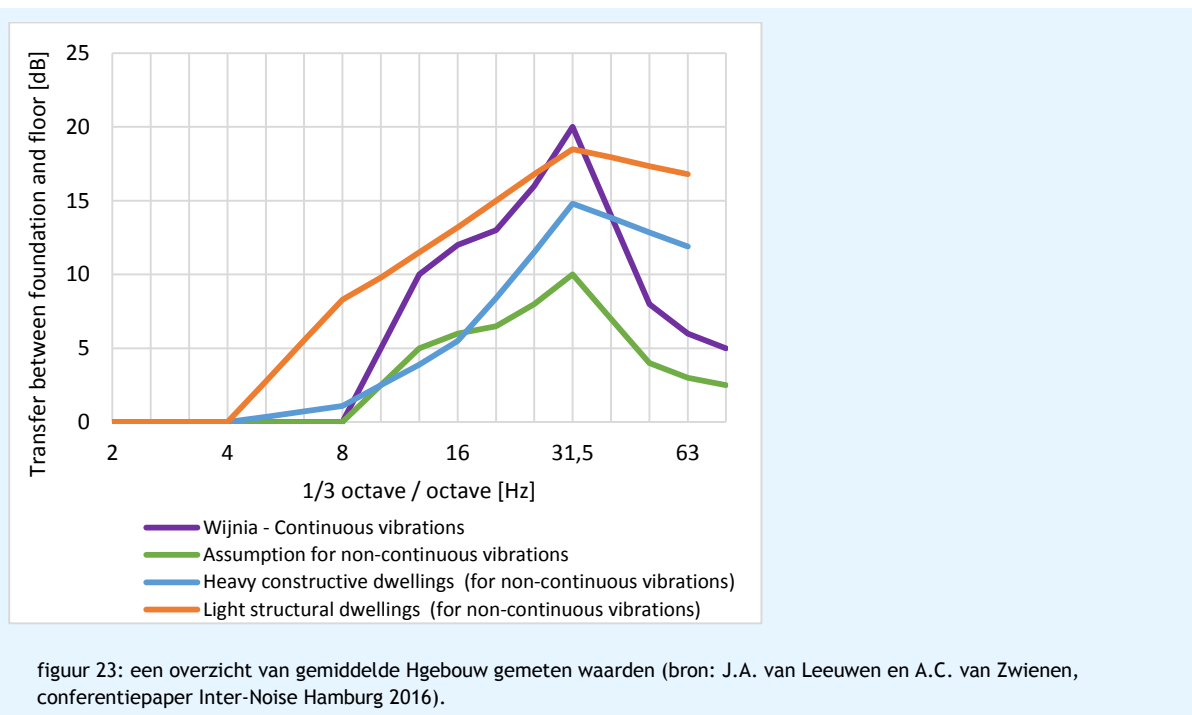
In de onderstaande tabel is een samenvatting van de gemeten waarden inclusief de dominerende frequentie weergegeven. Voor de locaties Kenaupark 12, Vincent van Goghlaan 87, Hooimarkt 12, Ursulastraat 2 en de Parklaan 30 geldt dat de trillingshinder mede wordt veroorzaakt door de verslechterde staat van de wegdekverharding. De kuil en de oneffenheden in de Vincent van Goghlaan en het reparatiestuk in de Nassaulaan zijn hiervan goede voorbeelden.

tabel 24: overzicht resultaten (dag- / avond- / nachtperiode)

Locatie	V _{eff,max} [dB] (SBR-B)	V _{dTop} [dB] (SBR-A)	Dominerende frequentie [Hz]
Kinderhuisvest 25	110 / 111 / 108	120 / 121 / 118	8 / 8 / 16
Kenaupark 12	114 / 112 / 110	124 / 123 / 121	8 / 8 / 8
Vincent van Goghlaan 87	117 / 116 / 114	127 / 127 / 125	8 / 8 / 8
Hooimarkt 12	115 / 112 / 114	125 / 122 / 125	8 / 8 / 8
Ursulastraat 2	111 / 112 / 110	122 / 122 / 120	8 / 16 / 8
Gedempte Oude Gracht 75a	110 / 109 / 109	120 / 119 / 119	16 / 16 / 16
Spaarne 43	111 / 104 / --	122 / 115 / --	16 / 16 / --
Parklaan 30	106 / 106 / 106	115 / 116 / 115	8 / 8 / 8

De trillingshinder bij de Gedempte Oude Gracht 75a wordt veroorzaakt door de overgang van asfalt naar klinkers bij de kruising met de Grote Houtstraat. Bij de kruising Gedempte Oude Gracht - Kleine Houtstraat waar niet is gemeten maar wel trillingsklachten bekend zijn speelt hetzelfde probleem. Bij de locatie Spaarne 43 worden de trillingsklachten niet veroorzaakt door passerende lijnbussen maar door passerende bestelbussen, voornamelijk UPS.

Alle metingen zijn uitgevoerd op de fundatie van de woningen. Trillingen in de vloeren of elders in het gebouw liggen afhankelijk van de constructieve staat van het gebouw hoger dan de gemeten waarden op de fundatie. Deze overdracht, ook H_{gebouw} genoemd ligt in de orde grootte van 15 dB bij 31,5 Hz voor massieve gebouwen (o.a. gebouwen bestaande uit bakstenen gevels en betonnen vloeren).



Uit de SBR-A metingen blijkt dat er schade aan gebouwen niet waarschijnlijk is. Uit de overige resultaten blijkt dat er niet wordt voldaan aan de SBR-B richtlijn op de Hooimarkt 22 in de nachtperiode en op de Vincent van Goghlaan 87 gedurende het gehele etmaal. De trillingen overschrijden hier de maximale grenswaarde (A2). De V_{per} is bepaald volgens de methode zoals aangegeven in de SBR-B richtlijn echter kan hier een aantal kanttekeningen bij worden gemaakt. Volgens de richtlijn worden trillingsevents opgedeeld in stukken van 30 seconden. Indien een passage langer duurt dan 30 seconden dan wordt deze passage twee keer geteld met ieder een duur van 30 seconden.

Een passage korter of gelijk aan 30 seconden wordt volgens de richtlijn als één passage geteld. In het geval van een bus waarbij de passage vaak korter is dan 30 seconden wordt de V_{per} dus onterecht over een te lange periode berekend. De V_{per} is in de praktijk lager dan de V_{per} die nu berekend is. Voor de toetsing bij de gemeten locaties heeft een andere manier van V_{per} bepaling geen invloed op het feit dat er een overschrijding is ja of nee. De maximale gemeten niveaus komen boven de maximale grenswaarde van A2 uit waardoor er ongeacht het niveau van V_{per} niet wordt voldaan aan de richtlijn.

7. Analyse meetresultaten

Naast de trillingsniveaus zijn gedurende de metingen een aantal trillingsafhankelijke parameters geregisterd bij de meeste locaties:

- Rijsnelheid van de bussen en de kwaliteit van het wegdek.
- Type bus waaronder gelede, ongeleden bus.
- Kwaliteit van het wegdek - de vlakheid van het wegdek. Dit aan de hand van observaties en foto's ter plaatse en na aanleiding van de videobeelden en Google Streetview hoe de weg er bij ligt.
- Bodemsamenstelling.

In onderstaande paragrafen is beschreven welke relaties er aan de hand van de metingen in Haarlem zijn gevonden voor de genoemde parameters. In deze analyse zijn de resultaten van de Spaarne 43 niet meegenomen omdat de 'opwekkingsbron' van deze onderzoekslocatie afwijkt ten opzichte van de overige locaties.

