

Trillingshinder elektrische bussen

Onderzoek naar de trillingshinder als gevolg
van de inzet van elektrische bussen in de
gemeente Utrecht

Sweco Nederland B.V.	30129769
Onderwerp	Trillingshinder Elektrische bussen Utrecht
Projectnummer	51015765
Klant	Gemeente Utrecht
Auteurs	Wouter van Haperen, Fabio Neijts, Vincent de Haas, Lout Kuiper, Rob Cornelis, Henk Nanninga
Gecontroleerd door	Henk Nanninga
Vrijgegeven door	Willem Scheper
Datum	19 okt 2023
Versie	DEFINITIEF
Document referentie	Rapportage Trillingshinder Elektrische bussen Utrecht

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Onderzoeksvraag	4
1.3	Onderzoeksmethodiek	5
1.4	Leeswijzer	5
2	Benchmark	6
2.1	Eerdere studies	6
2.2	Resultaten uit eerdere studies	7
2.3	Conclusies	8
3	Quicksan potentiële hinderlocaties	9
3.1	Risicoanalyse potentiële hinderlocaties	9
3.1.1	Methode	9
3.1.2	Databronnen	9
3.1.3	Infrastructurele- en functionele kernmerken	10
3.1.4	Factoren die niet zijn meegenomen	11
3.2	Resultaten	12
4	Trillingsonderzoek	14
4.1	Methodiek	14
4.2	Normstelling	15
4.2.1	Trillingsschade (SBR-A)	15
4.2.2	Trillingshinder (SBR-B)	16
4.3	Meetlocaties	18
4.4	Materieelinzet	20
4.5	Resultaten	21
4.5.1	SBR-A toets (trilingsschade)	21
4.5.2	SBR-B toets (trillingshinder)	21
	Toelichting meting in de Burgemeester Reigerstraat	22
	Toelichting meting in de Homeruslaan	22
	Toelichting meting in de Willem van Noortstraat	22
	Toelichting meting in de Croeselaan	23
5	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	25
	Bijlage 1: Benchmark-locaties	31
	Bijlage 2: Risicokaart	36
	Bijlage 3: Resultaten bemande metingen	37
	Bijlage 4: Resultaten onbemande metingen	39
	Bijlage 5: Beschrijving meetlocaties (geanonimiseerd)	41

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Mobiliteit is meer dan alleen het faciliteren van verschillende vervoerswijzen om te zorgen dat bestemmingen bereikbaar zijn en dat inwoners en bezoekers mobiel zijn. Mobiliteit dient ook bij te dragen aan het creëren van een prettige leefomgeving. Het is daarom van belang dat mobiliteit geen afbreuk doet aan deze prettige leefomgeving.

Binnen de gemeente Utrecht veroorzaakt zwaar verkeer, waaronder ook stads- en streekbussen echter overlast, onder andere in de vorm van trillingshinder. Deze overlast lijkt in de afgelopen tijd met de toename van elektrische bussen te zijn toegenomen, hetgeen ook blijkt uit een toename van het aantal klachten. Daarnaast zijn er ook toenemende meldingen van schade aan drempels door (waarschijnlijk) elektrische bussen. Mogelijk dat daarbij niet alleen de drempels, maar ook de bussen schade oplopen.

Om de mobiliteit in Utrecht verder te verduurzamen heeft de OV-alliantie, bestaande uit de provincie en de gemeente Utrecht, als doel om in 2028 de gehele busvloot zero emissie (hierna: ZE) te laten zijn. Zowel elektrische bussen alsook bussen die rijden op waterstof vallen onder deze categorie. De gemeente wil voorkomen dat de leefomgeving en de weginrichting (verder) wordt geschaad door de toename van het aantal ZE-bussen en zo de klachten en meldingen toenemen.

1.2 Onderzoeksvraag

In opdracht van de gemeente en de provincie Utrecht is door Sweco een onderzoek uitgevoerd naar de trillingshinder die veroorzaakt wordt door bussen binnen de gemeente. Het onderzoek geeft antwoord op de vraag wat de consequenties zijn van de inzet van ZE-bussen op de bestaande busroutes in de stad Utrecht. Het doel van dit onderzoek is het objectief vaststellen of er volgens de normstelling sprake is van trillingshinder. Aanvullend zijn voorstellen voor oplossingen aangedragen om trillingshinder en schades te voorkomen danwel te verminderen.

Daarnaast worden de meetresultaten gebruikt als input voor het in kaart brengen van de risicogebieden voor trillingen door (elektrische) bussen in de stad Utrecht om zo een beeld te krijgen van de mogelijke omvang van het probleem.

1.3 Onderzoeksmethodiek

Het onderzoek is opgedeeld in drie onderdelen, namelijk een benchmark naar onderzoeksresultaten uit vergelijkbare studies, een quickscan naar potentiële locaties met trillingshinder en de uitvoer van trillingsmetingen.

1.4 Leeswijzer

Na het inleidende hoofdstuk worden in hoofdstuk 2 eerdere studies naar trillingshinder beschreven in het kader van een benchmark. In hoofdstuk 3 wordt inzicht gegeven in de quickscan die is uitgevoerd om te achterhalen waar potentiële locaties voor trillingshinder zijn. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de uitgevoerde trillingsonderzoeken beschreven. Afsluitend wordt in hoofdstuk 5 de conclusie aangereikt, evenals de aanbevelingen die zijn voortgekomen uit het onderzoek.

