



M+P | Onderdeel van
Müller-BBM groep
Mensen met oplossingen



Rapport

Herinrichting van de Maliebaan te Utrecht, onderzoek geluid en trillingen wegverkeer in de huidige situatie

Colofon

Opdrachtnemer M+P raadgevende ingenieurs BV

Opdrachtgever Gemeente Utrecht
Stadsplateau 1
3521 AZ UTRECHT

Opdrachtnummer -

Titel Herinrichting van de Maliebaan te Utrecht, onderzoek geluid en trillingen wegverkeer in de huidige situatie

Rapportnummer M+P.GUT.20.01.3

Revisie 0

Datum 29 januari 2021

Aantal pagina's 36

Auteur ing. Marc Burgmeijer en ing. Ronald van Loon

Redacteur ing. Ronald van Loon

Contactpersoon ing. Ronald van Loon | 0297-320651 | aalsmeer@mp.nl

M+P Visserstraat 50 | 1431 GJ Aalsmeer
Wolfskamerweg 47 | 5262 ES Vught

www.mp.nl | onderdeel van de Müller-BBM groep | Lid NLIingenieurs | ISO 9001 gecertificeerd

Copyright © M+P raadgevende ingenieurs BV | Niets van deze rapportage mag worden gebruikt voor andere doeleinden dan is overeengekomen tussen de opdrachtgever en M+P (DNR 2011 Artikel 46).

Managementsamenvatting

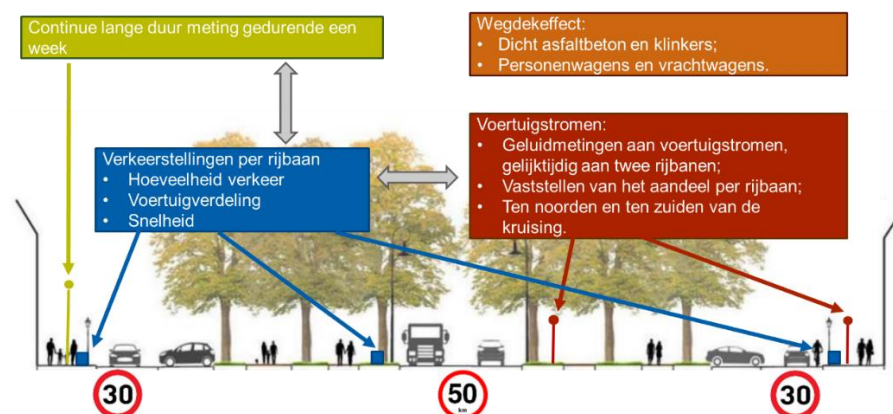
De gemeente Utrecht is voornemens de Maliebaan in Utrecht te herinrichten. Hierbij zal van de bestaande middenbaan het gemotoriseerd verkeer worden geweerd en zal deze ingericht worden als wandel- en fietspromenade. Het gemotoriseerd verkeer zal over de ventwegen komen te rijden. Beide parallelwegen blijven eenrichtingsverkeer en zullen ingericht worden als een 30 km/h weg.

De wijzigingen aan de Maliebaan hebben consequenties voor het geluid en de trillingen ten gevolge van het wegverkeer. Dit onderzoek is uitgevoerd om inzicht te krijgen in de huidige geluidniveaus en trillingsniveaus langs de Maliebaan in Utrecht. Op basis van dit onderzoek kan het geluidmodel voor de huidige en toekomstige situatie worden gevalideerd. Ten aanzien van trillingen zijn in een aantal woningen metingen verricht om de huidige trillingsniveaus vast te leggen. Het doel hiervan is om op basis hiervan een advies te geven over de toekomstige situatie bij een andere verkeersintensiteit.

Geluidmetingen

Op twee representatieve doorsneden van de Maliebaan zijn geluidmetingen en verkeerstellingen uitgevoerd. De geluidmetingen zijn verdeeld in de volgende onderdelen:

- Voertuigstromen. Op zowel de hoofdrijbaan als de ventwegen wordt van het voorbijgaande verkeer (de voertuigstroom) het geluidniveau (L_{Aeq}) bepaald;
- Individuele voertuigpassages. De geluidniveaus van afzonderlijke voertuigpassages (personenwagens en vrachtwagens) zijn gemeten op asfalt en klinkerverhardingen. Op de klinkerverhardingen, is een extra 'meetvrachtwagen' ingezet;
- Langdurende geluidmonitoring aan de gevel. Ter hoogte van Maliebaan 52A is gedurende anderhalve week (24h/dag) het geluidniveau gemeten;
- Verkeersgegevens. Op basis van verkeerstellingen zijn de verkeersintensiteit en representatieve voertuigsnellheden gemeten.



Schematische weergave van de meetopzet voor het vaststellen van de huidige akoestische situatie op de Maliebaan in Utrecht.

Trillingsmetingen

Om de huidige mate van hinder vast te stellen, zijn metingen verricht conform de SBR deel A en B voor “Trillingen, schade aan gebouwen” en “hinder voor personen”. De metingen zijn in zeven woningen gedurende een week uitgevoerd. In de helft van de woningen is het effect van vrachtwagenpassages op de trillingsniveaus (constructie en vloerveld) nauwkeurig vastgesteld. Hierbij is gebruik gemaakt van de ‘meetvrachtwagen’.

Resultaten en conclusie

Geluid

Wanneer de geluidniveaus over de gehele meetperiode worden gemiddeld, en rekening gehouden wordt met een aandeel van werk- en weekenddagen (5 staat tot 2), is de L_{den} gelijk aan 61,0 dB.

In het onderzoek zijn ook de geluideigenschappen van het asfalt op de hoofdrijbaan en die van de klinkerverharding op de ventwegen gemeten. Omdat de hoeveelheid verkeer en snelheid op de ventwegen veel lager zijn dan die op de hoofdrijbaan, is de geluidemissie van de gehele voertuigstroom op de hoofdrijbaan hoger in de huidige situatie. Door de huidige staat van de klinkerverharding zijn de afzonderlijke passageniveaus op de ventwegen hoger dan in het model wordt berekend. De eigenschappen van het asfalt komen wel overeen met die in het model. Wanneer extra vrachtwagenpassages op de ventwegen aanwezig zijn, blijkt dat de geluidemissie en daarmee de geluidbelasting bij de gevel sterk toeneemt. Meer vrachtverkeer in combinatie met een relatief lawaaiige klinkerverharding kan zorgen voor hogere geluidbelastingen dan het model berekent. Met dit resultaat kan de gemeente het model verbeteren.

Trillingen

Uit de metingen is gebleken dat de kans op schade aan de gebouwen of kans op zettingen van de fundering conform de SBR richtlijn A *Schade aan bouwwerken* zeer klein is. De gemeten waarden voor hinder vallen voornamelijk in de categorie ‘geen tot weinig hinder’, met een enkele meting in de categorie ‘matige hinder’. Van ‘hinder’ of ‘ernstige hinder’ is geen sprake. Er wordt in de huidige situatie voldaan aan de streefwaarden voor bestaande situaties uit de richtlijn.

Aanbevelingen

Voor de toekomstige situatie is het sterk aan te bevelen aandacht te schenken aan de vlakheid van de wegverharding op de ventwegen. Dit kan zowel voor geluid als voor trillingen een positief effect hebben. Dat kan door de huidige gebakken klinkers te vervangen door een nieuwe verharding met aandacht voor een stabiele wegfundering. Daarbij moet het optreden van onvlakheden zoveel mogelijk worden vermeden. Bij voorkeur worden er geen drempels aangebracht en moeten onderhoudswerkzaamheden in de toekomst, zoals het graven en herstraten, zo min mogelijk plaats vinden.

In de toekomstige situatie zal na de reconstructie van de Maliebaan de hoeveelheid verkeer op de ventwegen toenemen. Het is niet de verwachting dat, indien het wegdek voldoende vlak is, de kans op schade aan de belendende gebouwen ten gevolge van trillingen zal toenemen.

Een ander aandachtspunt is de aanwezigheid van (zwaar) vrachtverkeer. Het is gebleken dat vrachtwagens ook in beperkte aantallen significante invloed hebben op de geluidbelasting. Daarnaast heeft het straatwerk meer te lijden onder de zware belasting en heeft dat weer invloed op de technische levensduur en onderhoudsstaat van de verharding. Bij meer vrachtverkeer over de Maliebaan zal het aantal voelbare trillingen toenemen en daarmee ook de hinder. Of daarmee

ook de streefwaarde wordt overschreden, is afhankelijk van het aantal vrachtwagenpassages en zal per woning verschillen.

Er wordt opgemerkt dat de SBR richtlijn B stelt dat in de gewijzigde situatie de trillingsniveaus niet mogen toenemen. Dit betekent dat ondanks de hogere verkeersintensiteit het maximale trillingsniveau en het gemiddelde trillingsniveau niet mogen toenemen.

Inhoud

	Managementsamenvatting	3
1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond	7
1.2	Vraagstelling	7
1.3	Doelstelling en plan van aanpak	7
2	Onderzoeksopzet en uitgangspunten	9
2.1	Beschrijving van de huidige situatie	9
2.2	Onderzoeksopzet	10
2.2.1	Geluidonderzoek	10
2.2.2	Trillingsonderzoek	11
2.3	Meetposities en meetperioden	12
3	Geluidmetingen	13
3.1	Voertuigstromen	13
3.2	Wegdekeigenschappen	15
3.3	Lange duur meting	17
4	Trillingsmetingen	20
4.1	Metingen	20
4.2	Onderzoeksmethode	20
4.3	Beoordelingscriteria trillingen	21
4.4	Resultaten metingen	24
4.4.1	Schade vanwege trillingen	24
4.4.2	Trillingshinder	27
5	Conclusie en aanbevelingen	31
6	Literatuur	33
	Plot meetresultaten trillingen tijdens vrachtwagenpassage	34

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De gemeente Utrecht is voornemens de Maliebaan in Utrecht te herinrichten. Hierbij zal van de bestaande middenbaan het gemotoriseerd verkeer worden geweerd en zal deze ingericht worden als wandel- en fietspromenade. Het gemotoriseerd verkeer zal over de ventwegen komen te rijden. Beide parallelwegen blijven eenrichtingsverkeer en zullen ingericht worden als een 30 km/h weg.

De wijzigingen aan de Maliebaan hebben consequenties voor het geluid en de trillingen ten gevolge van het wegverkeer. Zoals volgens de Nederlandse geluidwetgeving is voorgeschreven, is voor de Maliebaan een geluidonderzoek uitgevoerd door de gemeente. Dit onderzoek wordt uitgevoerd op basis van berekeningen aan de hand van een akoestisch model volgens het Reken- en meetvoorschrift geluid 2012 (Rmg2012) [1]. Hierbij wordt de huidige situatie vergeleken met de toekomstige situatie en wordt de toekomstige geluidbelasting getoetst aan de grenswaarden uit de Wet geluidhinder.