7.1 Invloed rijsnelheid

In de onderstaande tabel zijn de gemiddelde gemeten gereden snelheden door lijnbussen weergegeven. Opvallend is de relatief grote overschrijding van de maximale toegestane snelheid bij de Gedempte Oude Gracht 75a.

tabel 25: gemiddelde trillingsniveau gecorrigeerd naar de referentiesnelheid van 30 km/u in dB

Locatie	Type wegverharding	Gemiddelde gereden snelheid ¹	Maximale toegestane snelheid	Trillingsniveau
Gedempte Oude Gracht 75A	klinkers	56 km/u	30 km/u	103
Hooimark 22	Asfalt	44 km/u	50 km/u	106
Kenaupark 12	Klinkers	32 km/u	50 km/u	107
Kinderhuisvest 25	Asfalt	45 km/u	50 km/u	107
Parklaan 30	Asfalt	49 km/u	50 km/u	103
Ursulastraat 2	Asfalt	44 km/u	50 km/u	105
Vincent van Goghlaan 87	klinkers	39 km/u	30 km/u	112

¹ gemiddelde berekende snelheid ten gevolge van lijnbussen

7.2 Invloed gelede en ongelede lijnbussen

Op de gedempte oude gracht en op de Parklaan is onderscheid gemaakt tussen gelede en ongelede bussen. Indien er gekeken wordt naar de trillingsniveaus gecorrigeerd naar de wettelijke toegestane snelheid. Dan blijkt dat een gelede bus gemiddeld 0,5 dB meer trillingen veroorzaakt dan een ongelede bus. Dit verschil is zo klein dat deze verwaarloosbaar is. In de onderstaande tabel is het gemiddelde trillingsniveau in dB weergegeven voor de (on)gelede bussen per locatie.

tabel 26: effect (on)gelede bussen gecorrigeerd naar de wettelijke snelheid in dB

Locatie	Gelede	Ongelede	Vershil
Gedempte Oude Gracht 75a	106.3	105.6	0.6
Parklaan 30	106.4	106.2	0.3
Gemiddeld	106.4	105.9	0.5

7.3 invloed bodemsamenstelling

In de gemeente Haarlem zijn de volgende bodemsamenstellingen:

- Strandzand
- Strandwal
- Duinzand op veen op strandwalzand
- Veen met ij-klei op strandwal
- IJ-klei en veen op strandwal

Bij de meetlocaties is er gemeten op strandwal en veen met ij-klei op strandwal. De gemeten locaties zijn gecorrigeerd naar een referentiesnelheid van 30 km/u waardoor er een uitspraak gedaan kan worden over het trillingsniveau ten gevolge van de bodemsamenstelling. Aan de hand van deze data kan de keuze voor asfalt of klinkers gefundeerder gemaakt worden.

In de onderstaande tabel is weergegeven wat het effect is van de verschillende bodemsamenstellingen. Daarbij moet worden opgemerkt dat de Vincent van Goghlaan erg uitschiet naar boven ten opzichte van de andere locaties. Indien voor de Vincent van Goghlaan 108 dB i.p.v. 112 dB wordt aangehouden dan is het effect kleiner. De reductie van 4 dB bij de Vincent van Goghlaan is geoorloofd omdat tijdens de metingen er flinke kuilen en oneffenheden in de weg zaten. Het verschil tussen de twee bodemgebieden is dan in plaats van 4 dB, 3 dB. In tabel 27 zijn de trillingsniveaus per locatie, type wegverharding en bodemgesteldheid weergegeven. Het verschil in trillingsniveaus tussen de verschillende voorkomende bodemgesteldheden in het centrum zijn in tabel 28 weergegeven.

tabel 27: gemiddelde trillingsniveau gecorrigeerd naar de referentiesnelheid van 30 km/u in dB

Locatie	Type wegverharding	Bodemgesteldheid	Trillingsniveau
Gedempte Oude Gracht 75A	klinkers	Zand/strandwal	103
Hooimark 22	Asfalt	Veen met dunne laag IJ-klei op strandwalzand	106
Kenaupark 12	Klinkers	Veen met dunne laag IJ-klei op strandwalzand	107
Kinderhuisvest 25	Asfalt	Veen met dunne laag IJ-klei op strandwalzand	107
Parklaan 30	Asfalt	Zand/strandwal	103
Ursulastraat 2	Asfalt	Zand/strandwal	105
Vincent van Goghlaan 87	klinkers	Veen met dunne laag IJ-klei op strandwalzand	112

tabel 28: verschil in trillingsniveaus ten gevolge van de bodemgesteldheid in dB

Bodemgesteldheid	Trillingsniveau
Veen met dunne laag IJ-klei op strandwalzand	108 ¹
Zand/strandwal	104
Verskil	4

¹ Gemiddelde trillingsniveau gebaseerd op een trillingsniveau van 112 dB bij de Vincent van Goghlaan 87.

8. Maatregelen

De maatregelen om trillingshinder te voorkomen zijn in drie categorieën in te delen. Bronmaatregelen, overdachtsmaatregelen en maatregelen bij de ontvanger. Bronmaatregelen hebben effect op alle woningen in de omgeving en hebben daarom de voorkeur. Als bronmaatregelen niet mogelijk zijn of niet voldoende effectief zijn kan gekozen worden voor overdrachtsmaatregelen. Maatregelen in de overdracht hebben doorgaans effect op meerdere woningen, maar alleen in de richting waarin de maatregel getroffen is. Tot slot kunnen ontvangersmaatregelen toegepast worden. Deze maatregelen kunnen in het algemeen wel kostbaar zijn en hebben slechts effect op één woning. Echter er zijn voorbeelden bekend dat ontvangersmaatregelen ofwel meegenomen kunnen worden in verbouwingsprojecten en/of dat de maatregelen genomen moeten worden doordat de woning/het gebouw constructief niet is ontworpen of aangepast is.

Achtereenvolgens worden de volgende bronmaatregelen besproken:

- Maatregel door snelheidsverlaging
- Andere voertuigen / het weren van voertuigtypen
- Aanpassen van vlakheid van het wegdek
- Aanbrengen van een vlak (trillingsreducerende) klinkers of asfalt
- Verhoging impedantie door aanleg nieuwe grondlaag met isolerende laag

Tevens worden de volgende overdrachtsmaatregelen omschreven:

- Trillingsdempende schermen
- Trillingsisolatie om de fundering van de woning/het gebouw

Als laatste worden de trillingsmaatregelen welke kunnen worden genomen bij de ontvanger in de woning of het gebouw besproken.

8.1 Bronmaatregelen - snelheidsverlaging

Een eenvoudige en ook goedkope methode om de hinder te verminderen is het verlagen van de maximumsnelheid. Een belangrijk punt hierbij is dat de huidige rijsnelheid een belangrijke parameter is en dat dit punt een paradox kan zijn in relatie tot snel en goed openbaar vervoer. Dit is een logistieke maatregel die wel lastig te handhaven is. De te behalen trillingsreductie is mede afhankelijk van de vlakheid van het wegdek. Een flinke kuil, een trottoirrand en/of een verkeersdrempel zijn trillingsopwekkende elementen maar deze zullen bij een lagere rijsnelheid veel meer reductie tot gevolg hebben.

Om het effect van een snelheidsverlaging te bepalen zijn de wegen geclassificeerd in drie klassen:

- strak wegdek;
- wegdek met kleine oneffenheden;
- wegdek met grote oneffenheden.

Voor deze drie klassen is weergegeven hoeveel dB demping er kan worden verwacht mits de snelheid met x km/u omlaag gaat.

tabel 29: afnamen trillingsniveau ten gevolge van snelheidsreductie in dB.