2 Benchmark

2.1 Eerdere studies

In meerdere gemeenten zijn -op basis van mogelijke trillingsoverlast door zwaar verkeer (waaronder bussen)- onderzoeken uitgevoerd. Een overzicht van deze onderzoeken is opgenomen in Tabel 1. In Bijlage 1 zijn foto's uit Google Streetview opgenomen die een beeld geven van de situatie op straat.

Tabel 1: Overzicht uitgevoerde studies naar trillingshinder door zwaar verkeer.

Locatie	Aantal meetpunten	Bureau	Jaar	Aanleiding	Lengte meting
Assen, Oostersingel	1	Hanselman	2021	Bussen	10 dagen
Assen, Stationsstraat	1	Hanselman	2021	Bussen	10 dagen
Tuitjenhorn, <u>Koordijk</u>	4	Sweco	2020	Herinrichting	1 week (+) ³
Bovenkarspel, Spoorsingel	2	Sweco	2020	Zwaar verkeer	1 week (+) ³
Haarlem, centrum	8	DGMR	2016	Zwaar verkeer	9-17 dagen
Utrecht, Amsterdamsestraatweg 4 ¹		<u>Movares</u>	2020 + 2022	Herinrichting	2 dagen
Utrecht, 4 locaties ²	4	Sweco	2023	Elektrische bussen	1 week (+) ²
Groningen, Diepenring	9	Fugro	2020	Aanleg brug en intensivering busroutes	2 dagen

¹ inclusief een referentiemeting op de Burg. Reigerstraat, ² locaties zijn Burgemeester Reigerstraat, Willem van Noortstraat, Homeruslaan en Croeselaan, inclusief een bemande meting gedurende één dagdeel ³ inclusief metingen met 2 ingehuurd zware voertuigen

Voor alle onderzoeken geldt dat gebruik is gemaakt van de SBR A (Schade aan Bouwwerken) en SBR B (Hinder voor Personen) (2017) -methodiek.

Voor de meeste locaties is uitgegaan van de huidige situatie, daarnaast is voor de Koordijk in Tuitjenhorn en de Amsterdamsestraatweg in Utrecht ook een berekening uitgevoerd voor een toekomstige situatie met een halvering van de streefwaarden SBR-B. In Groningen is de aanleiding van de metingen een verlegging van een groot aantal buslijnen naar de zogenaamde Diepenring (waardoor sprake is van ongeveer een verdubbeling van het aantal passerende bussen aan de westzijde van het Kattendiep) en de aanleg van een brug over het Schuitendiep in het verlengde van het Gedempte Kattendiep.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor de Amsterdamsestraatweg gebruik is gemaakt van een referentiemeting op de Burg. Reigerstraat om het effect van een nieuwe verkeersdrempel op de Amsterdamsestraatweg te kunnen bepalen. Deze referentiemeting betrof geen vergelijkbare meting in relatie tot de andere trillingsmetingen.

2.2 Resultaten uit eerdere studies

De uitkomsten van de verschillende onderzoeken zijn opgenomen in Tabel 2.

Tabel 2: Overzicht uitgevoerde studies naar trillingshinder door zwaar verkeer.

Studie	SBR-A (schade aan bouwwerken)	SBR-B (hinder voor personen)	Conclusie
Assen, Oostersingel	Niet waarschijnlijk	Mogelijk hinder, maar waarschijnlijk gevolg van ruistrillingen. Uit bemande rit worden streefwaarden niet overschreden	Snelheid bussen heeft zeer geringe invloed op de hoogte van de gemeten trillingen. Streefwaarden worden niet overschreden.
Assen, Stationsstraat	Niet waarschijnlijk	Mogelijk hinder, maar waarschijnlijk gevolg van ruistrillingen. Uit bemande rit worden streefwaarden niet overschreden	Snelheid bussen heeft zeker enige invloed op de hoogte van de gemeten trillingen, mogelijk door putdeksels in wegdek. Streefwaarden worden niet overschreden.
Tuitjenhorn, Koorndijk	Niet waarschijnlijk	Hinder bij sommige meetpunten, na herinrichting is de situatie minimaal gelijk	In de huidige situatie is sprake van hinder; bij de herinrichting neemt dit verder toe.
Bovenkarspel, Spoorsingel	Niet waarschijnlijk	Matige hinder	De lokale weggesteldheid (kuilen en plateaus) veroorzaakt extra trillingen op maaiveld, maar deze trillingen leiden niet tot hogere trillingen in de woningen. Het aanpassen van de weg geeft weinig tot geen trillingsreductie.
Haarlem, centrum	Niet waarschijnlijk	Matige hinder, met uitzondering van één locatie waar de hinderclassificatie balanceert tussen 'matige hinder' en 'hinder'	Behalve voor één locatie wordt de trillingshinder veroorzaakt door passerende lijnbussen. Echter, de trillingen van passerende bussen hoeven niet per se de directe oorzaak van schade aan gebouwen te zijn (maar een indirect gevolg) Verslechterde staat wegdek van invloed op de gemeten trillingsniveaus op de fundaties van woningen. Verwaarloosbaar verschil tussen trillingen door gelede en door ongelede bussen.
Utrecht, Amsterdamsestraatweg en Burg. Reigerstraat	Trillingen lager dan de grenswaarden. Ook verwacht voor de plansituatie.	Trillingswaarden zijn hoger dan de streefwaarde voor nieuwe situaties, maar lager dan streefwaarde voor bestaande situaties.	In plansituatie is geen schade door trillingen van wegverkeer te verwachten.
Groningen, Diepenring	Het risico op schade door trillingen is verwaarloosbaar gering.	Er kan op een aantal plaatsen trillingshinder ontstaan volgens de toetsingscriteria in de SBR-B richtlijn.	Geconcludeerd wordt dat bussen (zowel elektrisch als diesel) –ondanks de forse toename van het busverkeer– niet tot een risico op constructieve schade leidt. Om het risico op hinderbeleving (en daarmee impliciet ook schade) in de toekomst te minimaliseren, zouden de volgende trillings-reducerende maatregelen overwogen kunnen worden (in afnemend effect): 1. Trillingsscherm direct naast de weg aanbrengen. 2. De dynamisch stijfheid (funderingsdikte) onder het asfalt verhogen. 3. Een rijsnelheidsbeperking opleggen. 4. Toepassen van een geogrid in de fundering van de weg. 5. De weglakheid verhogen door asfalt in zeer goede conditie te houden. 6. Een combinatie van de opties is mogelijk. NB: Maatregelen aan de woningen worden daarbij als niet toepasbaar geacht.