Het verzoek van de bewoners van de Maliebaan was om naast de modelberekeningen ook een meettechnisch onderzoek uit te voeren naar de huidige situatie. Het meettechnisch onderzoek dient om het gebruikte rekenmodel te ijken en om zo bijdrage te leveren aan het publieke vertrouwen in de modelberekeningen. De trillingen die door het wegverkeer veroorzaakt wordt in de woningen, zijn eveneens middels metingen vastgesteld.

1.2 Vraagstelling

Om inzicht te krijgen in de huidige situatie op de Maliebaan heeft de gemeente gevraagd om geluid- en trillingsmetingen uit te voeren voorafgaand aan de herinrichting van de Maliebaan. De gemeente en de bewoners van de Maliebaan worden betrokken bij het plan van aanpak, de te kiezen meetlocaties en de periode waarin het onderzoek plaats vindt.

Voor de geluidmetingen verwacht de gemeente dat zodanig wordt gemeten, dat een vergelijking tussen de metingen en berekeningen kan worden uitgevoerd. Daarbij moeten ook de verkeersintensiteiten en voertuigsnelheden worden gemeten. Bij de geluidmetingen moet de methode uit het Reken- en meetvoorschrift geluid 2012 als leidraad dienen. Hierbij moet rekening gehouden worden met de meteo-omstandigheden, de duur van de metingen en de kwaliteit van het instrumentarium.

Voor de trillingsmetingen vraagt de gemeente om een meettechnisch onderzoek conform de SBR-richtlijnen en een advies voor het toekomstig ontwerp van de Maliebaan.

1.3 Doelstelling en plan van aanpak

Het doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de huidige geluidniveaus en trillingsniveaus langs de Maliebaan in Utrecht. De onderzoeksopzet en uitgangspunten zijn uitvoerig beschreven in hoofdstuk 2. Hierin is ook een overzicht gegeven waar en wanneer de verschillende metingen hebben plaatsgevonden.

Voor geluid moet inzicht worden verkregen hoe de geluidniveaus variëren over het etmaal, welke geluidemissie het wegverkeer produceert en wat de bijdrage is van de verschillende rijbanen op de geluidbelasting bij de woningen. Uiteindelijk worden de invoerparameters van het akoestisch model

gecontroleerd en worden aanbevelingen gedaan voor het bijstellen van het model. Hiervoor zijn de volgende metingen uitgevoerd:

- Geluidmetingen
 - Metingen aan de voertuigstromen;
 - Metingen aan de akoestische wegdekeigenschappen en geluidemissie van de verschillende voertuigcategorieën;
 - Langdurende geluidmetingen;
- Verkeerstellingen
 - Verkeersintensiteiten uitgesplitst naar uurwaarden per voertuigcategorie, rijbaan en rijrichting;
 - Voertuigsnelheden uitgesplitst naar uurwaarden per voertuigcategorie en rijbaan.

De resultaten van alle geluidmetingen zijn terug te vinden in hoofdstuk 3. De resultaten van de verkeerstellingen zijn ter beschikking gesteld aan de gemeente Utrecht. Waar dat voor het geluidonderzoek relevant is, zullen enkele verkeersgegevens gepresenteerd worden. De resultaten van de geluidmetingen zijn als input gebruikt voor de vergelijking met het akoestisch model van de gemeente Utrecht. Deze vergelijking is beschreven in een rapportage van de gemeente Utrecht.

In een aantal woningen zijn metingen verricht om de huidige trillingsniveaus vast te leggen. Het doel hiervan is om op basis hiervan een advies te geven over de toekomstige situatie. Het onderzoek betrof:

- Trillingsmetingen in zeven woningen langs de Maliebaan aan de constructie van woningen en op het vloerveld;
- Bepalen van het specifieke effect van vrachtverkeer op de trillingsniveaus door 'gecontroleerde' vrachtwagenpassages te meten.

Om de trillingswaarden te kunnen beoordelen zijn de richtwaarden gebruikt van de SBR richtlijn deel A "Schade aan bouwwerken" [4] en SBR richtlijn B "hinder voor personen in gebouwen" [5]. In hoofdstuk 4 staan de resultaten van het trillingsonderzoek.

De conclusies van het onderzoek en aanbevelingen staan in hoofdstuk 5.

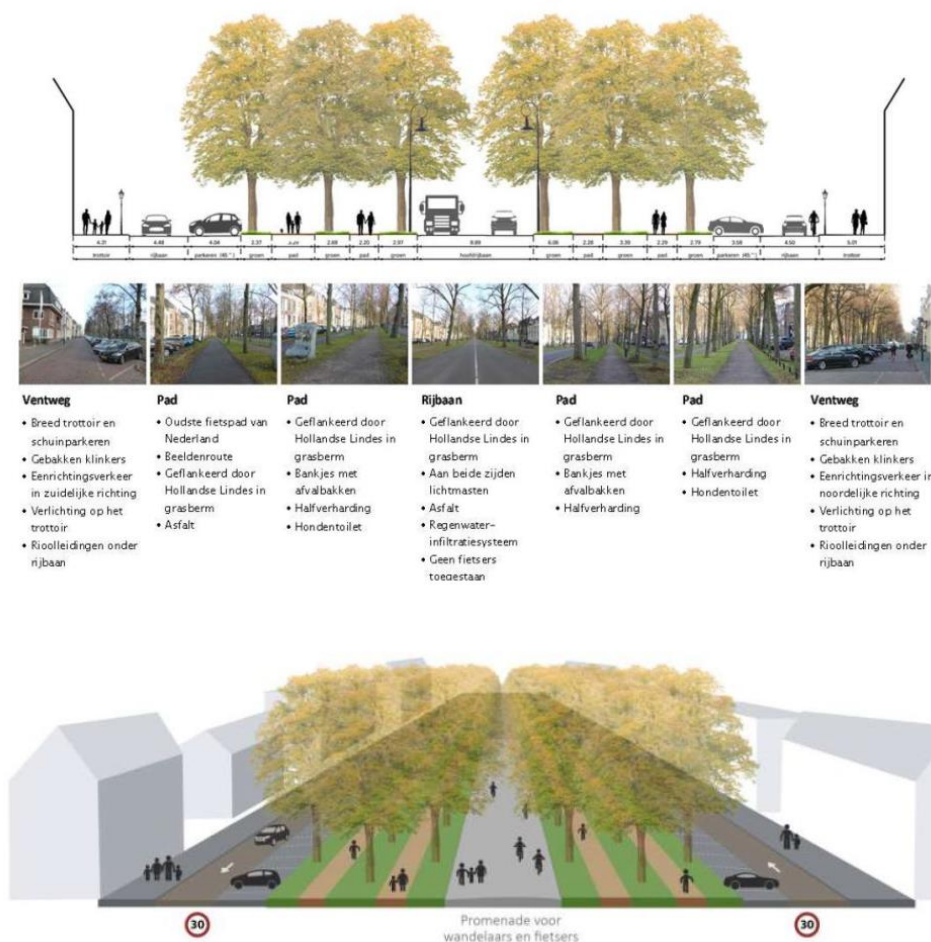
2 Onderzoekopzet en uitgangspunten

2.1 Beschrijving van de huidige situatie

De Maliebaan bestaat uit een hoofdrijbaan van asphalt met aan beide zijden van de weg een ventweg met klinkerverharding. De ventwegen zijn ingericht als 30 km/h zone. Op de hoofdrijbaan is de toegestane maximum snelheid 50 km/h. De panden langs de Maliebaan vormen aan beide zijden een grotendeels gesloten bebouwingslijn. De meeste panden zijn gebouwd in de 2^e helft van de 19^e eeuw. Het betreft monumentale panden die voor een groot gedeelte in gebruik zijn als kantoor, al dan niet in combinatie met wonen.

De Maliebaan wordt halverwege onderbroken door de kruising met de Nachtegaalstraat/Burgemeester Reigerstraat. Op deze kruising wordt het verkeer geregeld via verkeerslichten.

Na de herinrichting zal de hoofdrijbaan worden afgesloten voor gemotoriseerd verkeer en een promenade voor fietsers en wandelaars vormen. De ventwegen blijven in gebruik voor de afwikkeling van het gemotoriseerde verkeer. De verharding zal blijven bestaan uit een elementenverharding in keperverband. De gemeente Utrecht heeft aangegeven dat in de toekomstige situatie de verkeersintensiteit op de ventwegen een factor 2 tot 3 zal toenemen.



figuur 1 Boven de huidige situatie en onder een (voorlopig) ontwerp van de toekomstige situatie Maliebaan

Voor het onderzoek naar de trillingen is de huidige staat van de panden langs de Maliebaan van belang. Vanaf de straatzijde zijn geen verzakkingen of grote schade aan panden te zien. Dit geeft de indruk dat er geen sprake is van funderingsproblemen. Niet bekend is hoe de panden overwegend gefundeerd zijn. De regio ligt op de grens tussen de zandgronden ten noordoosten en de rivierafzettingen ten zuiden van Utrecht. Het is dus zowel mogelijk dat er ondiepe funderingen zijn toegepast als dat paalfunderingen aanwezig zijn.

2.2 Onderzoeksofzet

2.2.1 Geluidonderzoek

Op twee representatieve doorsneden langs de Maliebaan zijn geluidmetingen en verkeerstellingen uitgevoerd. De metingen zijn erop gericht om de resultaten en de kwaliteit van het akoestisch model te controleren. De metingen zijn verdeeld in de volgende onderdelen:

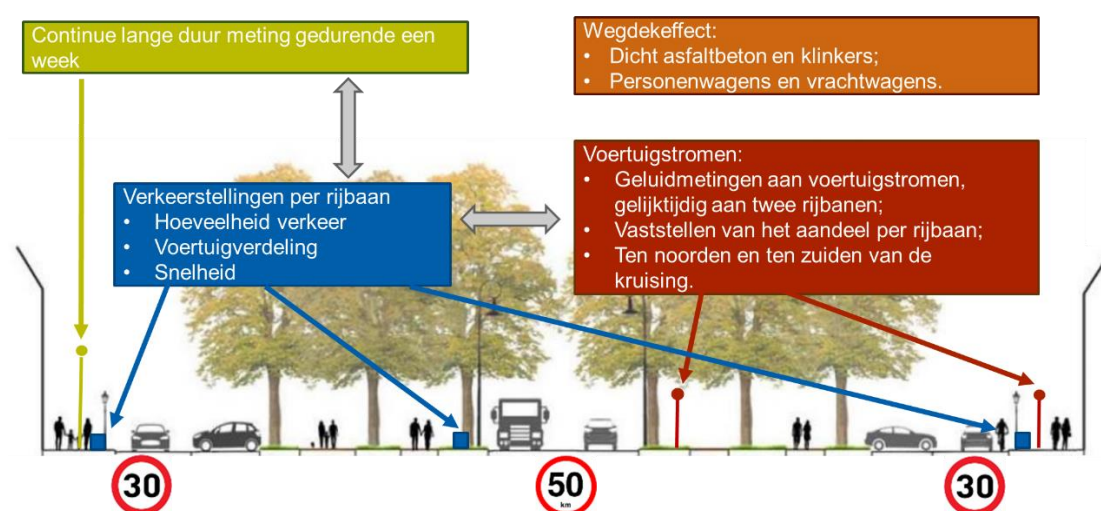
- Voertuigstromen. Op zowel de hoofdrijbaan als de ventwegen wordt van het voorbijgaande verkeer het geluidniveau (L_{Aeq}) bepaald. Hiervoor worden de randvoorwaarden en meetvoorschriften uit het Reken- en meetvoorschrift gehanteerd. De metingen worden gelijktijdig bij de hoofdrijbaan en vlak voor de gevel uitgevoerd. Hiermee kan de bijdrage van de verschillende wegdelen worden gescheiden. Het meetresultaat kan worden vergeleken met het berekende resultaat aan de hand van het model.
- Individuele voertuigpassages. De emissie van het wegverkeer wordt bepaald door de emissiekentallen per voertuigcategorie, de verkeersamenstelling en de voertuigsnellheid. Met name van de emissie voor (middel)zware motorvoertuigen bij lage snelheden en de voertuigemissies op elementenverhardingen is bekend dat de spreiding in gemeten niveaus groot is en dat de emissie vastgesteld is door extrapolatie naar lagere snelheden en daardoor een grotere onzekerheid kent. Omdat in de huidige situatie op de parallelwegen weinig (middel)zware motorvoertuigen rijden, is een vrachtwagen ingehuurd om deze parameters met hogere nauwkeurigheid te kunnen vaststellen. De personenwagens uit het doorgaande verkeer zijn gemeten voor het vaststellen van de emissie van lichte motorvoertuigen.



figuur 2

Vrachtwagen die is ingezet bij de geluid- en trillingsmetingen (gewicht na belading, 16 ton verdeeld over 2 assen)

- Langdurende geluidmonitoring aan de gevel. Om de representativiteit van de onbemande metingen te kunnen onderbouwen, is een monitoringspost geplaatst die gedurende een week (24h/dag) het geluidniveau meet. Hierbij wordt inzicht verkregen over de geluidniveaus op andere delen van het etmaal (dag, avond, nacht en week/weekend). De resultaten zullen zodanig worden gepresenteerd dat deze ook inzichtelijk en begrijpelijk zijn voor de bewoners.
- Verkeersgegevens. Op basis van verkeerstellingen zijn de verkeersintensiteit en representatieve voertuigsnelheden gemeten. De tellingen zijn ruim anderhalve week uitgevoerd op de hoofdrijbaan en op de ventwegen van de Maliebaan (ten noorden en ten zuiden van de kruising Nachtegaalstraat/ Burg. Reigerstraat). De verkeerstellingen zijn uitgevoerd door het onderzoeksbureau Meetel BV.



figuur 3 Schematische weergave van de meetopzet voor het vaststellen van de huidige situatie.

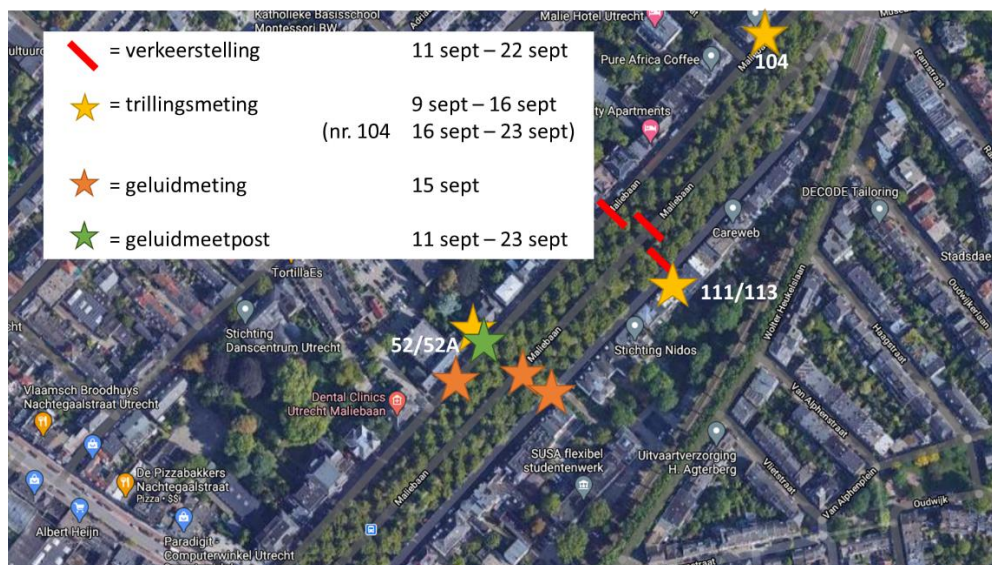
2.2.2 Trillingsonderzoek

Om huidige mate van hinder vast te stellen, zijn metingen verricht conform de SBR deel A en B voor "Trillingen, schade aan gebouwen" en "hinder voor personen". De metingen zijn per woning gedurende maximaal een week verricht. De trillingsmetingen hebben plaatsgevonden in twee fasen, namelijk twee perioden van één week waarbij telkens de trillingsopnemers in paren waren opgesteld bij naastliggende woningen. Hiermee kunnen metingen vergeleken worden zodat verstoringen vanuit de woning gefilterd kunnen worden. Om dezelfde reden zijn alleen de metingen in de nachtperiode van 23:00u tot 07:00u gebruikt omdat dan de kans op verstoring het kleinst is.

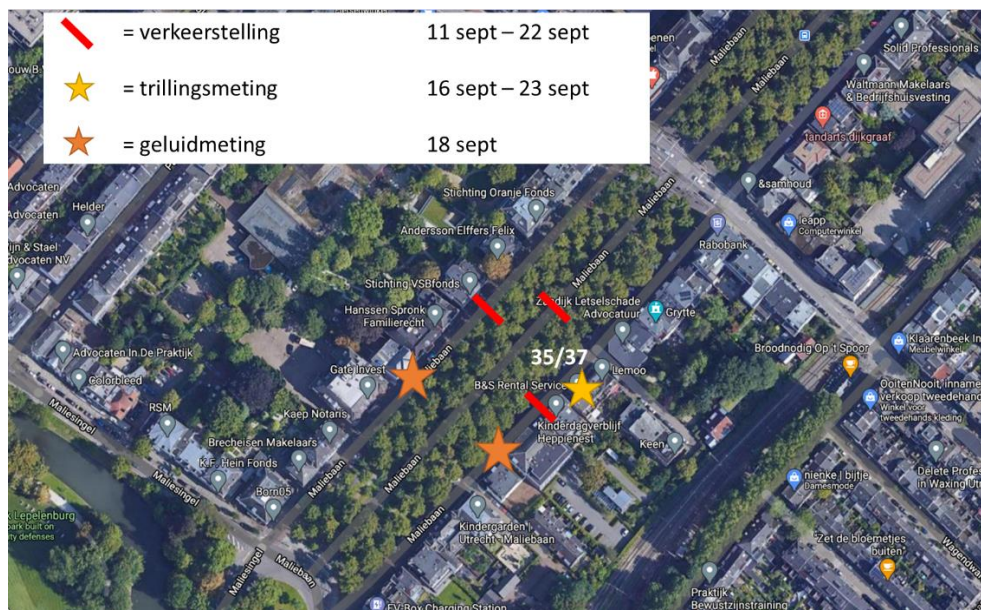
Tijdens de geluidmetingen heeft een vrachtwagen meerdere malen langs de woningen gereden met de trillingsapparatuur. Hiermee is het effect van vrachtwagenpassages op de trillingsniveaus (constructie en vloerveld) nauwkeurig vastgesteld.

2.3 Meetposities en meetperioden

De metingen hebben plaatsgevonden in de tweede en derde week van september 2020 (tussen 9 en 23 september 2020). Voor geluidmetingen zijn de meteo-omstandigheden relevant. Gedurende deze meetperiode is geen neerslag gevallen en lagen de maximumtemperaturen meestal boven de 20 °C. In onderstaande figuren is weergegeven welke meting waar en wanneer heeft plaatsgevonden. Van de trillingsmetingen staan de huisnummers weergegeven waar de apparatuur is geplaatst.



figuur 4 Metingen aan de Maliebaan ten noorden van de kruising Nachtegaalstraat/Burgemeester Reigerstraat.



figuur 5 Metingen aan de Maliebaan ten zuiden van de kruising Nachtegaalstraat/Burgemeester Reigerstraat.

3 Geluidmetingen

3.1 Voertuigstromen

De geluidmetingen aan de voertuigstromen hebben plaatsgevonden op vier locaties waarbij telkens gelijktijdig de hoofdrijbaan en een ventweg zijn gemeten. Dit betroffen twee doorsneden op de Maliebaan. Eén ten noorden van de Nachtegaalstraat/Burgemeester Reigerstraat en één ten zuiden hiervan waarbij beurtelings de oost- en westzijde is gemeten (dus niet gelijktijdig).



figuur 6

Opstelling van de geluidmetingen, gelijktijdig aan twee rijbanen.



figuur 7

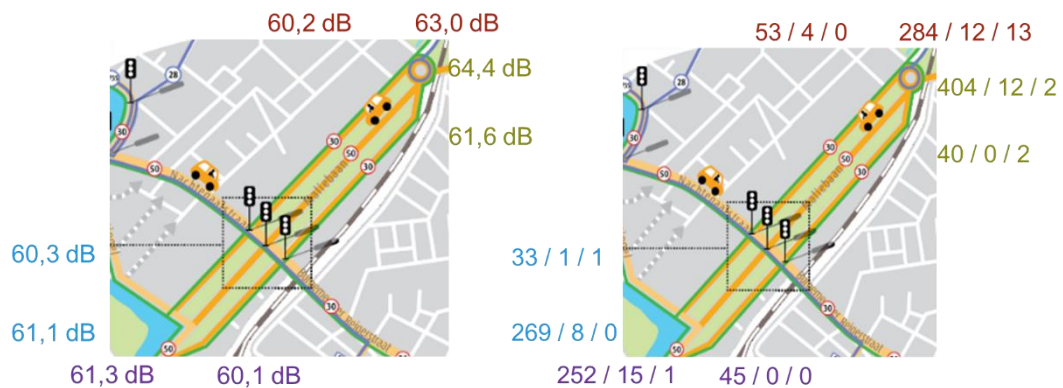
Metingen aan wegverkeersgeluid langs de Maliebaan. Links op de foto de extra vrachtwagen die gebruikt is tijdens de metingen.