Snelheidsreductie	Strak wegdek	Kleine oneffenheden	Grote oneffenheden
0	0	0	0
5	1	2	3
10	2	4	5
15	4	5	7
20	4	7	9
25	5	8	11
30	6	9	12
35	7	10	13
40	7	11	15

Een verlaging van de snelheid van 50 km/uur naar 30 km/uur kan 4 tot 7 dB effect hebben, uitgaande van een redelijk tot goed onderhouden weg zonder verkeersdrempels. Om deze maatregel effectief uit te voeren dient de weg wel te worden ingericht als 30 km weg, zonder het toepassen van verkeersdrempels.

8.2 Bronmaatregelen - Andere voertuigen / het weren van voertuigtypen

Uit de analyse is gebleken dat het type bus, ongeleed of geleed, nauwelijks enig effect heeft op de trillingsproductie. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de nauwelijks verschillende aslast van beide typen bussen. Zwaardere vrachtauto's zullen hogere dynamische krachten tot gevolg hebben wat leidt tot hogere trillingsniveaus bij de woningen en gebouwen langs de weg. Aangezien het vooralsnog niet is gebleken dat er veel van dergelijk voertuigen door de onderzochte straten rijden is deze maatregel niet effectief.

Het weren van voertuigen in de avond- en/of nachtperiode is een mogelijke maatregel. Slaapverstoring wordt door de gemiddelde mens als erg hinderlijk ervaren. Uit onderzoek is gebleken dat slaapverstoring een oorzaak is van stress en vervolgens hart- en vaatziekten. Vermindering van de kans op slaapverstoring, door het mijden van verkeer in de gevoelige straten is dan ook een mogelijkheid om het leef- en woonklimaat te verbeteren.

8.3 Bronmaatregelen - aanpassen van vlakheid van het wegdek

Het is evident dat oneffenheid in het wegdekoppervlak verantwoordelijk is voor mogelijke trillingsproductie. Verkeersdrempels zijn bekende voorbeelden. Sterker nog: hoe effectiever een verkeersdrempel is voor de snelheidsverlaging, des te meer kan de verkeersdrempel verantwoordelijk zijn voor trillingen. Een reductie tot 10 dB is mogelijk.

Een vlak wegdek geeft dus minder trillingen. De amplitude van de oneffenheid is bepalend voor de trillingsproductie, maar ook de opeenvolging van de gaten, kuilen of verzakkingen. In combinatie met het primaire veersysteem van auto's, bussen en vrachtauto's zal door de oneffenheden meer en andere krachten worden uitgeoefend door de eerste aanstoting van de kracht. De pulsvormige aanstoting zal een (soms langzaam) uitstervende beweging geven. Beperkt onderhoud van een dergelijke verzakking van het wegdek zal over het algemeen tot gevolg hebben dat er meerdere achtereenvolgende kuilen of verzakkingen gaan optreden.

Ook overgangen van de ondergrond kunnen een oorzaak zijn van het ontstaan van krachten in de ondergrond. Door impedantieveranderingen ontstaan er wisselkrachten welke trillingen produceren en welk bij beperkt onderhoud ook kunnen resulteren in verzakkingen. De impedantie is de dynamische 'weerstand van de bodem ten opzichte van een opgedrukte kracht.' Impedantieveranderingen ontstaan bij wegvakken met wisselende ondergrond, bij wegen met een zeer beperkte funderingslaag, bij bruggen en bij (grote) leidingen en riolen. Een eenduidige funderingslaag zal dus eveneens minder trillingen tot gevolg hebben.

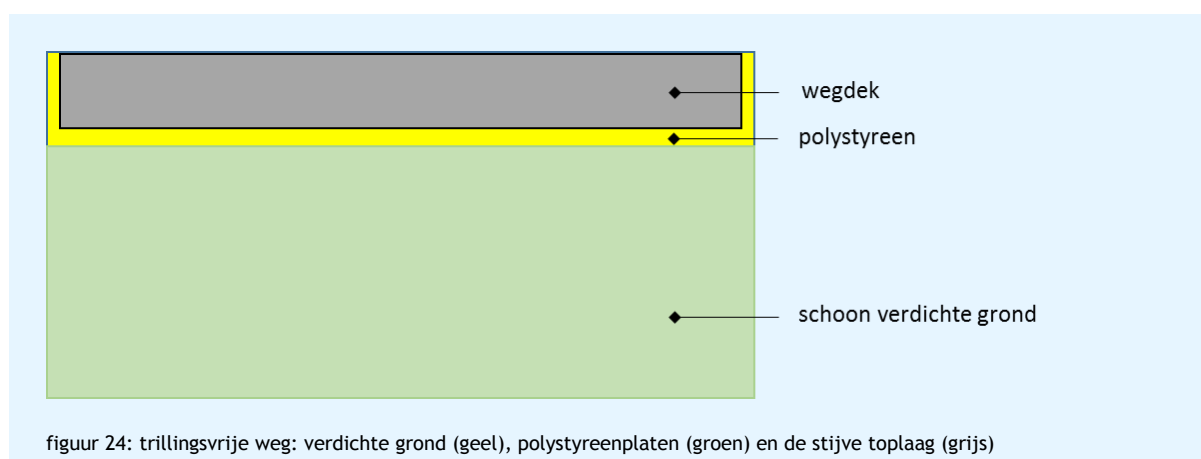
8.4 Bronmaatregelen - aanbrengen van een vlak (trillingsreducerende) klinkers of asfalt

Een andere oorzaak van trillingen is het berijden van klinkers of kinderkopjes. De korte krachtpulsen kunnen snel opeenvolgende trillingen veroorzaken welke ook als dreunen kunnen worden opgemerkt. Een voorbeeld: kopje met een afmeting van circa 10 cm zal bij het berijden met 10 m/s (36 km/h) trillingen bij 100 Hz produceren. Bij 5 m/s (18 km/s) bedraagt deze frequentie 50 Hz. Deze relatief hoge trilfrequenties zijn in het centrum van Haarlem niet gemeten, waardoor een dergelijke maatregel (in het kader van de kortere golflengten) niet van toepassing zijn. Wel is het te allen tijde aan te bevelen om bij oplevering van elementenwegen kritisch te kijken naar de 'gladheid' van de betreffende weg. Het toepassen van asfalt i.p.v. klinkers (met slecht wegdek) resulteert in een reductie van 5 á 10 dB.

8.5 Bronmaatregelen - verhoging impedantie - aanleg nieuwe grondlaag met isolerende laag

Een oneffenheid van het wegdekoppervlak geeft een trillingsopwekking. Theoretisch is het volgende het geval. Geen oneffenheid in de oppervlakte van de weg zal geen trillingen produceren. Voorwaarde is wel dat het wegdekoppervlak geen, of zeer beperkte semi-statische kracht zal doorgeven. Een stijf wegdek met zeer beperkte doorbuiging geeft dan ook geen semi-statische kracht door in de bodem.