2.3 Conclusies

Uit de resultaten van de verschillende onderzoeken blijkt dat de trillingen op de locaties niet alleen ontstaan door hoge rijksnelheden van bussen, maar ook door afwijkingen in het wegdek, zoals; putdeksels, drempels/plateaus of een oneffen of beschadigd wegdek.

Uit de resultaten blijkt dat op alle locaties de schade aan gebouwen (SBR-A) niet waarschijnlijk is c.q. verwaarloosbaar klein en dat hinder voor personen matig tot gering is, maar in alle gevallen (ruim) onder de grenswaarden voor bestaande situaties blijft.

Bij 4 onderzoekslocaties is sprake van een voorgenomen herinrichting. Op basis van de trillingsonderzoeken kan voor deze locaties worden geconcludeerd dat er technisch-inhoudelijk geen bezwaren zijn om de voorgestelde herinrichtingen uit te voeren:

In Tuitjenhorn vindt momenteel een reconstructie plaats. In Bovenkarspel zijn maatregelen getroffen om de omvang van het vrachtverkeer op de Spoorsingel te verminderen, op de Amsterdamsestraatweg in Utrecht worden de herinrichtingsplannen, inclusief de drempelplateaus op dit moment in de markt gezet en in Groningen zijn trillingsschermen geplaatst om de verwachte (toename van de) hinderbeleving als gevolg van de forse toename van het aantal passerende bussen te verminderen, ook al was deze maatregel op basis van de meetresultaten niet noodzakelijk.

3 Quicksan potentiële hinderlocaties

Binnen de inventarisatie is toegewerkt naar een locatieoverzicht van straten die een (potentieel) risico vormen qua trillingshinder. Om tot dit locatieoverzicht van straten te komen is gebruik gemaakt van de gemeentelijke meldingendatabase voor trillingshinder binnen de gemeente Utrecht.

3.1 Risicoanalyse potentiële hinderlocaties

Binnen de bebouwde kom van de gemeente Utrecht is voor alle straten waarover buslijnen rijden een analyse uitgevoerd. Het doel van deze analyse is om een overzicht te geven van locaties die een (potentieel) risico vormen qua trillingshinder, zodat er een beeld ontstaat van het aantal woningen dat mogelijk trillingshinder ervaart door de inzet van (elektrisch) busverkeer.

3.1.1 Methode

De inventarisatie is uitgevoerd aan de hand van een GIS-analyse, waarbij verschillende factoren zijn meegenomen. Voor elk wegvak waar een buslijn overheen rijdt, is een risicoscore berekend. Deze scores zijn gebaseerd op expert judgement welke is opgedaan door eerdere projectervaringen tijdens de uitgevoerde trillingsonderzoeken. Als voorbeeld: tijdens voorgaande onderzoeken bleek dat de aanwezigheid van oneffenheden (drempels, putdeksels, klinkers of een matige staat van onderhoud van het wegdek) een grote invloed heeft op de trillingshinder, net als de mogelijkheid om snel te rijden, de breedte van de rijbaan en de verkeersintensiteit. Al deze onderdelen zijn in de analyse betrokken.

Hoe hoger de score, hoe groter het risico op trillingshinder. Met deze score wordt inzichtelijk gemaakt waar de kans op trillingen het hoogst is voor zowel buslijnen met inzet van ZE-materieel als voor buslijnen met conventioneel materieel. Er is in de analyse geen onderscheid gemaakt tussen de routes waar nu al met ZE-materieel wordt gereden en waar nog niet. Uiteindelijk is het immers de bedoeling dat op alle routes met ZE-materieel wordt gereden.

3.1.2 Databronnen

De inventarisatie is gebaseerd op diverse databronnen die zijn vermeld in Tabel 3. Deze bronnen dienden als input voor de GIS-analyse en vormden de basis voor de beoordeling van de trillingshinder op de busroutes.

Tabel 3: Overzicht van de gebruikte databronnen.

Wat	Databron
Verhardingstype	Data aangeleverd door gemeente
Functie wegvak	Data aangeleverd door gemeente
Gebruik wegvak	VRU – Verkeersmodel Regio Utrecht (aangeleverd door gemeente)
Rijrichting	NWB – Nationaal Wegenbestand
Maximale snelheid	WKD – Wegkenmerkendatabase
Hoeveelheid putten per 100m weglengte	BGT – Basisregistratie Grootchalige Topografie
Minimale afstand tussen een wegvak en een pand met functie wonen	BAG – Basisregistratie Adressen en Gebouwen
Bouwkundige staat van het pand (o.b.v. bouwjaar)	BAG – Basisregistratie Adressen en Gebouwen
Aantal bussen per dag per wegvak	NDOV – Nationale Database Openbaar Vervoer (aangeleverd door OpenOV)