Per meetpositie is het equivalent A-gewogen geluidniveau ($L_{A,eq}$) gemeten. Hierbij was de microfoonhoogte op beide posities gelijk aan 1,2 m hoogte. Langs de hoofdrijbaan is de microfoon op 7,5 m vanaf het hart van de aanliggende rijstrook geplaatst. Naast de ventweg is de microfoon 2 m voor de gevel geplaatst. De invloed van de gevel (reflectie) achter de microfoon is daarmee op elke positie gelijkwaardig. Bij deze metingen is zoveel mogelijk het voorschrift uit de meetmethode

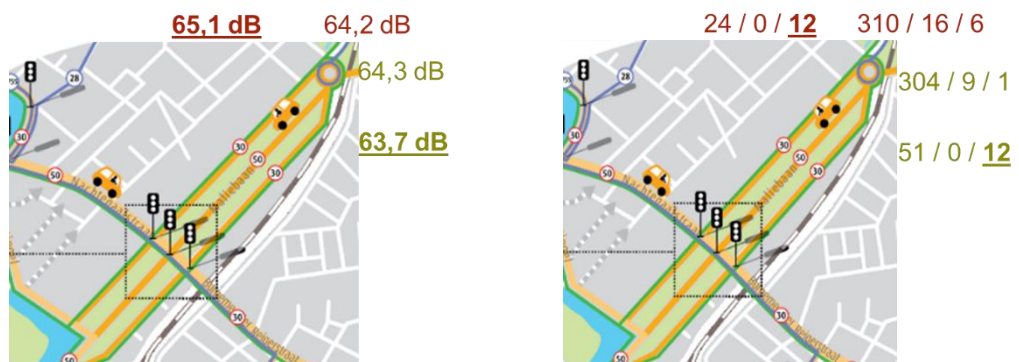
gevolgd zoals beschreven is in het Reken- en meetvoorschrift. Dat betekent dat we tijdens de metingen ook het aantal passages per voertuigcategorie hebben geteld. In figuur 8 tot en met figuur 10 zijn de resultaten van de metingen gepresenteerd. In figuur 10 worden de meetresultaten gegeven waar gemeten is met extra vrachtwagenpassages op de ventwegen. Deze zijn alleen uitgevoerd op het noordelijke deel.



figuur 8 Rijbanen op de Maliebaan waaraan in duo (per kleur) de geluidmetingen zijn uitgevoerd.



figuur 9 Gemeten geluidniveaus, $L_{A,eq}$ (links), van het wegverkeer voor de voertuigintensiteiten zoals (rechts) weergegeven (aantallen L / MV / ZV per uur).



figuur 10 Gemeten geluidniveaus, $L_{A,eq}$ (links), van het wegverkeer voor de voertuigintensiteiten zoals (rechts) weergegeven (aantallen L / MV / ZV per uur). Op de ventwegen met extra vrachtwagenpassages (onderstreepte waarden).

Uit de figuur 9 is op te maken dat onder normaal verkeer de hoogste geluidbelastingen worden gemeten naast de hoofdrijbaan. Hierbij is op het noordelijk deel van de Maliebaan de verkeersintensiteit groter en zijn de geluidsniveaus ook hoger dan op het zuidelijk deel. Voor de ventwegen zijn de verschillen in verkeersintensiteit en geluidniveau minder uitgesproken. Het valt ook op dat tijdens de metingen weinig tot geen vrachtverkeer op de ventwegen reed. Dat maakt een analyse op de invloed van het vrachtverkeer op de geluidsniveaus lastig. Hiervoor zijn ook de metingen uitgevoerd zoals gepresenteerd in figuur 10 met de inzet van een extra vrachtwagen. Wanneer er per uur ongeveer tien zware vrachtwagens meer over de ventwegen rijden, zijn de geluidsniveaus significant hoger (2-5 dB).

3.2 Wegdekeigenschappen

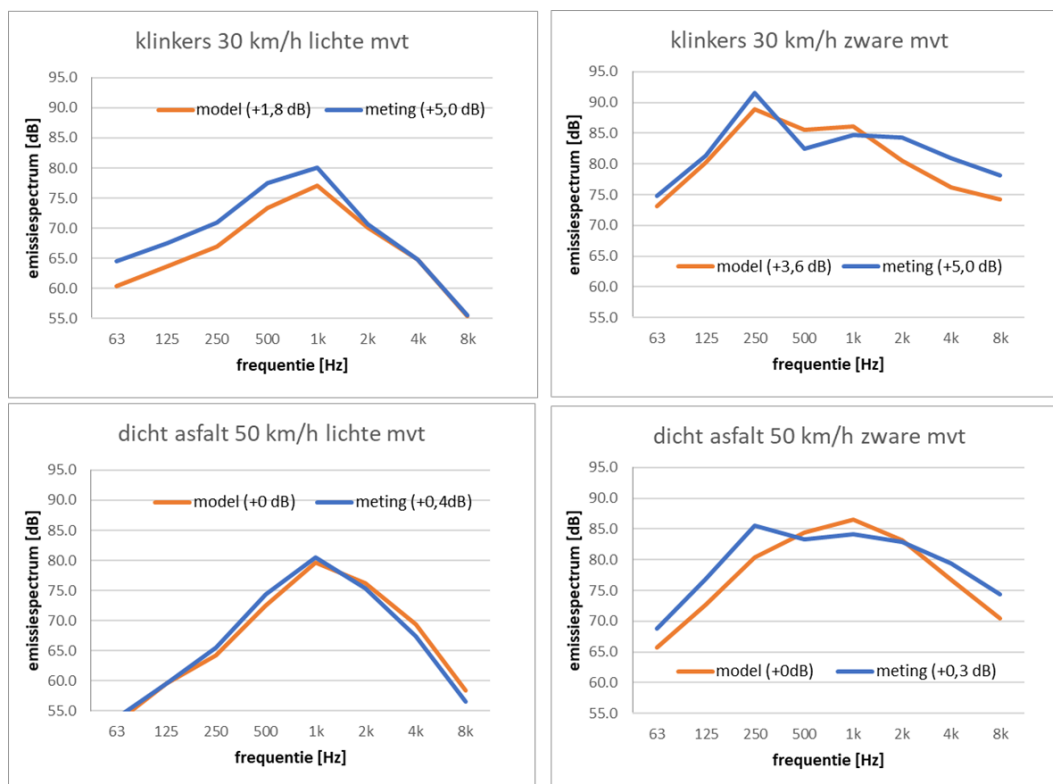
Bij de berekening van wegverkeersgeluid is in het Reken- en meetvoorschrift vastgelegd wat per voertuigcategorie de geluidemissie is. Deze geluidemissie is onder meer afhankelijk van de voertuigsnellheid en het wegdektype. Het wegdekeffect wordt aangeduid met de term C_{wegdek} , ofwel wegdekcorrectie.

De wegdekcorrectie is gebaseerd op de gemiddelde akoestische prestatie tijdens de gehele levensduur en geeft het verschil ten opzichte van het referentiewegdek. Het referentiewegdek is gebaseerd op een glad asfaltverharding (dicht asfaltbeton of SMA). De wegdekcorrectie wordt per octaafband (63 – 8000 Hz) bepaald.

Op de Maliebaan is sprake van een glad asfalt op de hoofdrijbaan en een klinkerverharding op de ventwegen. Beide wegverhardingen bevinden zich in het laatste deel van de levensduur en verwachting is dan ook dat de geluidemissie van het wegverkeer hoger is dan mag worden aangenomen op basis van de wegdekcorrectie. Daarnaast zijn de voertuigsnelheden laag op de ventwegen (lager dan 30 km/h). Voor vrachtverkeer blijkt uit eerdere metingen dat de spreiding in gemeten geluidsniveaus doorgaans groot is. De emissie in het Reken- en meetvoorschrift is vastgesteld door extrapolatie van de meetgegevens naar lagere snelheden. Dit maakt dat de emissie in het geluidmodel daardoor een grotere onzekerheid heeft voor vrachtverkeer bij 30 km/h.

Voor de Maliebaan is het wegdekeffect onderzocht met behulp van de ISO-gestandaardiseerde SPB-methode [2]. Aan de hand van deze metingen is bepaald wat voor lichte en zware motorvoertuigen het wegdekeffect is, en berekend is, wat hiervan het effect is op de geluidemissie.

De emissiespectra voor het asfalt en de klinkerverharding voor licht en zwaar verkeer zijn in figuur 11 gepresenteerd. Hier is de vergelijking gemaakt tussen de emissie op de Maliebaan (op basis van de metingen) en de emissie zoals die in het rekenmodel (Rmg2012) wordt gehanteerd inclusief de standaard wegdekcorrectie voor gebakken klinkers.



figuur 11 *Gemeten geluidemissie (in octaafbanden) per voertuigcategorie (in blauw) op de Maliebaan. Ter vergelijking de geluidemissie volgens het Reken- en meetvoorschrift geluid 2012.*

Uit de emissiespectra uit figuur 11 is te vast te stellen wat het verschil in overall geluidniveau is. Dit verschil is in onderstaande tabel weergegeven. Hieruit valt op te maken dat de geluidemissie op de gebakken klinkerverharding op de Maliebaan significant hoger is dan in het akoestisch model wordt aangenomen. Voor eventuele verschillen tussen de metingen en het model, zijn de wegdekeigenschappen mogelijk een belangrijke verklaring.

tabel I *Gemeten wegdekeffect per voertuigcategorie ten opzichte van het wegdekeffect zoals in een akoestische berekening wordt toegepast.*

wegdektype	voertuigcategorie	wegdekeffect/ C_{weaddek}	
		meting	model
dicht asfalt	lichte mvt	+0,4 dB	0 dB
	zware mvt	+0,3 dB	0 dB
gebakken klinkers	lichte mvt	+5,0 dB	+ 1,8 dB
	zware mvt	+5,0 dB	+3,6 dB

3.3 Langeduurmeting

Ter hoogte van Maliebaan 52A is een monitoringspost geplaatst die van 11 tot 23 september het omgevingsgeluid heeft gemeten. Gelijktijdig is een weerstation geplaatst om de uren waar sprake is van te harde wind en neerslag te kunnen uitsluiten van de analyse. Uiteindelijk is in de meetperiode geen neerslag gevallen, is de windsterkte beperkt geweest en lag de middagtemperatuur dagelijks boven de 20 °C.