Een mogelijke bronmaatregel is het vernieuwen van de weg zoals in figuur 24 is weergegeven. Hiervoor wordt na het verwijderen van de toplaag de grond over circa 2 meter afgegraven. De ontstane ruimte wordt gevuld met nieuwe, verdichte grond. De bodem en zijkanten van de kuil worden vervolgens bedekt met polystyreen waarna een stijve toplaag aangebracht kan worden. De toplaag moet, theoretisch, in de lengterichting uit één stuk bestaan. Dit om dilataties, en dus trillingspulsen, te vermijden. De bovenlaag van deze deklaag kan worden uitgevoerd als asfalt of geheel vlakliggende, gebetonnerde klinkers (klinkers gegoten in een betonnen element). De constructie is bij benadering een viaduct in de bodem, wat dan ook de uiterste variant van deze maatregel is. De maatregel is kostbaar en in de praktijk niet eenvoudig te realiseren in verband met riolering, kabels en leidingen. Deze dienen volledig losgekoppeld door de constructie heen of onder de constructie te worden gelegd. De benodigde handeling maakt deze oplossing erg arbeidsintensief en lastig toepasbaar in oud stedelijke gebieden. Bij deze methode zal minimaal 10 dB reductie behaald kunnen worden.



Het vernieuwen van alleen de grondlaag resulteert in een reductie van 3 tot 5 dB en is een goedkopere oplossing dan de variant met isolerende laag.

8.6 Overdrachtsmaatregelen - trillingsdempende schermen

De twee belangrijkste voortplantingsmechanismen voor trillingen in de bodem zijn de zogenaamde oppervlakte golf ofwel Raleighgolf en de drukgolf. De overdracht van de trillingsenergie is te verminderen door delen van de bodem van elkaar te ontkoppelen. Dit is mogelijk door een verticale sleuf in de bodem te maken en deze “gevuld te houden met lucht” Het gaat er hierbij om dat er duidelijk een materiaal aanwezig is dat de voortplanting onderbreekt. Er zijn voorbeelden waarbij in de grond luchtdichte kanalen of zakken zijn aangebracht. Een praktisch materiaal zijn polystyreen platen welke verticaal worden ingegraven. De diepte is afhankelijk van de dominerende trilfrequentie, de van toepassing zijnde voortplantingsgolftype en ook van de gelaagdheid en samenstelling van de bodem. Bij de in Haarlem gemeten dominerende trilfrequenties van 8 en 16 Hz zal al snel een diepte van circa 3 tot 10 meter noodzakelijk zijn. Deze diepte maakt de maatregel een kostbare oplossing. Riolerings, kabels en andere leidingen dienen volledig losgekoppeld door de wand te worden bevestigd. Bij deze methode is een reductie 10 dB te behaald.

Een vergelijkbare overdrachtsmaatregel is het toepassen van een sloot of watergang. Het effect van wateroppervlakten en dus onderbreking van de oppervlaktegolf is afhankelijk van de gelaagdheid van de bodem. Afhankelijk van grondwaterstanden en ook weer de gelaagdheid van de bodem kan een sloot minder effect sorteren op drukgolven.

8.7 Overdrachtsmaatregelen - trillingsisolatie om de fundering van de woning/gebouw

Een andere maatregel in de overdracht is het toepassen van trillingsdempende schermen direct om de fundatie van een woning of een gebouw. Bij deze maatregel worden polystyreen platen ingegraven van maaiveldhoogte tot de onderzijde van de fundering. Een en ander afhankelijk van de fundering en ook afhankelijk van de dominerende trilfrequentie. Bij de in Haarlem gemeten dominerende trilfrequenties van 8 en 16 Hz is een diepte van circa 6 tot 10 meter noodzakelijk.

Het toepassen van een dergelijke maatregel is voor bestaande woningen, welke op staal zijn gebouwd of welke minder goed gefundeerd zijn, sterk af te raden. Het ontgraven en roeren van de grond nabij de fundering zal vergaande statische problemen kunnen veroorzaken.

Echter voor nieuwbouw of bij vergaande renovaties is een dergelijk maatregel zeer goed toepasbaar. De toepassing van deze methode kan 4 tot 8 dB reductie realiseren. Deze methode is in Rotterdam op diverse plaatsen succesvol toegepast. Overigens heeft deze maatregel ook een positief effect op de energiehuishouding van het pand.

8.8 Maatregelen bij de woning/gebouw

Overdrachtsmaatregelen zijn soms ook mogelijk in een woning of gebouw. Een bekende oplossing is het plaatsen van het gehele gebouw op trillingsisolerende rubberen blokken. Dit is onder andere toegepast bij een aantal woningen op de recent aangelegde metrobus van de Noord/Zuidlijn te Amsterdam. Het mag duidelijk zijn dat dit voor bestaande woningen niet reëel zal zijn. Er moet immers een tweede fundatiebalk geconstrueerd worden waarna tussen beide fundatiebalken rubber blokken geplaatst dienen te worden. Overigens zal bij zeer laagfrequente trillingen het ook noodzakelijk kunnen zijn om stalen veren toe te passen. De rubber of stalen veerelementen moeten afhankelijk van diverse parameters per locatie gedimensioneerd worden.

Het is mogelijk dat onderdelen van gebouwen zeer makkelijk in beweging kunnen komen (zie eveneens figuur 23, de oranje lijn). Concrete voorbeelden zijn lichte houten vloeren welke soms niet goed geconstrueerd zijn of waar, zo blijkt uit de praktijk, ook dragende ondersteuningsmuren of elementen verwijderd zijn. Vaak is hier niet, of te weinig constructie-technisch aan gerekend waardoor de constructie nogal eens te slap is geworden. Zeker houten vloeren kunnen een flinke doorbuiging

weerstaan en indien er weinig of geen zware kasten en dergelijke op de vloer zijn geplaatst zal een dergelijke constructiefout niet aan het licht komen. Trillingstechnisch kan dit wel tot gevolg hebben dat dergelijke vloeren zeer makkelijk bij een lage frequentie in trilling komen en daardoor één van de oorzakelijk zijn waardoor bepaalde trillingen zeer sterk worden waargenomen.

Verstijving van de vloer is dan de oplossing. Deze maatregelen kunnen in het algemeen wel kostbaar zijn aangezien deze slechts effect hebben op één woning.

8.9 Welk maatregel waar?

In de onderstaande tabel zijn de voorkeursmaatregelen per locatie inclusief het verwachte effect weergegeven. Vermeld dient te worden dat de verwachte effecten zijn gebaseerd op 'expert judgement'. Er is weinig literatuur beschikbaar van de exacte bronnen en de omstandigheden in Haarlem en daarnaast is de effectiviteit van een maatregel o.a. afhankelijk van de locatie (bodemgesteldheid, waterstand) en de kwaliteit van uitvoering.

tabel 30: overzicht maatregelen

Locatie	Omschrijving	Verwacht effect
Kinderhuisvest 25	Aanpassen vlakheid wegdek	max. 10 dB
Kenaupark 12	Het toepassen van asfalt i.p.v. klinkers	5 - 10 dB
Vincent van Goghlaan 87	Het toepassen van asfalt i.p.v. klinkers	5 - 10 dB
Hooimarkt 12	Aanpassen vlakheid wegdek	max. 10 dB
Ursulastraat 2	Aanpassen vlakheid wegdek	max. 10 dB
Gedempte Oude Gracht 75a	Strenger hanteren maximale snelheid en verwijderen verkeersdrempel	4 - 5 dB + 5 dB (verwijderen verkeersdrempel)
Spaarne 43	Aanpassen vlakheid wegdek	max. 10 dB
Parklaan 30	Aanpassen vlakheid wegdek	max. 10 dB

In de onderstaande tabel zijn de maatregelen generaliseerd naar bodemsamenstelling en wegdektype. De onderstaande maatregelen zijn een optie indien snelheidsreductie en/of het opnieuw uitvlakken van het wegdek geen optie is. Bij woningen op een zand/strandwal is gebleken dat de te verwachte trillingsniveaus lager zijn dan bij woningen op veen met dunne laag IJ-klei op strandwalzand. Het toepassen van een maatregel zoals de aanleg van een nieuwe grondlaag is op deze locaties eenvoudiger en goedkoper dan de duurdere alternatieven met isolerende lagen en bieden daarnaast voldoende trillingsreductie.