3.1.3 Infrastructurele- en functionele kenmerken

Voor de beoordeling van trillingshinder zijn de infrastructurele en functionele kenmerken van het wegennetwerk binnen Utrecht in kaart gebracht. Deze kenmerken omvatten:

- **Verhardingstype:** In totaal komen er tien unieke verhardingstypen voor in de beoordeelde wegvakken. Dit zijn: asfalt, betonelementen, betonstraatstenen, gebakken klinkers, tegels, beton, cementbeton, epoxy, kunststof en sierbestrating.
- **Functie:** Met het kenmerk functie wordt bepaald of een bijzondere functie aan het wegvak kan worden toegekend. Hierbij is onderscheid gemaakt in busbaan, ov-strook, rijbaan, verkeersdrempel en rotonde. Verkeersdrempel en rotonde scores relatief hoog in vergelijking met de conventionele rijbanen.
- **Gebruik van het wegvak:** Bij het gebruik van het wegvak is de focus gelegd op het passeren van zware motorvoertuigen. Het aantal passages is gebaseerd op cijfers uit het Verkeersmodel Regio Utrecht. Wanneer er per etmaal minder dan 40 zware motorvoertuigen passeren en het aantal passerende bussen meer dan 80 is wordt op basis hiervan een risicoscore gegeven. De beredenering achter deze regel is dat, als er normaliter weinig zware motorvoertuigen passeren, de bewoners de bussen eerder zullen opmerken.
- **Rijrichting:** Met dit kenmerk wordt bepaald of er sprake is van één- of tweerichtingsverkeer. De rijrichting van wegvakken is opgedeeld in heen, beide of onbekend. Als de rijrichting 'heen' is, dan krijgt dat wegvak een hogere risicoscore. Deze keuze is gemaakt omdat een bus sneller zal rijden wanneer deze geen rekening hoeft te houden met tegemoetkomend verkeer.
- **Maximum snelheid:** Wanneer de maximum snelheid hoger is dan 50 km/u krijgt het wegvak in deze categorie de hoogste risicoscore. Een snelheid van 30 km/u tot en met 50 km/u krijgt een matige risicoscore en een snelheid van onder de 30 km/u krijgt een lage risicoscore.
- **Putdeksels:** Uit een eerder onderzoek bleek dit een item te zijn met grote invloed. Om die reden is het aantal putdeksels per wegvak bepaald, waarna dit is teruggerekend naar het aantal putdeksels per 100 meter

lengte van een wegvak. Als een wegvak meer dan tien putdeksels per 100 meter heeft krijgt deze een relatief hoge risicoscore in deze categorie. Tussen de twee en de tien putdeksels krijgt het wegvak een matige risicoscore. Bij minder dan 2 putdeksels krijgt het wegvak een lage risicoscore. *NB: idealiter waren alle oneffenheden in het wegdek in de methodiek opgenomen, maar deze informatie is (met uitzondering van drempels, plateaus en putdeksels) niet aanwezig.*

- Omgevingsfactoren: Naast de kenmerken van het wegennetwerk is ook rekening gehouden met omgevingsfactoren die van invloed kunnen zijn op trillingshinder bij huishoudens. Deze factoren omvatten:
 - *Minimale afstand tot een pand*: Wanneer een wegvak binnen 7 meter van een pand ligt krijgt dit wegvak een hoge risicoscore. Tussen 7 en 15 meter wordt een matige risicoscore toegedeeld. Een afstand van 15 tot 25 meter krijgt het wegvak een lage risicoscore. Als een pand verder dan 25 meter van een wegvak af ligt krijgt dat wegvak geen risicoscore in deze categorie.
 - *Bouwkundige staat van omliggende panden*: Binnen een bufferzone van 20 meter rondom een wegvak is gekeken naar het percentage woningen dat voor 1940 en voor 1970 is gebouwd. Het jaartal van de woningbouw dient als indicatie voor de funderingswijze en is daarom meegenomen in de risicoanalyse. Tot 1940 werd vrijwel uitsluitend gewerkt met houten funderingspalen en tot 1970 was het gebruikelijk om de meeste panden ondiep ('op staal') te funderen.
 - *Aantal bussen per etmaal*: Risicoscores zijn toegedeeld aan wegvakken op basis van het gemiddeld aantal passages per werkdag. (NB: De buslijnen 913 en 565 zijn niet meegenomen in de tellingen. Lijn 913 is een U-flex bus en rijdt op aanvraag. Lijn 565 is niet meegenomen omdat dit een wijkbus is die gereden wordt met kleine voertuigen).

De risicoscore in deze categorie is opgedeeld in 3 subcategorieën. Wanneer er gemiddeld meer dan 160 bussen passeren (meer dan 4 bussen per uur per richting) krijgt een wegvak een hoge risicoscore. Als er tussen de 80 en 160 bussen passeren (2 tot 4 bussen per uur per richting) krijgt een wegvak een matige risicoscore. Een lage risicoscore wordt toegedeeld als er minder dan 80 bussen per dag passeren (minder dan 2 bussen per uur per richting).

3.1.4 Factoren die niet zijn meegenomen

Initieel was het plan om nog drie factoren mee te nemen in de risicoanalyse. Dit zijn de breedte van een wegvak, de aanwezigheid van fietsstroken of aanliggende fietspaden en de afstand van objecten langs de route tot de dichtstbijzijnde bushalte.

Deze factoren zijn uiteindelijk niet meegenomen omdat de effecten hiervan niet eenduidig zijn. Zo zorgt de aanwezigheid van een bushalte ervoor dat een bus langzamer gaat rijden wanneer deze daar gaat stoppen. Echter zal de bus niet altijd bij de halte stoppen. Vooral in de avonduren zal dat minder het geval zijn en zal de bus op normale snelheid (en in stille uren op hoge(re) snelheid dan gemiddeld) langs rijden.