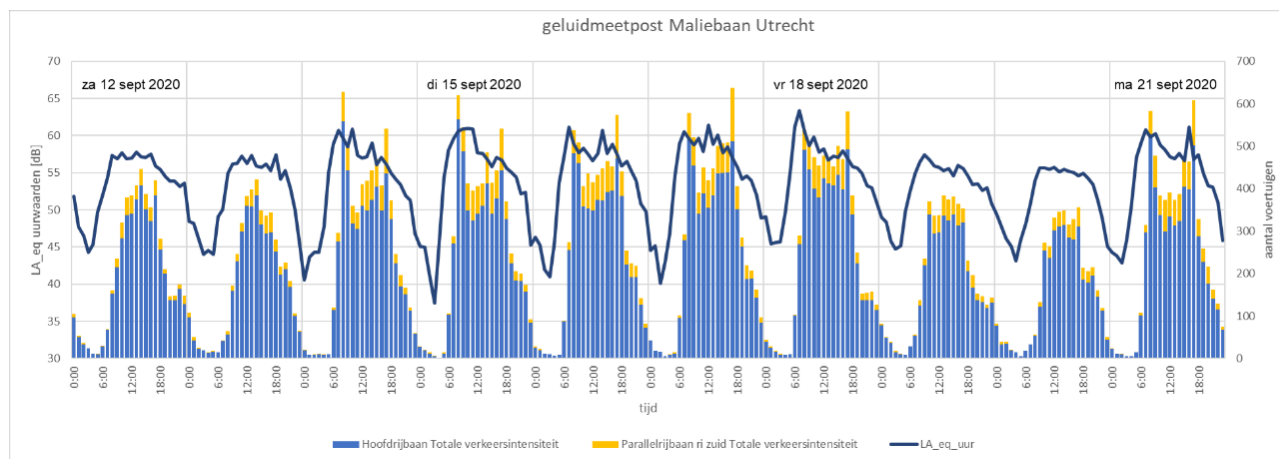
Bij de nabewerking van de geluidgegevens zijn alleen de data verwijderd waar duidelijk was van stoorgeluid dat niet representatief is voor de situatie op de Maliebaan.

De microfoon is 1,5 m voor de gevel geplaatst. De gemeten geluidniveaus zijn gecorrigeerd met 3 dB (conform het Rmg2012).



figuur 12 Locatie van de meetpost waar tussen 11 en 23 september is gemeten

Gelijktijdig met de geluidmetingen hebben verkeersstellingen plaatsgevonden aan elke afzonderlijke rijbaan. Deze verkeerintensiteiten zijn als uurwaarden beschikbaar gesteld. In onderstaande figuur zijn de verkeersintensiteiten van de twee voor geluid maatgevende rijbanen gepresenteerd samen met de uurwaarden van het gemeten geluidniveau ($L_{A,eq}$).

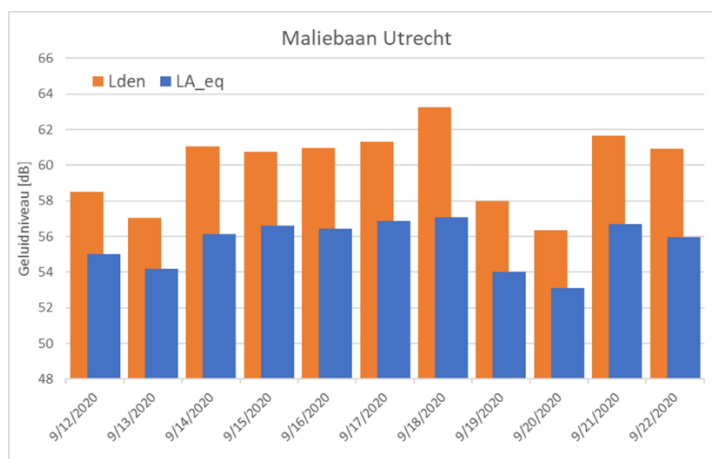


figuur 13 Uurwaarden van het geluidniveau en de verkeersintensiteit bij de geluidmeetpost Maliebaan 52A.

Uit figuur 13 valt op te maken dat de geluidniveaus in de weekenddagen lager zijn dan op de werkdagen. Dit verschil wordt duidelijker door de $L_{A,eq}$ per dag te berekenen. In onderstaande figuur zijn de werk- en weekenddagen duidelijk te onderscheiden. Voor het berekenen van de etmaalwaarde L_{den} worden het gemiddelde geluidniveau in de avond (van 19 tot 23 uur) opgehoogd met 5 dB, die van de nacht (van 23 tot 7 uur) met 10 dB. Zo komt een L_{day} , $L_{evening}$ en L_{night} tot stand. Zo is voor elke dag in de meetperiode de gemeten L_{den} -waarde (oranje) bepaald volgens:

$$(1) \quad L_{den} = 10 \cdot \log \frac{12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}}{10}} + 12 \cdot 10^{\frac{L_{night}}{10}}}{24}$$

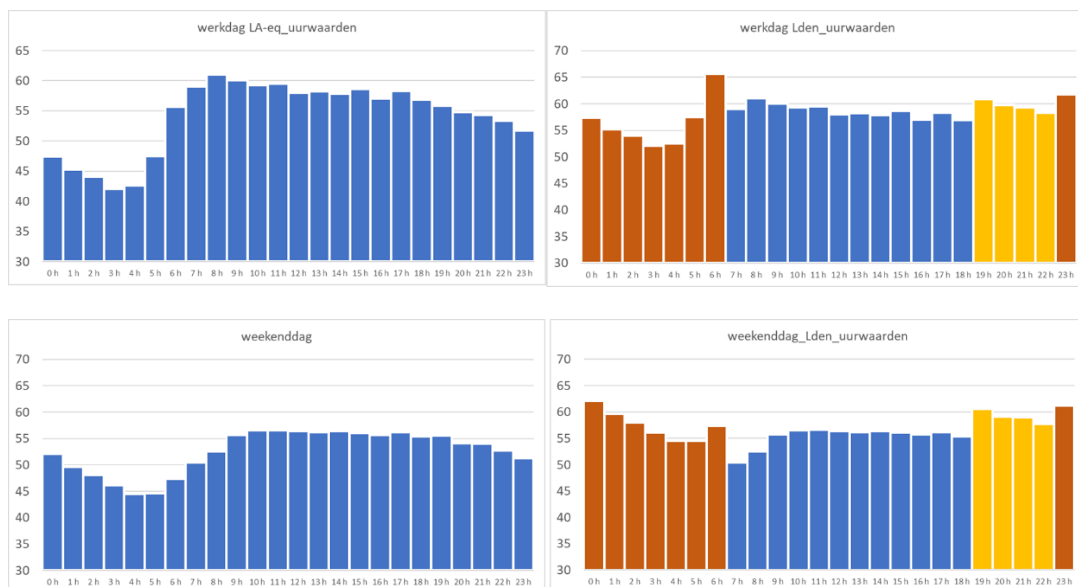
Wanneer de geluidniveaus over de gehele meetperiode worden gemiddeld, en rekening gehouden wordt met een aandeel van werk- en weekenddagen in de verhouding 5 staat tot 2, is de L_{den} bij Maliebaan 52A gelijk aan 61,0 dB.



figuur 14

De dagwaarden van $L_{A,eq}$ en L_{den} die volgt uit de metingen bij Maliebaan 52A

Om inzicht te geven in het verloop van de geluidniveaus gedurende de dag, zijn de gemiddelde uurwaarden ($L_{A,eq}$) bepaald voor de werkdagen en de weekenddagen. Hieruit volgt dat de geluidniveaus het hoogst zijn tijdens de ochtendspits op werkdagen (tussen 8 en 9 uur). In het weekend is er geen sprake van een spits en zijn de geluidniveaus over de hele dagperiode gelijk. Rechts in figuur 15 is aangegeven wat de uurwaarden zijn wanneer rekening gehouden wordt met een toeslag voor de avonduren (geel) en de nachturen (rood). Hieruit volgt dat de geluidniveaus aan het einde van de nachtperiode (begin van de ochtendspits) veel bijdragen aan de waarde voor L_{night} . Voor de weekenddagen valt op dat de $L_{evening}$ en L_{night} gemiddeld hoger zijn dan de waarden voor L_{day} .



figuur 15

Gemiddelde uurwaarden voor een werkdag en een weekenddag (links). Rechts een weergave van de uurwaarden waarbij rekening gehouden wordt met de toeslag voor de avond (+5 dB) en de nacht (+10 dB).

4 Trillingsmetingen

4.1 Metingen

De adressen van de metingen, het vertrek waar de trillingsapparatuur heeft gestaan en de meetperiode zijn in tabel II weergegeven.

tabel II *Meetlocaties en periode van de trillingsmetingen*

adres	meternummer	locatie	Startdatum	einddatum
Maliebaan 52A	01	begane grondvloer, maaiveldniveau 1)	09-09-2020	16-09-2020
Maliebaan 54	10164	begane grondvloer, maaiveldniveau	09-09-2020	16-09-2020
Maliebaan 111	02	beletage woonkamer	11-09-2020	16-09-2020
Maliebaan 113	10030	beletage, in erker	11-09-2020	16-09-2020
Maliebaan 35	01	souterrain, circa 1 m onder maaiveld	16-09-2020	23-09-2020
Maliebaan 37	10164	begane grond, in erker	16-09-2020	23-09-2020
Maliebaan 104	02	1 ^e verdieping	16-09-2020	23-09-2020
Maliebaan 104	10030	begane grond	16-09-2020	23-09-2020

Alle meetsystemen zijn tegen de voorgevel geplaatst om de afstand tot aan de ventweg zo klein mogelijk te houden. Bij de Maliebaan 52A is zowel op de vloer nabij de gevel gemeten als in het midden van het vloerveld. Dit heeft simultaan plaatsgevonden met een extra sensor.

De woningen Maliebaan 52A, 54 en 104 zijn gekozen omdat hier een drempel ligt die leidt tot extra trillingen.

Op 15 september heeft een vrachtwagen rond gereden tussen circa 9:00 u en 12:30 u. Voor de adressen Maliebaan 52A, 54, 111 en 113 zijn de passages van de vrachtwagen vastgelegd.

4.2 Onderzoeksmethode

De trillingsopnemers zijn tri-axiaal. De opnemers zijn zo geplaatst dat de Y-richting haaks op de weg is, de X-richting hier parallel aan en de Z-richting is verticaal. Deze metingen hebben plaatsgevonden met vier meetsystemen van het merk Acoem 01dB type Orion. Deze meetsystemen zijn uitgerust met interne tri-axiale versnellingsopnemer. Bij één meetsysteem is een tri-axiale externe snelheidsopnemer van het merk Sinus type 9022 gebruikt. Dit meetsysteem is gebruikt bij de woning Maliebaan 52A om het verschil tussen midden vloerveld en de vloer nabij de gevel vast te leggen.



figuur 16 *Trillingsapparatuur met een tri-axiale versnellingsopnemer.*

Deze meter heeft tijdens de metingen op de Maliebaan 52A een storing gegeven op het Y kanaal van de interne sensor. Dit heeft geen invloed gehad op de overige kanalen zodat de meting (met uitzondering van dit kanaal) bruikbaar waren. Later is dit systeem bij de Maliebaan 35 ingezet maar daarbij is alleen de goed functionerende externe sensor gebruikt.