tabel 31: overzicht maatregelen generaliseerd

bodemsamenstelling	wegdekverharding	maatregel	verwacht effect
veen met dunne laag ij-klei op strandwalzand	klinkers	het toepassen van asfalt i.p.v. klinkers	5 - 10 dB
veen met dunne laag ij-klei op strandwalzand	asfalt	aanleg nieuwe grondlaag met isolerende laag	5 - 10 dB
zand/strandwal	klinkers	het toepassen van asfalt i.p.v. klinkers	5 - 10 dB
zand/strandwal	asfalt	aanleg nieuwe grondlaag	3 - 5 dB

9. Conclusie

DGMR heeft een onderzoek uitgevoerd naar trillingshinder in het centrum van Haarlem. Gedurende de periode april-juni heeft DGMR samen met Sensornet op acht locaties in het centrum van Haarlem trillingsmetingen uitgevoerd. Op de locatie Spaarne 43 na, wordt de waargenomen trillingshinder bij de overige locaties veroorzaakt door passerende lijnbussen.

De meetresultaten zijn conform de SBR-A en SBR-B methodiek geanalyseerd en beoordeeld. De SBR-A methode is bedoeld voor schade aan gebouwen en SBR-B is bedoeld voor het inzichtelijk maken van hinder voor personen in gebouwen. Hieruit blijkt dat vooral de klachten m.b.t. trillingshinder bij de bewoners van de Vincent van Goghlaan terecht zijn. De SBR-B methode geeft voor deze locatie de hinderclassificatie 'matig hinder'. Daarbij moet worden vermeld dat de V_{max} van deze locatie balanceert tussen de classificatie 'matig hinder' en 'hinder'. Voor de overige onderzoekslocaties geldt de hinderkwalificatie 'matig hinder' (SBR-B, aan de veilige kant) en de kwalificatie schade aan gebouw 'niet waarschijnlijk' (SBR-A).

Vermeld dient te worden dat trillingen veroorzaakt door passerende lijnbussen niet de directe oorzaak hoeven te zijn van schade in gebouwen (onder andere scheurvorming). Schade kan ook ontstaan door het wegzakken van zand onder de fundatie ten gevolge van trillingen. In dit geval is schade aan het gebouw een indirect gevolg. Hinder of klachten van omwonenden over onder andere scheuren kunnen ook het gevolg zijn andere aspecten zoals minder intensief onderhoud van de gebouwschil, interne verbouwing (verplaatsen dragende binnenwanden en/of veranderingen met grotere massa's in het gebouw) trillingen in het gebouw (bijvoorbeeld door (was-)machines), grote temperatuur en/of vochtschommelingen, verandering van grondwaterstanden en verbouwingen in de directe omgeving van het gebouw.

Algemeen kan worden aangenomen dat de verslechterde staat van de wegdekken in het centrum een belangrijk invloed heeft op de gemeten trillingsniveaus op de fundaties van de woningen. De kuil en oneffenheden in de Vincent van Goghlaan en het reparatiestuk in de Nassaulaan zijn hiervan goede voorbeelden. Het verbeteren ofwel het glad maken van de wegdekken is dan ook een aan te bevelen oplossing in het centrum. Hierbij moet zeker ook worden gekeken naar overgangen tussen verschillende wegdektypen, verkeersdrempels en reparatievakken. Het effect van deze maatregel is afhankelijk van de huidige staat van het wegdek en kan oplopen tot een reductie van 10 dB van de trillingsniveaus. Het verlagen van de maximale rijnsnelheid of het strenger hanteren van deze resulteert in een reductie van 4 tot 9 dB en is een goed alternatief.

Naast de trillingsniveaus zijn gedurende de metingen een aantal trillingsafhankelijke parameters geregistreerd. Op basis van deze parameters kan worden geconcludeerd dat het verschil tussen gelede en ongelede bussen verwaarloosbaar is. Gelede bussen veroorzaken ten opzichte van ongelede bussen gemiddeld een 0.5 dB hoger trillingsniveau. In het centrum komt voornamelijk de bodemgesteldheid 'veen met dunne laag IJ-klei op strandwal' en 'zand-/strandwal' voor. Uit onze analyse blijkt dat bij de zand-/strandwal gemiddeld een 3 dB lagere trillingsniveau optreedt. Dit is ook aannemelijk omdat het een relatief dicht pakket is dat trilling beter absorbeert. Eveneens is er een analyse gemaakt m.b.t. de snelheid en de status van het wegdek (hoofdstuk 8).



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

Bijlage 1

Titel

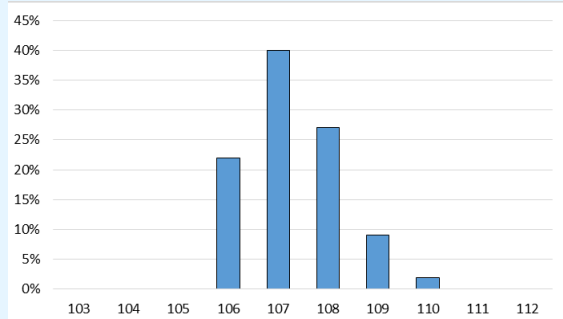
Meetresultaten

1.1 Kinderhuisvest 25

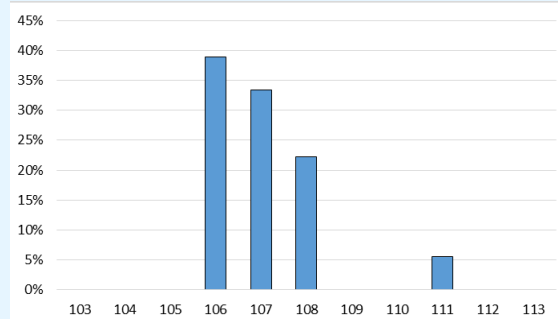
In de onderstaande tabel en histogrammen zijn de meetresultaten van de bovenstaande onderzoekslocatie weergegeven.

Tabel 1.1.1: Trillingsniveaus voor de locatie Kinderhuisvest 25 per periode per richting.

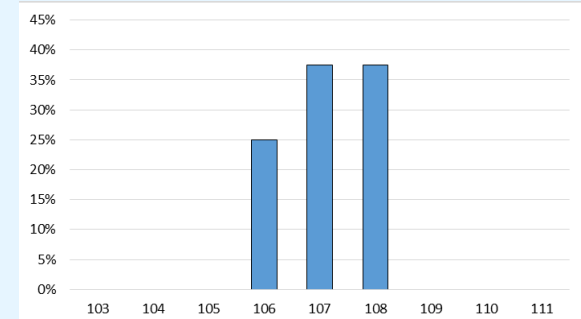
Gebouwfunctie: Wonen	Dag				Avond				Nacht			
	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z
Vper [mm/s]	0.08	0.00	0.00	0.08	0.05	0.00	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02
Veff,max [mm/s]	0.31	0.09	0.11	0.31	0.34	0.07	0.09	0.34	0.25	0.06	0.08	0.25
Vper [dB]	97.7	97.7	73.6	97.7	93.1	93.1	93.1	93.1	86.5	86.5	86.5	86.5
Veff,max [dB]	109.8	99.0	101.0	109.8	110.7	96.5	98.8	110.7	107.9	96.0	98.0	107.9
Herhaald voorkomende trillingen, bestaande situatie. Voldoet?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hinderkwalificatie voor weg-, railverkeer	Matige hinder	Geen hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Matige hinder	Geen hinder	Geen hinder	Matige hinder	Matige hinder	Geen hinder	Geen hinder	Matige hinder



figuur 1.1.1: Histogram meetresultaten overdag. Op de x-as de gemeten snelheidniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



figuur 1.1.2: Histogram meetresultaten avond. Op de x-as de gemeten snelheidniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