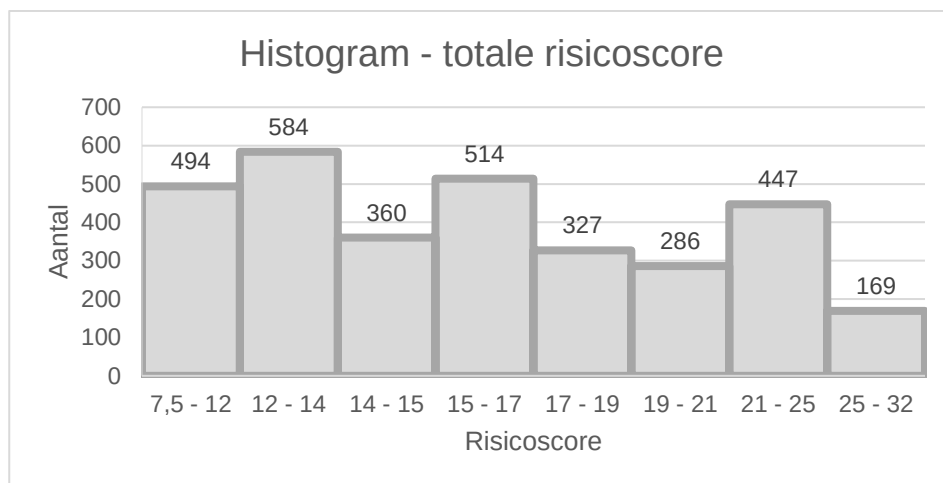
Ook was het niet mogelijk om alle oneffenheden in het wegdek in de methodiek te verdisconteren omdat deze informatie vrijwel niet aanwezig is.

3.2 Resultaten

In totaal zijn er binnen de bebouwde kom van Utrecht bijna 3200 wegvakken. Een wegvak is in het algemeen een weggedeelte van kruising tot kruising. Soms zijn kruisingen als apart wegvak gedefinieerd en soms zijn beide weghelften of zijn busstroken of busbanen als apart wegvak gedefinieerd.

Voor al deze wegvakken zijn de risicoscores van bovengenoemde kenmerken/parameters bij elkaar opgeteld.

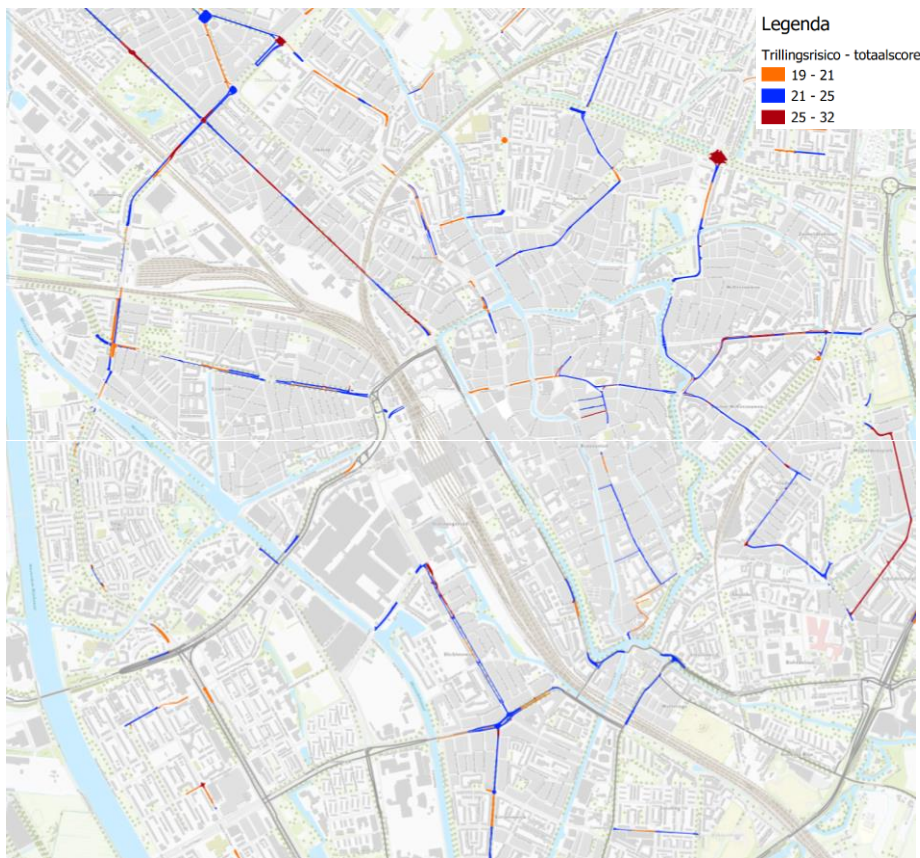
In onderstaande Figuur 1 is de spreiding van de risicoscores te zien. Er zijn relatief weinig wegvakken die een echt hoge risicoscore hebben: in totaal 169 wegvakken (= 5% van het totaal) vallen in de hoogste categorie. Het overgrote deel van de wegvakken heeft een laag tot middelhoog risico.



Figuur 1: Spreiding van de risicoscores o.b.v. de GIS-analyse

Op onderstaande kaart in Figuur 2 is een uitsnede weergegeven van de wegvakken in Utrecht waar buslijnen gebruik van maken met een risicoscore van 19 of hoger. Het gaat om ruim een kwart van alle wegvakken. De kleur van elk wegvak geeft aan hoe groot de (kans op) trillingshinder is op basis van de berekende risicoscores.