De meetsystemen meten continu gedurende intervallen van 30 seconden de effectieve waarde van de trillingsnelheid conform de DIN4251-2 [3] en de Peak Particle Value (PPV). Deze meetgegevens zijn vergelijkbaar de met $V_{eff,max}$ conform de SBR richtlijn deel B [5] respectievelijk V_{top} conform de SBR richtlijn deel A .

4.3 Beoordelingscriteria trillingen

Schade aan bouwwerken

De beoordelingscriteria voor schade aan gebouwen zijn ontleend aan de SBR-Trillingsrichtlijn A: *schade aan bouwwerken* [4][1].

Bouwwerken en onderdelen van bouwwerken zijn ingedeeld in twee verschillende categorieën die gebaseerd zijn op de constructiewijze:

Categorie 1:

- 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 zijnde, die bestaan uit metselwerk zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke.

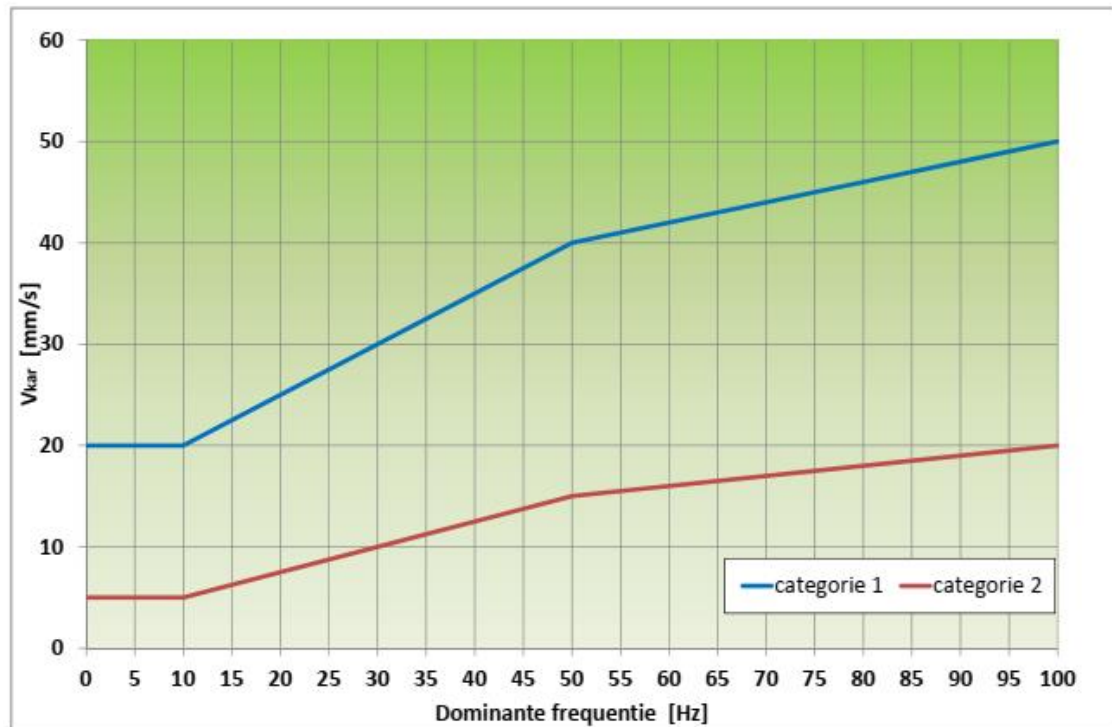
Categorie 2:

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

Naast de bouwkundige kenmerken van het gebouw is ook het type trillingen van belang. In dit geval worden de trillingen vanwege wegverkeer beschouwd als een bron die herhaald kortdurend trillingen veroorzaakt. Voor herhaald kortdurende trillingen zijn verscherpte grenswaarden van toepassing, er wordt een partiële veiligheidsfactor gehanteerd van $Y_1=1,5$ voor de draagconstructie en onderdelen en $Y_1=1,6$ ten aanzien van de fundering.

Voor een normale bouwkundige staat geldt een veiligheidsfactor $Y_s=1,0$ en voor een gevoelige bouwkundige staat en voor monumenten geldt een veiligheidsfactor $Y_s=1,7$

In figuur 17 zijn de grenswaarden voor beide categorieën gebouwen opgenomen.



figuur 17

Karakteristieke grenswaarden begane grond voor de twee categorieën bouwwerken.

Fundering

Van belang voor de kans op schade is ook de fundering van het gebouw. Volgens de SBR zijn de volgende funderingen trillingsgevoelig:

- 1 funderingen op staal op verdichtbaar of verkneedbaar bodemmateriaal, met een gesommeerde dikte van de lagen van 0,1 m of meer, met uitzondering van funderingen op zeer vaste zandlagen. De funderingselementen op staal kunnen poeren, stroken of platen zijn;
- 2 funderingen met niet-grondverdringende palen zoals avegaarpalen en boorpalen;
- 3 funderingen met grondverdringende kleefpalen;
- 4 funderingen met grondverdringende palen die met een druktechniek in de bodem zijn gebracht met uitzondering van funderingen op zeer vaste zandlagen.

Voor bovenstaande funderingen is een aparte beoordeling van de trillingen nodig in verband met de kans op zettingen. Er gelden zowel eisen voor de toelaatbare trillingsversnelling als de toelaatbare trillingssnelheid. Aan beide eisen dient te worden voldaan

Voor trillingsgevoelige funderingen geldt een karakteristieke waarde voor de trillingsversnelling $a_{kar} = 1 \text{ m/s}^2$.

De karakteristieke waarde van de toelaatbare trillingssnelheid V_{kar} wordt berekend volgens de formule:

$$(2) \quad V_{kar} = 10 \times C_D$$

De factor C_D wordt bepaald uit de dikte van de zettingsgevoelige laag op basis van de formule:

$$(3) \quad C_D = 1 + \frac{(8-H)}{7}$$

Hierin is:

H de dikte van de zettingsgevoelige laag met een maximale waarde van 8 m;

C_D factor voor de laagdikte.

De factor C_D mag niet groter dan 2 zijn.

Van toepassing zijn de grenswaarden die worden gemeten op het begane grondniveau.

Hinder voor personen

Bij het beoordelen van trillingshinder voor personen in gebouwen worden in eerste instantie de trillingen van vloervelden beschouwd. De beoordelingscriteria die hierbij zijn aangehouden, zijn ontleend aan de SBR-richtlijn B: *Hinder voor personen in gebouwen door trillingen*.

Voor het beoordelen van de trillingen is de functie van het gebouw of de ruimte in het gebouw en het type trillingen van belang. De trillingen worden beoordeeld op het frequentiegebied van 1 tot en met 100 Hz. De streefwaarden worden uitgedrukt in een gewogen trillingssnelheid. In de onderstaande formule is de weegfunctie weergegeven:

$$(4) \quad |H_v(f)| = \frac{1}{v_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}}$$

waarin:

f : frequentie [Hz]

f_0 : referentie-frequentie (5,6 Hz)

v_0 : trillingssnelheid [mm/s]

Praktisch gezien houdt de weging in dat in het frequentiegebied van 1 Hz tot 16 Hz een reductie plaatsvindt, en in het frequentiegebied van 16 Hz tot en met 100 Hz nagenoeg geen mindering van toepassing is. Door middel van integratie wordt het gemeten signaal omgezet in een voortschrijdende effectieve waarde. In de onderstaande tabel zijn de streefwaarden voor deze gewogen trillingssnelheden $V_{\text{eff,max}}$ weergegeven, deze waarde is dimensieloos.

Wettelijk gezien zijn er geen grenswaarden van toepassing voor bestaande bouw. De streefwaarden uit de SBR worden overgenomen ter beoordeling (tabel III).

tabel III *streefwaarden voor herhaald voorkomende trillingen voor woningen in bestaande situaties*

	dag en avond	nacht
A1. maximale trillingssterkte, v_{max} [.]	0,4	0,2
A2. hoogste maximale trillingssterkte, v_{max} [.]	0,8	0,4
A3. trillingssterkte over beoordelingsperiode, v_{per} [.]	0,1	0,1

Trillingen dienen beschouwd te worden indien streefwaarde A1 overschreden wordt. Trillingssterktes tot aan streefwaarde A2 zijn toelaatbaar mits de trillingssterkte voor de periode A3 niet overschreden wordt. Trillingen sterker dan A2 zijn niet toelaatbaar.

De streefwaarde voor de nacht is maatgevend. Omdat vrachtvervoer ook in de nacht voorkomt, wordt getoetst aan de streefwaarden voor de nachtperiode.

Bijlage 5 van de SBR richtlijn B geeft een kwalificatie voor de optredende trillingssterkte. Deze kwalificatie is opgenomen in tabel IV.

tabel IV *hinderkwalificatie voor weg- en railverkeer*

$V_{\text{eff,max}} [-]$	hinderkwalificatie
< 0,1	geen hinder
0,1 - 0,2	weinig hinder
0,2 – 0,8	matige hinder
0,8 – 3,2	hinder
> 3,2	ernstige hinder

Voor bestaande situatie stelt de SBR richtlijn dat moet worden gestreefd naar weinig hinder maar dat matige hinder toelaatbaar is.

Statistische analyse

De SBR richtlijnen A en B geven een methode aan voor een statistisch verwerking van de meetresultaten. Het doel hiervan is dat de toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$ een waarde uitdrukt met een betrouwbaarheid van 95%. De kans op overschrijden van deze waarde bedraagt dan 5%. De waarde van $V_{\text{eff,max,stat}}$ wordt deels bepaald door het gemiddelde van de gemeten trillingssterktes, en deels door de afwijking tussen de gemeten waarden in de vorm van de standaarddeviatie. Hoe groter de onderlinge afwijking tussen de passages, hoe groter de waarde van $V_{\text{eff,max,stat}}$. Waarden die minder dan de helft van de hoogst gemeten waarde bedragen worden niet meegenomen in de analyse. Bij 15 valide metingen wordt de kleinste afwijking berekend.

Bij metingen komt het ook voor dat de 50% hoogste waarden bestaan uit één of twee metingen. In dat geval is een statistische analyse niet mogelijk. Dan wordt uitgegaan van de hoogst gemeten waarde als 'worst case' scenario. Zeker bij langere meetperioden zal dan de hoogst gemeten waarden een overschrijdingskans van minder dan 5% vertegenwoordigen. Immers alle andere passages lagen zoveel beduidend lager, dat deze niet meer meedoen in de analyse.