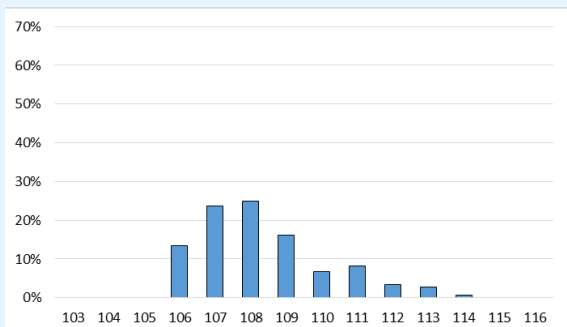
figuur 1.1.3: Histogram meetresultaten nacht. Op de x-as de gemeten snelheidniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.

1.2 Kenaupark 12

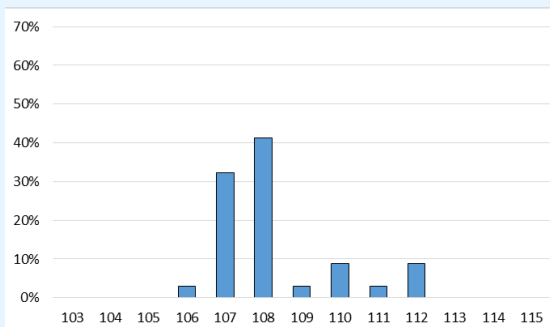
In de onderstaande tabel en histogrammen zijn de meetresultaten van de bovenstaande onderzoekslocatie weergegeven.

Tabel 1.2.1: Trillingsniveaus voor de locatie Kenaupark 12 per periode per richting.

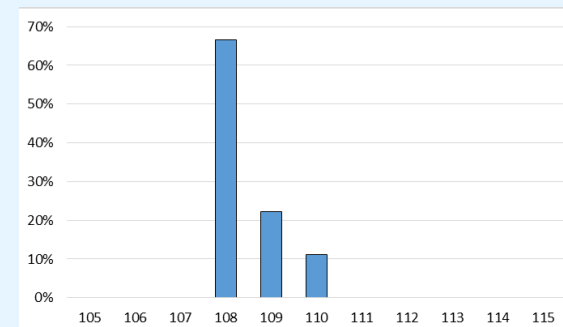
Gebouwfunctie: Wonen	Dag				Avond				Nacht			
	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z
Vper [mm/s]	0.09	0.06	0.04	0.08	0.07	0.05	0.04	0.07	0.03	0.02	0.01	0.02
Veff,max [mm/s]	0.49	0.31	0.25	0.49	0.41	0.31	0.20	0.41	0.32	0.25	0.15	0.32
Vper [dB]	98.8	96.1	92.9	98.5	97.1	94.7	91.2	96.5	88.0	85.6	81.2	87.6
Veff,max [dB]	113.8	109.9	107.8	113.8	112.2	109.8	105.8	112.2	110.1	107.8	103.6	110.1
Herhaald voorkomende trillingen, bestaande situatie. Voldoet?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hinderkwalificatie voor weg-, railverkeer	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder	Weinig hinder*	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder	Weinig hinder	Matige hinder



figuur 1.2.1: Histogram meetresultaten overdag. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



figuur 1.2.2: Histogram meetresultaten avond. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



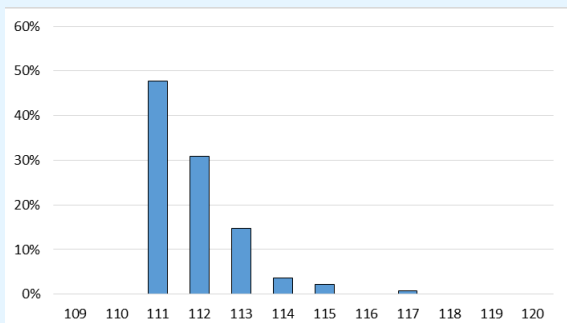
figuur 1.2.3: Histogram meetresultaten nacht. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.

1.3 Vincent van Goghlaan 87

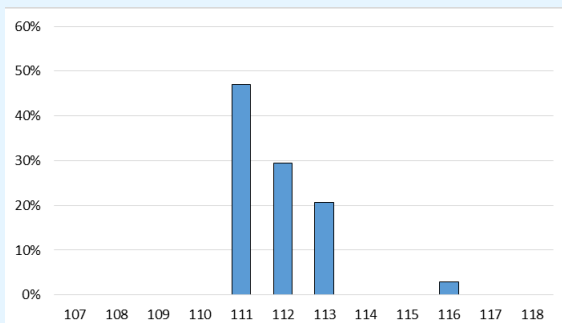
In de onderstaande tabel en histogrammen zijn de meetresultaten van de bovenstaande onderzoekslocatie weergegeven.

Tabel 1.3.1: Trillingsniveaus voor de locatie Vincent van Goghlaan 87 per periode per richting.

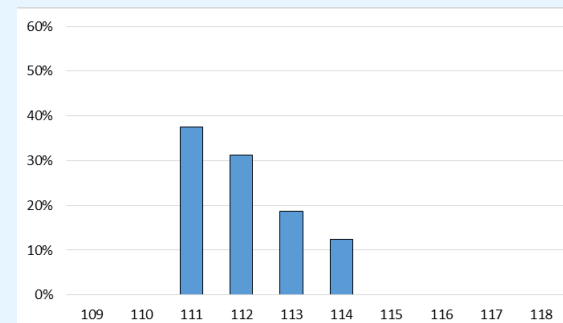
Gebouwfunctie: Wonen	Dag				Avond				Nacht			
	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z
Vper [mm/s]	0.12	0.01	0.12	0.11	0.11	0.01	0.10	0.10	0.05	0.00	0.05	0.05
Veff,max [mm/s]	0.67	0.16	0.57	0.67	0.65	0.13	0.56	0.65	0.51	0.14	0.48	0.51
Vper [dB]	101.7	79.7	101.3	100.7	100.5	77.7	100.1	99.7	94.4	73.3	94.0	93.6
Veff,max [dB]	116.5	104.2	115.1	116.5	116.2	102.3	114.9	116.2	114.2	103.1	113.7	114.2
Herhaald voorkomende trillingen, bestaande situatie. Voldoet?	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee	Ja	Nee	Ja	Nee	Nee
Hinderkwalificatie voor weg-, railverkeer	Matige hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Matige hinder	Matige hinder	Weinig hinder*	Matige hinder	Matige hinder



figuur 1.3.1: Histogram meetresultaten overdag. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



figuur 1.3.2: Histogram meetresultaten avond. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



figuur 1.3.3: Histogram meetresultaten nacht. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.

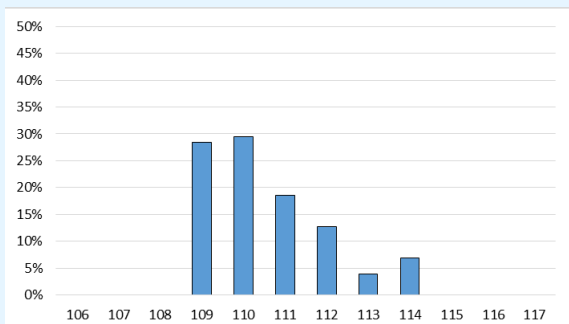
1.4 Hooimarkt 22

In de onderstaande tabel en histogrammen zijn de meetresultaten van de bovenstaande onderzoekslocatie weergegeven.