- Oranje 286 wegvakken = 9% 706 panden met functie wonen
- Donkerblauw 447 wegvakken = 14% 2448 panden
- Donkerrood 169 wegvakken = 5% 860 panden



Figuur 2: Kaart met berekende risicoscores voor de wegvakken in Utrecht die door buslijnen gebruikt worden – alleen wegvakken met een risicoscore van 19 of hoger worden getoond

De complete kaart is te vinden in Bijlage 2.

Op de kaart valt op dat de hoogste risico's optreden in en rondom het centrum van Utrecht. Dit is te verklaren door o.a. de smalle straten, de oude huizen en het relatief hoge aantal passerende bussen.

De vier locaties waar de metingen hebben plaatsgevonden (zie hoofdstuk 4) behoren allemaal tot de twee hoogste categorieën risicoscores.

Er zijn drie kanttekeningen te plaatsen: de aangeleverde informatie is soms gedateerd (recente reconstructies zijn nog niet verwerkt), informatie van andere wegbeheerders is niet beschikbaar (waardoor spoorwegovergangen en provinciale wegen ontbreken) en routes van buslijnen zijn niet altijd exact ingetekend (waardoor drempels in zijstraten soms ten onrechte aan de busroute worden toegekend of de afstand van de woningen langs een busroute tot de rijloper niet altijd overeenkomt met de werkelijke afstand).

4 Trillingsonderzoek

Op basis van binnengekomen meldingen en klachten is door de gemeente een selectie gemaakt van vier woningen waar de trillingshinder gemeten is. Deze woningen zijn gelegen aan de Burgemeester Reigerstraat, de Croeselaan, de Willem van Noortstraat en de Homeruslaan. De locatie van de woningen wordt in paragraaf 4.3 beschreven.

4.1 Methodiek

Trillingen worden beoordeeld aan de hand van de 'Meet- en beoordelingsrichtlijnen voor trillingen' van de Stichting Bouwresearch Rotterdam (SBR-richtlijnen). De SBR-richtlijnen hebben geen wettelijke status maar uit jurisprudentie blijkt dat deze door de Raad van State worden geaccepteerd. De SBR-richtlijnen bestaan uit drie onderdelen: richtwaarden ter voorkoming van schade aan gebouwen (deel A), richtlijnen ter voorkoming van hinder voor personen in gebouwen (deel B) en richtlijnen ter voorkoming van hinder voor trillingsgevoelige apparatuur (deel C).

De in de huidige situatie optredende trillingssterkten zijn zijn uitgevoerd op de begane grond (in principe ter beoordeling criterium 'schade') en op één van de verdiepingen (in principe ter beoordeling criterium 'hinder'). De optredende trillingssterkten zijn vervolgens getoetst aan de grenswaarden.

Om de trillingssterkten te meten zijn verschillende metingen uitgevoerd:

- Bemande meting gedurende één dagdeel, in en bij de woningen.
- Onbemande meting gedurende één week, in de woningen.

Bemandede meting

Bij de bemandede metingen zijn de meters opgesteld in de 4 woningen. Een van de meters is hierbij opgesteld achter de voordeur in een stijf punt van de constructie, een andere meter op het midden van de verdiepingsvloer. Daarnaast is er geregistreerd hoeveel bussen er langs komen en wat voor type bus dit is (elektrisch of diesel) en welke lengte ze hebben (standaard of geleed, resp. 12 en 18 meter).

De bemandede metingen vonden plaats op 20 juni 2023 op de Homeruslaan en de Willem van Noortstraat en op 21 juni 2023 op de Croeselaan en de Burgemeester Reigerstraat. Bij de Burgemeester Reigerstraat was het niet mogelijk om in een stijf punt van de constructie op de begane grond te meten. De 'begane grond van de woning' ligt namelijk niet gelijk aan het maaiveld. Ook kon -op aanwijzing van de bewoner- niet achter de voordeur op de begane grond worden gemeten. Voor deze locatie kon daardoor geen SBR A-meting worden uitgevoerd.

Lange onbemande meting

De onbemande metingen zijn enkel uitgevoerd op de verdieping van de woningen waar de meeste hinder wordt ervaren. De gebruikte apparatuur is uiterst gevoelig en registreert ook andere activiteiten in de woningen, zoals lopen over de vloer of het dichtslaan van deuren. Het onbemand meten op verdiepingvloeren (op het aspect 'hinder') leidt derhalve tot verstoringen van de waarnemingen.

Door de grafieken echter aan de (geraamde) tijden van passerende bussen te koppelen, worden de trillingen van passerende bussen eruit gefilterd. De kanttekening hierbij is dat het mogelijk is dat op dit exacte moment dus nog steeds verstoring is. Door de grote aantallen passages van bussen en door de analyse te beperken tot een bandbreedte van 10 seconden rondom de berekende passeertijd kan dit effect zoveel mogelijk worden geëlimineerd.

De geraamde tijden van passerende bussen zijn gebaseerd op de daadwerkelijke passages of vertrektijden van bussen bij de omliggende haltes. Deze gegevens zijn door Qbuzz aangeleverd. De passeertijd bij de woningen is ingeschat op basis van de afstand tot beide omliggende haltes. Aangezien er tussen de omliggende haltes en de meetlocaties geen bijzondere omstandigheden zijn (zoals verkeerslichten of kruisingen waar voorrang moet worden gegeven) is deze passeertijd nauwkeurig te bepalen. Alleen bij de Burgemeester Reigerstraat is een spoorwegovergang. Aangezien deze spoorwegovergang nauwelijks wordt gebruikt (alleen door treinen van en naar het Spoorwegmuseum) is de kans op vertraging door passerende treinen minimaal.