4.4 Resultaten metingen

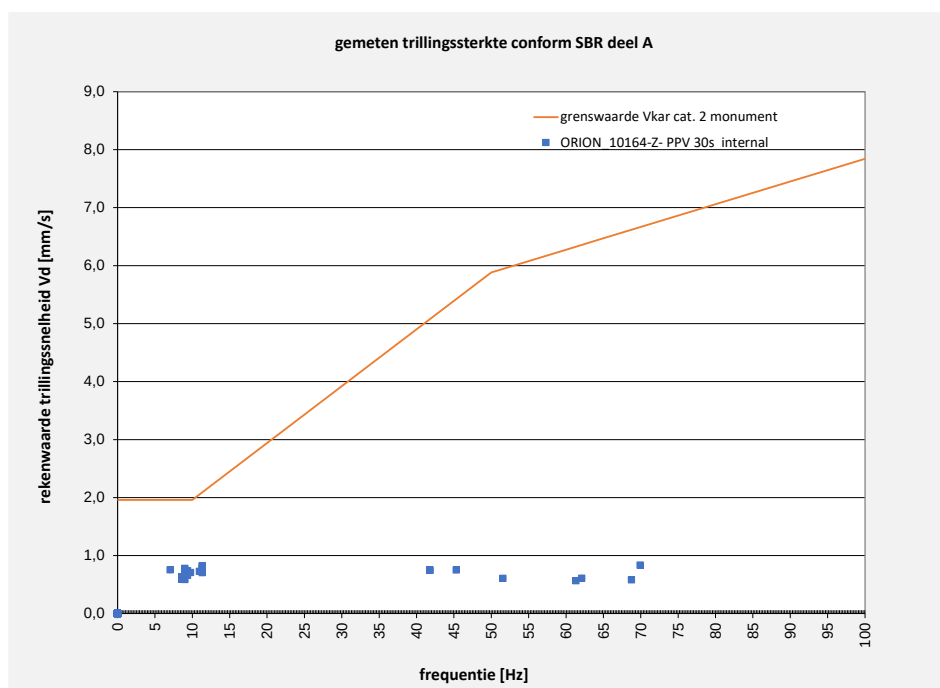
4.4.1 Schade vanwege trillingen

Het onderzoek naar mogelijke schade aan gebouwen vanwege trillingen vraagt om gegevens die niet direct voorhanden zijn, zoals het type fundering en de samenstelling van de ondergrond. Aangezien maar bij enkele woningen is gemeten, en de woningen natuurlijk ook onderling verschillen, is het lastig hier iets algemeen over te zeggen.

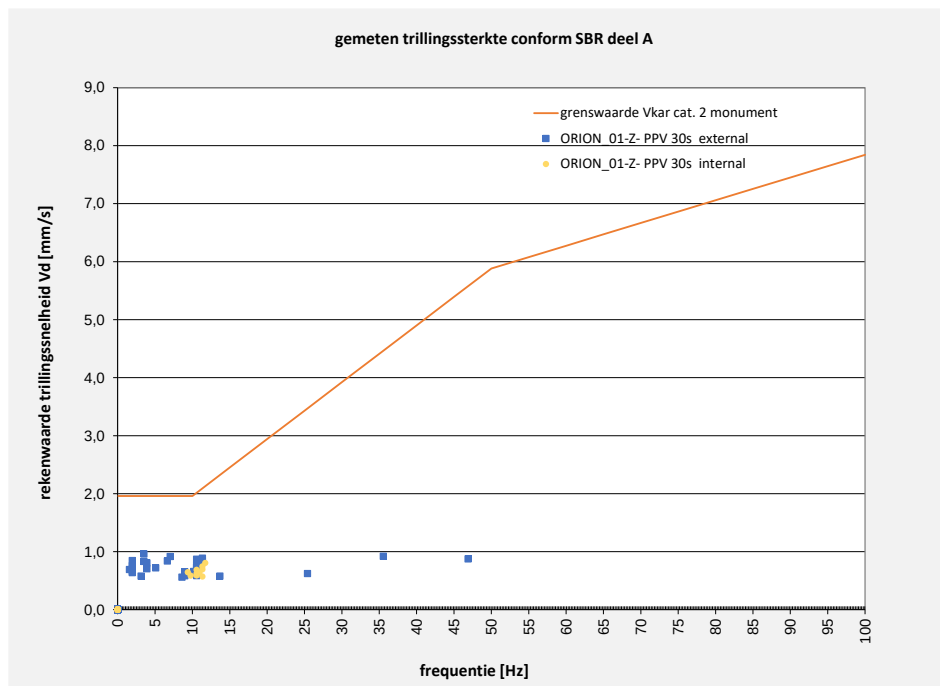
De beoordeling van trillingen die schade veroorzaken gaat uit van incidentele piekwaarden. Deze zullen qua hoogte niet veranderen omdat het ook nu al mogelijk is voor vrachtverkeer om over de

ventweg te rijden. Wel kan worden gesteld dat de frequentie van deze pieken zal toenemen aangezien de verkeersintensiteit zal toenemen en al het vrachtverkeer gebruik dient te maken van de ventwegen.

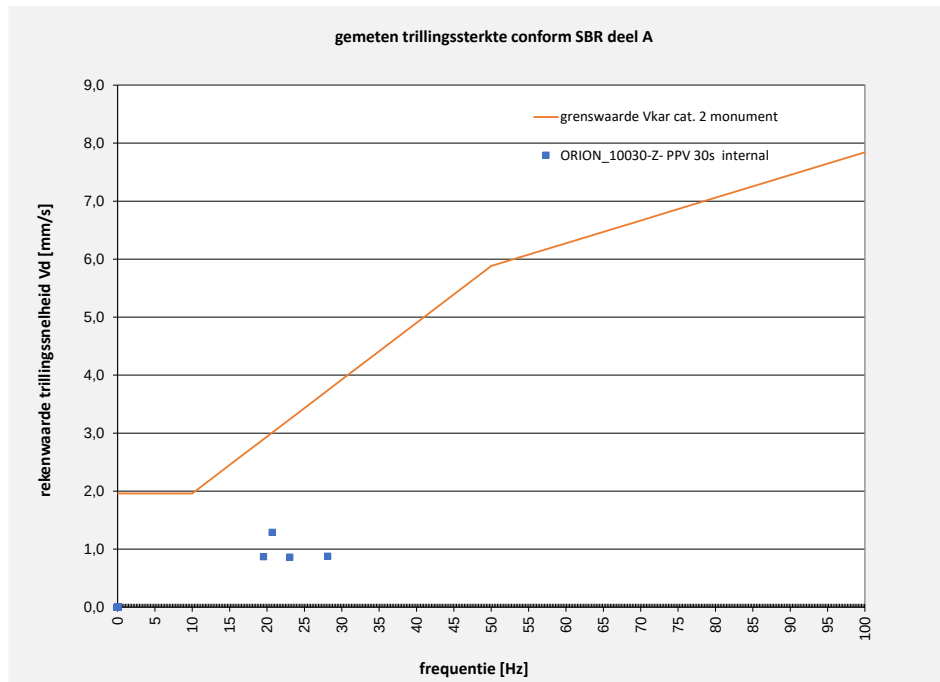
Om inzicht te krijgen in hoeverre de gemeten piekwaarden zich verhouden tot de grenswaarde zoals genoemd in hoofdstuk 4.3, zijn de meetwaarden tijdens de passage van de vrachtwagen op 15 september in onderstaande grafiek geplot voor de woningen Maliebaan 54 en 52A. Deze woningen zijn opgetrokken uit metselwerk, het betreft dus categorie 2. Ook is rekening gehouden met een partiële factor van 1,5 voor herhaald voorkomende trillingen en met een veiligheidsfactor van 1,7 voor monumenten (de hier gemeten woningen betreffen geen monumenten maar deze zijn wel aanwezig op de Maliebaan). Aangezien de hier gemeten waarden weinig variatie hebben, is het niet nodig de meetresultaten nog statistisch te analyseren.



figuur 18 *gemeten trillingsterkte in frequentiedomein tgv passage vrachtwagen Maliebaan 54 in verticale richting*



figuur 19 *gemeten trillingsterkte in frequentiedomein tgv passage vrachtwagen Maliebaan 52A in verticale richting*



figuur 20 *gemeten trillingsterkte in frequentiedomein tgv passage vrachtwagen Maliebaan 111 in verticale richting*

In bovenstaande figuur 18 tot en met figuur 20 zijn de piekwaarden van de trillingsniveaus weergegeven tijdens de passage van de vrachtwagen. Deze gemeten niveaus zijn gecorrigeerd met een veiligheidsfactor van Y_v van 1,6 (paragraaf 9.3 SBR richtlijn deel A [4]) omdat het hier een indicatieve meting betreft op één meetpunt per woning.

toetsing hoofddraagconstructie

De grenswaarde is afgeleid aan de hand van de grenswaarden categorie 2 (figuur 17) gecorrigeerd voor de veiligheidsfactor voor herhaald voorkomende trillingen Y_t van 1,5 maal de correctiefactor Y_s voor monumenten van 1,7. De grenswaarden zijn dus een factor 2,5 verminderd.

Uit de metingen blijkt dat in geen enkel geval de grenswaarden voor schade aan de constructie wordt overschreden.

De massa van deze vrachtwagen inclusief 5 m³ zand als lading bedroeg circa 16.000 kg. Een zwaardere combinatie zal hogere trillingsniveaus kunnen veroorzaken, maar deze zullen een factor 2 à 3 hoger moeten zijn om de grenswaarde te overschrijden. Daarbij wordt opgemerkt dat bij zwaardere combinaties de aslast niet hoger zal zijn dan bij de hier gemeten passages. Ook is de rijsnelheid beperkt vanwege de breedte van de weg. De kans dat de grenswaarden worden overschreden door een vrachtwagen zijn vrij klein.

toetsing kans op zettingen

Aangezien er sprake is van monumenten en het funderingstype niet bekend is, moeten wij uitgaan van een trillingsgevoelige fundering. Voor de beoordeling op kans van zettingen van de fundering moet conform de SBR richtlijn A getoetst worden op zowel de trillingsnelheid V_{kar} als op de versnelling a_{kar} . De toelaatbare trillingsnelheid V_{kar} is afhankelijk van de dikte van de zettingsgevoelige laag. Als we uitgaan van een 'worst case' scenario (8 m dikke samendrukbare ondergrond) dan is een V_{kar} tot 10 mm/s toelaatbaar. Deze grenswaarde wordt hier niet overschreden.

Daarbij geldt ook een eis met betrekking tot het maximale versnellingsniveau van $a_{kar} = 1 \text{ m/s}^2$. Bij de hier gemeten dominante frequentie van 10 Hz is dit gelijk aan een snelheidsniveau van 15,9 mm/s. Bij de hoogst gemeten frequentie van 70 Hz bedraagt dit 2,2 mm/s. Ook deze waarde wordt niet overschreden. De kans op zettingen vanwege trillingen veroorzaakt door een passerende vrachtwagen is als zeer klein te beschouwen.

NB: De meetresultaten van de passage van de vrachtwagen bij de woningen Maliebaan 113 gaven lagere waarden zoals ook blijkt uit de beoordeling trillingshinder. Deze metingen zijn niet verder beoordeeld op de kans op schade.