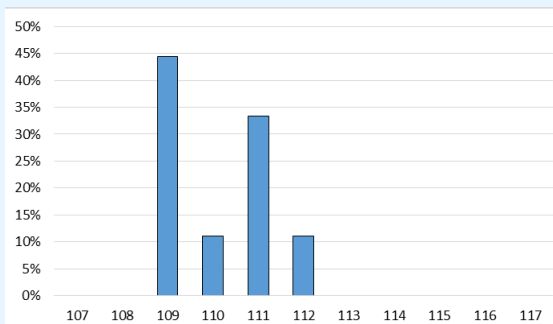
Tabel 1.4.1: Trillingsniveaus voor de locatie Hooimarkt 22 per periode per richting.

Gebouwfunctie: Wonen	Dag				Avond				Nacht			
	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z
Vper [mm/s]	0.09	0.02	0.02	0.09	0.04	0.01	0.01	0.04	0.08	0.02	0.01	0.08
Veff,max [mm/s]	0.53	0.19	0.17	0.53	0.38	0.12	0.12	0.38	0.51	0.16	0.12	0.51
Vper [dB]	99.3	85.8	84.4	99.3	92.9	78.7	74.6	92.9	98.4	85.8	82.7	98.4
Veff,max [dB]	114.5	105.4	104.4	114.5	111.5	101.6	101.4	111.5	114.1	103.9	101.6	114.1
Herhaald voorkomende trillingen, bestaande situatie. Voldoet?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Ja	Nee
Hinderkwalificatie voor weg-, railverkeer	Matige hinder	Weinig hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Matige hinder	Weinig hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Matige hinder	Weinig hinder	Weinig hinder	Matige hinder

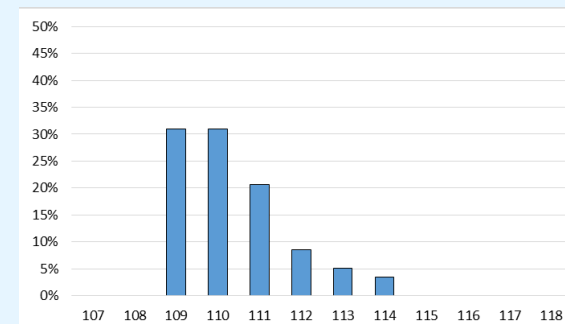
* bestaande situatie



figuur 1.4.1: Histogram meetresultaten overdag. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



figuur 1.4.2: Histogram meetresultaten avond. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



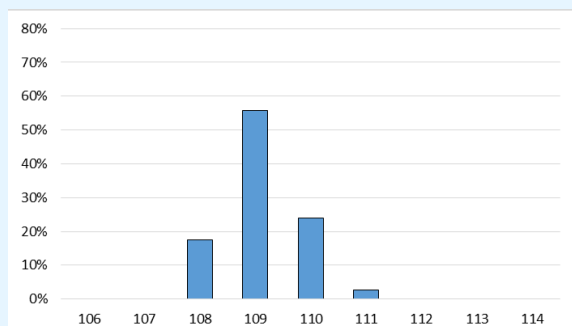
figuur 1.4.3: Histogram meetresultaten nacht. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.

1.5 Ursulastraat 2

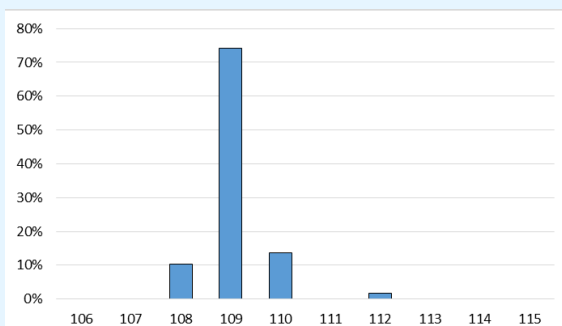
In de onderstaande tabel en histogrammen zijn de meetresultaten van de bovenstaande onderzoekslocatie weergegeven.

Tabel 1.5.1: Trillingsniveaus voor de locatie Ursulastraat 2 per periode per richting.

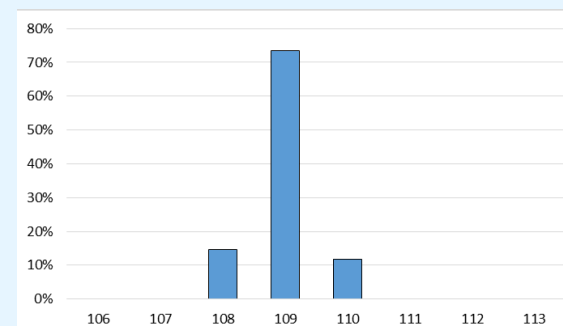
Gebouwfunctie: Wonen	Dag				Avond				Nacht			
	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z
Vper [mm/s]	0.09	0.00	0.05	0.09	0.10	0.00	0.05	0.10	0.05	0.00	0.03	0.05
Veff,max [mm/s]	0.36	0.07	0.20	0.36	0.38	0.07	0.19	0.38	0.31	0.07	0.20	0.31
Vper [dB]	99.3	99.3	93.4	99.3	99.8	99.8	94.7	99.8	94.3	94.3	89.8	94.3
Veff,max [dB]	111.1	97.1	105.9	111.1	111.5	96.3	105.6	111.5	109.8	96.3	105.9	109.8
Herhaald voorkomende trillingen, bestaande situatie. Voldoet?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hinderkwalificatie voor weg-, railverkeer	Matige hinder	Geen hinder	Weinig hinder*	Matige hinder	Matige hinder	Geen hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Matige hinder	Geen hinder	Weinig hinder	Matige hinder



figuur 1.5.1: Histogram meetresultaten overdag. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



figuur 1.5.2: Histogram meetresultaten avond. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



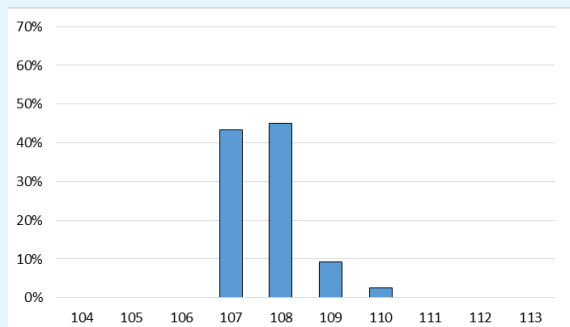
figuur 1.5.3: Histogram meetresultaten nacht. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.

1.6 Gedempte Oude Gracht 75a

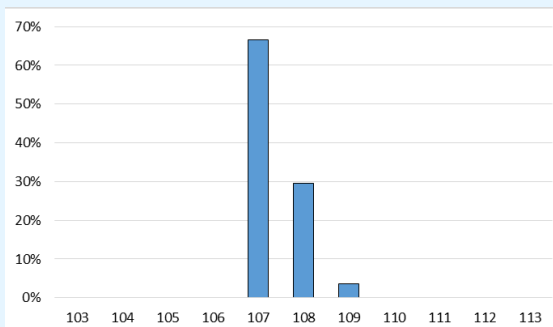
In de onderstaande tabel en histogrammen zijn de meetresultaten van de bovenstaande onderzoekslocatie weergegeven.