Bij de analyse is uitgegaan van een bandbreedte van 10 seconden rondom de berekende passeertijd. Binnen die bandbreedte is vrijwel altijd een moment met een hoger trillingsniveau geconstateerd. Dat moment is gekozen als passeermoment.

4.2 Normstelling

4.2.1 Trillingsschade (SBR-A)

Tijdens de metingen worden trillingssnelheden gemeten op een vast punt van de constructie. Afhankelijk van het aantal en de positie van de meetpunten, is sprake van een indicatieve, beperkte of uitgebreide meting.

Bij een indicatieve meting, waarbij slechts één trillingsopnemer is geplaatst, is het minder zeker dat ook daadwerkelijk is gemeten op de positie waar de grootste trillingssnelheden optreden. Daarom wordt bij deze metingen een veiligheidsfactor in rekening gebracht voordat de resultaten getoetst kunnen worden.

Bij deze meting geldt een veiligheidsfactor van 1,6. De te hanteren grenswaarde is afhankelijk van de constructiewijze, de staat van het gebouw en het karakter van de trilling. De bouwwerken zijn ingedeeld in twee en de verschillende typen trillingen zijn ingedeeld in drie categorieën. Tevens kan sprake zijn van een monumentale status van gebouwen.

Categorie 1:

- In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie, indien dit bestaat uit gewapend beton of hout.

- Onderdelen van een bouwwerk die geen deel uitmaken van de draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies), indien dit bestaat uit gewapend beton of hout.
- Draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijnde, 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 dit bestaat uit metselwerk.
- In goede staat verkerende onderdelen van een gebouw die niet tot de draagconstructie behoren die bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.

Monumentaal:

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

Kortdurende trillingen

Trillingen welke veroorzaakt worden door stootvormige excitaties. Het aantal malen dat het trillingsverschijnsel voorkomt, is zo gering dat er geen vermoeiing van constructiematerialen kan optreden.

Herhaald kortdurende trillingen

Trillingen welke veroorzaakt worden door stootvormige excitaties. Het aantal malen dat het trillingsverschijnsel voorkomt, is zodanig dat vermoeiingseffecten in bouwmaterialen kunnen optreden.

Continue trillingen

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.

In het geval van de panden waar de metingen hebben plaatsgevonden, is uitgegaan van categorie 2 en herhaald voorkomende kortdurende trillingen. Uit analyse van de metingen blijkt dat de dominante frequentie tussen de 1 en 20 Hz ligt. Vanwege het karakter van de trilling (herhaald kortdurend) is hier een veiligheidsfactor (γ_t) van 1,5 gehanteerd en voor de bouwkundige staat 1,0 (γ_s). Vanwege de indicatieve aard van de meting is uitgegaan van een Partiële veiligheidsfactor van 1,6.

Volgens bestaande praktijkervaringen bestaat er een aanvaardbaar kleine kans (<1%) dat schade aan gebouwen zal optreden indien de rekenwaarde van de gemeten trillingssnelheid (V_d) kleiner is dan de rekenwaarde van de grenswaarde (V_r). De rekenwaarde van de grenswaarde is vastgesteld op 3,3.

4.2.2 Trillingshinder (SBR-B)

De meetmethode met betrekking tot hinder bestaat uit het registreren van de effectieve trillingssnelheid in het midden van een vloerveld van een verblijfsruimte. In de richtlijn staan de te hanteren streefwaarden voor de beoordeling van trillingen beschreven. Onder hinder wordt verstaan:

- Waarneming van de trillingen zonder meer (verstoring van activiteiten of processen die rust en/of concentratie behoeven).

- Waarneming van de trillingen met een zodanige sterkte dat bepaalde activiteiten fysiek worden belemmerd of verstoord.

In de richtlijn voor trillingshinder wordt gesproken over *streefwaarden*, omdat grenswaarden voor trillingshinder niet scherp gedefinieerd kunnen worden. Als de meetwaarde onder de streefwaarde blijft, mag verwacht worden dat er in de meeste gevallen geen hinder voor personen zal optreden.

Beoordeling vindt plaats op basis van de maximale voortschrijdende effectieve trillingssnelheid (V_{max}) en de trillingssnelheid over de beoordelingsperiode (V_{per}). De eerste kan worden gelezen als de hoogst optredende piek en de tweede als het gemiddelde over een langere tijdsduur en deze is mede afhankelijk van het aantal passages. Tijdens gecontroleerde passages van een bus is de maximale trillingssnelheid geregistreerd. De hoogst gemeten waarde is als toetsingswaarde gebruikt.

De gehanteerde streefwaarden (herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd) staan in *Tabel: 4*. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in bestaande en nieuwe situaties, waarbij:

- Bestaande situatie: optredende hinder is afkomstig van een reeds bestaande bron of wordt ervaren door een reeds bestaande ontvanger.
- Nieuwe situatie: optredende hinder is afkomstig van een nieuwe bron of wordt ervaren door een nieuwe ontvanger.

NB: In de 4 straten waar gemeten is, is volgens de SBR-richtlijnen sprake van een bestaande situatie.