4.4.2 Trillingshinder

Huidige situatie

Gemeten is bij diverse woningen voor een periode van in totaal twee weken vanaf 9 september 2020 tot en met 23 september 2020. De meetlocaties zijn benoemd in tabel II. Voor de beoordeling van de huidige situatie zijn alleen de metingen in de nachtperiode beoordeeld, van 23:00 uur tot 7:00 uur omdat daarbuiten teveel verstoring vanuit de woningen zelf plaatsvond.

Van de set metingen zijn de hoogste waarden gesorteerd. Vervolgens is beoordeeld of de hoogste meetwaarde een valide meting betrof. Metingen die door verstoring zijn veroorzaakt zijn uit de meetset verwijderd.

Ook zijn in sommige gevallen verstoringen uit de meetset verwijderd door deze tussen de naastliggende woningen te correleren. Op het moment dat er in één woning een trilling wordt waargenomen en in de naastliggende woning niet, dan is zeker dat de oorzaak niet het wegverkeer is.

Vervolgens heeft de sortering opnieuw plaatsgevonden en zijn telkens de top 15 hoogste waarden bepaald per meetpunt en per meetrichting.

tabel V

resultaten Maliebaan 52A, meting 9 - 16 september 2020

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,04	0,03	0,12
aantal metingen binnen 50% topwaarde	3	15	9
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,08	0,03	0,12

tabel VI

resultaten Maliebaan 54, meting 9 - 16 september 2020

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,04	0,08	0,13
aantal metingen binnen 50% topwaarde	15	15	4
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,04	0,08	0,20¹⁾

tabel VII

resultaten Maliebaan 111, meting 9 - 16 september 2020

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,11	0,12	0,10
aantal metingen binnen 50% topwaarde	8	4	5
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,11	0,19	0,12

tabel VIII

resultaten Maliebaan 113, meting 11 - 15 september 2020²⁾

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,15	0,11	0,29
aantal metingen binnen 50% topwaarde	12	15	15
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,14	0,11	0,30

tabel IX

resultaten Maliebaan 35, meting 16 - 23 september 2020

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,04	0,03	0,06
aantal metingen binnen 50% topwaarde	15	15	15
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,04	0,03	0,06

tabel X

resultaten Maliebaan 37, meting 16 - 23 september 2020

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,07	0,07	0,20
aantal metingen binnen 50% topwaarde	5	7	15
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,09	0,08	0,19

tabel XI

resultaten Maliebaan 104, meting 16 - 23 september 2020

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,06	0,18	0,18
aantal metingen binnen 50% topwaarde	15	15	13
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,06	0,16	0,19

1) de afwijkingen tussen nr. 52A en 54 zijn vooral van statistische aard. In werkelijkheid liggen de meetresultaten dicht bij elkaar.

2) na 15 september zijn geen resultaten beschikbaar ivm storing apparatuur

Uit de metingen blijkt dat gedurende de nachtperiode geen sprake is van overschrijding van de streefwaarden uit de SBR deel B [5].

Opmerking:

In tegenstelling tot de norm is gemeten op de vloer nabij de gevel en niet in het midden van het vloerveld om de invloed van verstoringen in de woning te beperken. Het is mogelijk dat metingen op het midden van het vloerveld iets hoger uitvallen door resonantie van het vloerveld. De ervaring leert dat dit bij kortdurende passages van verkeer meestal weinig effect heeft. Dit blijkt ook uit de meetresultaten bij de Maliebaan 52A waar zowel een opnemer bij de gevel als in het midden van de vloer was geplaatst. De beide opnemers gaven vergelijkbare meetwaarden.

Toekomstige situatie

In Bijlage A zijn de meetresultaten opgenomen voor de metingen tijdens de vrachtwagenpassages op 15 september bij de woningen Maliebaan 52A, 54, 111 en 113. Deze zijn grafisch weergegeven voor de meetperiode tussen 9:00 en 13:00 uur. De hier weergegeven waarden betreft de voortschrijdend effectieve waarde $V_{\text{eff,max}}$ zoals beschreven in de SBR deel B: *Hinder voor personen in gebouwen door trillingen*. In de grafieken zijn alle metingen gedurende de meetduur weergegeven.

Tijdens de metingen zijn enkele pieken gemeten die niet gelijktijdig bij beide woningen werden geregistreerd. Dit betreffen dus verstoringen. Deze metingen zijn in de uiteindelijke uitwerking niet meegenomen.

In de onderstaande tabel XII tot en met tabel XV zijn de statistisch verwerkte meetresultaten opgenomen voor de beoordeling van trillingshinder tijdens de passage van de vrachtwagen op 15 september 2020 conform de methode SBR deel B.[5]

tabel XII *resultaten Maliebaan 52A, meting 15 september 2020*

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,09	0,07	0,27
aantal metingen binnen 50% topwaarde	9	15	15
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,10	0,07	0,28

tabel XIII *resultaten Maliebaan 54, meting 15 september 2020*

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,06	0,08	0,22
aantal metingen binnen 50% topwaarde	15	15	15
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,06	0,07	0,22

tabel XIV *resultaten Maliebaan 111, meting 15 september 2020*

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,14	0,19	0,18
aantal metingen binnen 50% topwaarde	15	9	15
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,14	0,22	0,16

tabel XV *resultaten Maliebaan 113, meting 15 september 2020*

	X	Y	Z
maximaal gemeten trillingssterkte $V_{\text{eff,max}}$	0,13	0,11	0,38
aantal metingen binnen 50% topwaarde	9	14	13
toetswaarde $V_{\text{eff,max,stat}}$	0,14	0,11	0,38

Hoewel de metingen overdag hebben plaatsgevonden kan worden veronderstelt dat dergelijke niveaus ook in de (maatgevende) nachtperiode kunnen plaatsvinden. Van toepassing zijn dan de streefwaarden uit tabel III. Overschrijdingen van streefwaarde A1 zijn geconstateerd bij alle woningen. Er is geen sprake van een overschrijding van streefwaarde A2. Op het moment dat streefwaarde A1 wordt overschreden dient ook te worden getoetst op streefwaarde A3. Deze streefwaarde is afhankelijk van het aantal keren dat een relevante trilling optreedt en is dus afhankelijk van de toekomstige verkeersintensiteit. De hinder neemt dan toe. Het is dus mogelijk dat in de toekomstige situatie ook de streefwaarden voor hinder overschreden worden. Dit is afhankelijk van het aantal passages van met name het vrachtverkeer maar verschilt tussen de woningen.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Geluidmetingen

Geluidmetingen aan de verkeersstromen op de Maliebaan, de verkeerstellingen en de lange duurmeting bij Maliebaan 52A zijn gebruikt door de gemeente Utrecht om het geluidmodel te valideren.

In geluidberekeningen volgens het Reken- en meetvoorschrift wordt de geluidemissie van passerende voertuigen bepaald door het type voertuig, de snelheid en de wegverharding waar het over rijdt. Aan het asfalt op de hoofdrijbaan van de Maliebaan en de klinkerverharding op de ventwegen zijn geluidmetingen aan de akoestische wegdekqualiteit uitgevoerd. Hieruit blijkt dat door de huidige staat van de klinkerverharding de passageniveaus hoger zijn dan modelmatig wordt berekend. De eigenschappen van het asfalt komen nagenoeg overeen met die in het model. Omdat de hoeveelheid verkeer en snelheid veel lager is dan die op de hoofdrijbaan, is de geluidemissie van de gehele voertuigstroom op de hoofdrijbaan hoger in de huidige situatie. Wanneer extra vrachtwagenpassages op de ventwegen aanwezig zijn, blijkt dat de geluidemissie en daarmee de geluidbelasting bij de gevel sterk toeneemt. Meer vrachtverkeer in combinatie met een relatief lawaaiige klinkerverharding kan zorgen voor hogere geluidbelastingen dan het model berekent.

5.2 Trillingsmetingen

Bij diverse woningen aan de Maliebaan te Utrecht zijn trillingen gemeten vanwege passerend wegverkeer. Hierbij is zowel het passerend verkeer gemeten als door ons gecontroleerde vrachtwagenpassages. Uit de metingen is gebleken dat de kans op schade aan de gebouwen of kans op zettingen van de fundering conform de SBR richtlijn A *Schade aan bouwwerken* zeer klein is. Verder is gebleken dat er in de huidige situatie wordt voldaan aan de streefwaarden uit de SBR richtlijn *Hinder voor personen in gebouwen*.

5.3 Aanbeveling

Voor de toekomstige situatie is het sterk aan te bevelen aandacht te schenken aan de vlakheid van de wegverharding op de ventwegen. Dit zal zowel voor geluid als voor trillingen een positief effect hebben. Dat kan door de huidige gebakken klinkers te vervangen door een nieuwe verharding met aandacht voor een stabiele wegfundering. Daarbij moet het optreden van onvlakheden zoveel mogelijk worden vermeden. Bij voorkeur worden er geen drempels aangebracht en moeten onderhoudswerkzaamheden in de toekomst zoals het graven en herstraten zoveel mogelijk worden vermeden.

In de toekomstige situatie zal na de reconstructie van de Maliebaan de hoeveelheid verkeer op de ventwegen toenemen. Het is niet de verwachting dat, indien het wegdek voldoende vlak is, de kans op schade aan de belendende gebouwen ten gevolge van trillingen zal toenemen.

Een ander aandachtspunt is de aanwezigheid van (zwaar) vrachtverkeer. Het is gebleken dat vrachtwagens ook in beperkte aantallen significante invloed hebben op de geluidbelasting. Daarnaast heeft het straatwerk meer te lijden onder de zware belasting en heeft dat weer invloed op de technische levensduur en onderhoudsstaat van de verharding. Bij meer vrachtverkeer over de Maliebaan zal het aantal voelbare trillingen toenemen en daarmee ook de hinder. Of daarmee ook de streefwaarde wordt overschreden is afhankelijk van het aantal vrachtwagenpassages en zal per woning verschillen.

Er wordt opgemerkt dat de SBR richtlijn B stelt dat in de gewijzigde situatie de trillingsniveaus niet mogen toenemen. Dit betekent dat ondanks de hogere verkeersintensiteit het maximale trillingsniveau en het gemiddelde trillingsniveau niet mogen toenemen.

6 Literatuur

- [1] Reken- en meetvoorschrift geluid 2012 (bijlage III), Den Haag, Staatscourant 2012 nr. 11810, 27 juni 2012;
- [2] ISO 11819-1, "Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: The Statistical Pass-By method", 1997;
- [3] DIN 4150-2:1999-06, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf menschen in Gebäuden;
- [4] SBR Trillingsrichtlijn A, Schade aan bouwwerken, november 2017;
- [5] SBR deel B, Hinder voor personen in gebouwen, meet- en beoordelingsrichtlijn, augustus 2002.

Bijlage A

Plot meetresultaten trillingen tijdens vrachtwagenpassage