Tabel 1.6.1: Trillingsniveaus voor de locatie Gedempte Oude Gracht 75a per periode per richting.

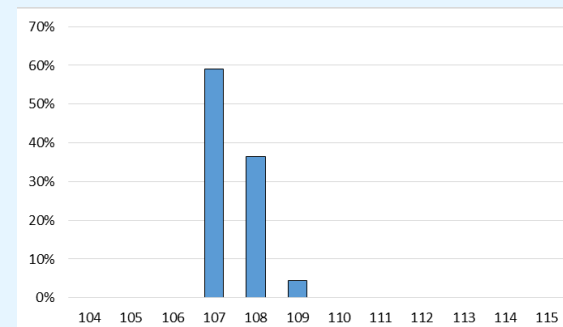
Gebouwfunctie: Wonen	Dag				Avond				Nacht			
	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z
Vper [mm/s]	0.07	0.04	0.03	0.07	0.06	0.03	0.02	0.06	0.04	0.02	0.01	0.04
Veff,max [mm/s]	0.30	0.23	0.15	0.30	0.28	0.15	0.13	0.28	0.27	0.20	0.13	0.27
Vper [dB]	96.9	92.0	88.8	96.9	94.9	88.8	86.8	94.9	91.1	86.2	82.7	91.1
Veff,max [dB]	109.6	107.1	103.5	109.6	109.0	103.7	102.3	109.0	108.5	105.8	102.3	108.5
Herhaald voorkomende trillingen, bestaande situatie. Voldoet?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hinderkwalificatie voor weg-, railverkeer	Matige hinder	Matige hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Matige hinder	Weinig hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Matige hinder	Weinig hinder	Weinig hinder	Matige hinder



figuur 1.6.1: Histogram meetresultaten overdag. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



figuur 1.6.2: Histogram meetresultaten avond. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



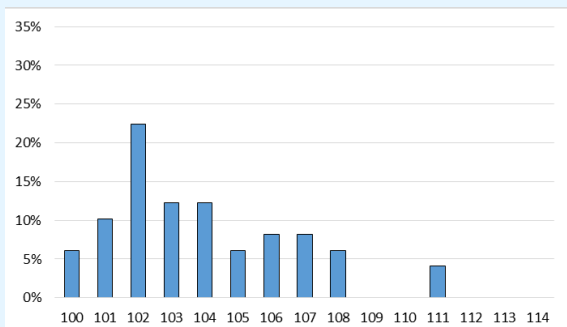
figuur 1.6.3: Histogram meetresultaten nacht. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.

1.7 Spaarne 43

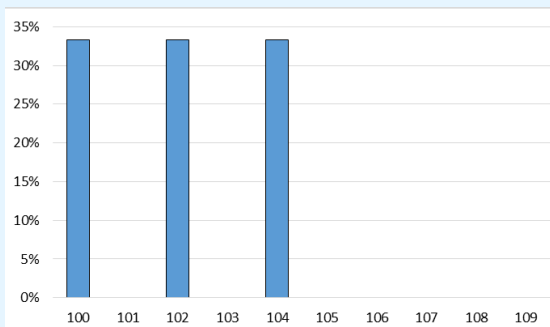
In de onderstaande tabel en histogrammen zijn de meetresultaten van de bovenstaande onderzoekslocatie weergegeven.

Tabel 1.7.1: Trillingsniveaus voor de locatie Spaarne 43 per periode per richting.

Gebouwfunctie: Wonen	Dag				Avond				Nacht			
	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z
Vper [mm/s]	0.03	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01				
Veff,max [mm/s]	0.36	0.08	0.13	0.36	0.15	0.04	0.05	0.15				
Vper [dB]	89.8	89.8	73.4	89.8	79.1	79.1	79.1	79.1				
Veff,max [dB]	111.1	97.6	102.0	111.1	103.6	91.6	93.1	103.6				
Herhaald voorkomende trillingen, bestaande situatie. Voldoet?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja				
Hinderkwalificatie voor weg-, railverkeer	Matige hinder	Geen hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Weinig hinder	Geen hinder	Geen hinder	Weinig hinder				



figuur 1.7.1: Histogram meetresultaten overdag. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



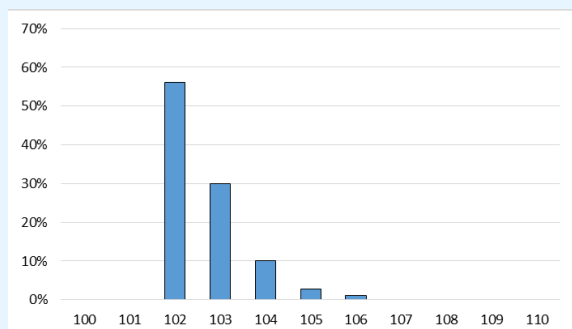
figuur 1.7.2: Histogram meetresultaten avond. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.

1.8 Parklaan 30

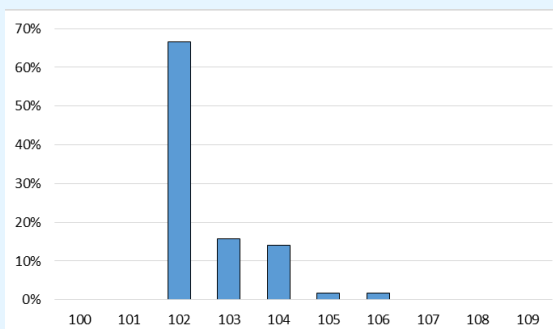
In de onderstaande tabel en histogrammen zijn de meetresultaten van de bovenstaande onderzoekslocatie weergegeven.

Tabel 1.8.1: Trillingsniveaus voor de locatie Parklaan 30 per periode per richting.

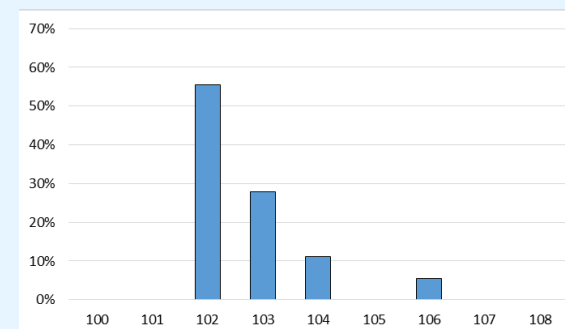
Gebouwfunctie: Wonen	Dag				Avond				Nacht			
	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z	Max	X	Y	Z
Vper [mm/s]	0.05	0.00	0.01	0.05	0.05	0.00	0.01	0.05	0.02	0.00	0.01	0.02
Veff,max [mm/s]	0.19	0.08	0.12	0.19	0.21	0.07	0.11	0.21	0.19	0.07	0.12	0.19
Vper [dB]	93.7	93.7	81.3	93.7	93.5	93.5	78.6	93.5	85.5	85.5	74.1	85.5
Veff,max [dB]	105.6	98.0	101.3	105.6	106.5	97.0	100.9	106.5	105.6	96.3	101.3	105.6
Herhaald voorkomende trillingen, bestaande situatie. Voldoet?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hinderkwalificatie voor weg-, railverkeer	Weinig hinder	Geen hinder	Weinig hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Geen hinder	Weinig hinder	Matige hinder	Weinig hinder	Geen hinder	Weinig hinder	Weinig hinder



figuur 1.8.1: Histogram meetresultaten overdag. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



figuur 1.8.2: Histogram meetresultaten avond. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.



figuur 1.8.3: Histogram meetresultaten nacht. Op de x-as de gemeten snelheidsniveaus in dB (ref 1 nm/s) en op de y-as de frequentie in %.