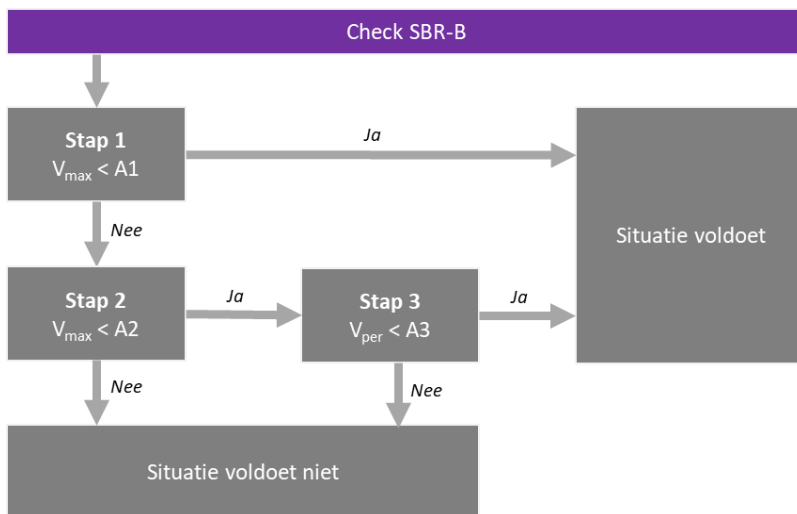
Tabel: 4 Streefwaarden trillingshinder

Woonsituatie	Dag / Avond			Nacht		
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
Wonen (Bestaande situatie)	0,20	0,80	0,10	0,20	0,40	0,10
Wonen (Nieuwe situatie)	0,10	0,40	0,05	0,10	0,20	0,05

Er is voldaan aan de streefwaarden als geldt dat:

- De waarde van de maximale trillingssterkte in een ruimte (V_{max}) kleiner is dan A₁, of als;
- De waarde van de maximale trillingssterkte van een ruimte (V_{max}) kleiner is dan A₂ waarbij de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor deze ruimte (V_{per}) kleiner is dan A₃.

De genoemde stappen van de beoordeling zijn visueel gemaakt in Figuur 3.



Figuur 3: Stroomschema beoordeling SBR-B

In Bijlage 5 van de Richtlijn wordt nog gesteld dat, bij overschrijding van de streefwaarden, aanvullend gebruik kan worden gemaakt van hinderclassificaties uit Tabel 5. Hierbij moet worden opgemerkt dat het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden toelaatbaar kan zijn op grond van de mate waarin de trillingssterkte voorkomt, de aanwezige achtergrondtrillingen, de mogelijkheid tot het al dan niet treffen van maatregelen en de historie.

Tabel 5: Hinderclassificatie

$V_{\max}$	Hinderclassificatie
< 0,1	Geen hinder
0,1 – 0,2	Weinig hinder (bestaande situatie)
0,2 – 0,8	Matige hinder
0,8 – 3,2	Hinder
> 3,2	Ernstige hinder

Beoordeling volgens het regime 'bestaande situatie'.

4.3 Meetlocaties

De metingen zijn uitgevoerd op vier locaties in de stad. De ligging hiervan is in figuur 4 weergegeven en de kenmerken van de locaties zijn in Tabel 6 weergegeven. Een exacte beschrijving van de plekken in de woning of aan de gevel waar gemeten is, is opgenomen in Bijlage 3.

Tabel 6: Beschrijving van de vier wegvakken waar de metingen hebben plaatsgevonden.

Kenmerk	Homeruslaan	Willem van Noortstraat	Croeselaan	Burg. Reigerstraat
Snelheidsregime	30 km/u	50 km/u	50 km/u	30 km/u
Locatie schakel	Verbinding tussen het midden en het zuidoosten van de stad (tussen Maliebaan en het voetbalstadion)	Verbinding tussen het midden en het oosten van de stad (tussen de noordelijke binnenstad en Tuindorp)	Verbinding parallel aan het spoor aan de westzijde (tussen station en Rivierenwijk)	Verbinding tussen het centrum en het oosten van de stad (tussen Maliebaan en Wilhelminapark)
Bebouwing	Bouwjaar tussen 1930 en 1950, direct grenzend aan trottoir,	Bouwjaar tussen 1900 en 1910, direct grenzend aan trottoir,	Bouwjaar tussen 1900 en 1940, direct grenzend aan trottoir,	Bouwjaar tussen 1900 en 1930, direct grenzend aan trottoir,

	gelegen circa 8 meter van de rijbaan vandaan.	gelegen circa 6 meter van de rijbaan vandaan.	gelegen circa 9 meter van de rijbaan vandaan.	gelegen circa 6 meter van de rijbaan vandaan.
Nabijgelegen halte(s)	Tussen Homeruslaan en Oosterstraat	Willem van Noortstraat	Brederoplein	Tussen Maliebaan en Burg. Reigerstraat
Buslijn(en)	Buslijn 8	Buslijn 1	Buslijn 1	Buslijn 8
Frequentie spits	6x per uur	6x per uur	6x per uur	6x per uur
Frequentie dal	4x per uur	4x per uur	4x per uur	4x per uur
Wijze van halteren	Op rijbaan	Op rijbaan; halte tussen fietspad en rijbaan	Op rijbaan	Op rijbaan
Parkeer-voorzieningen	Ja, aan weerszijden van de weg	Ja, aan weerszijden van de weg	Ja, aan weerszijden van de weg	Ja, aan één zijde van de weg
Fiets-voorzieningen	Nee	Ja, fietsstroken aan beide zijden, ter hoogte van bushaltes achter het halteperron langs	Ja, fietspad aan weerszijden van de weg achter de bushaltes langs	Ja, fietsstraat
Drempel(s) ter hoogte van de meetlocatie	Ja – zgn. busvriendelijke drempels in de vorm van twee betonnen verkeerskussens met middengeleider	Ja – zgn. busvriendelijke drempels in de vorm van twee betonnen verkeerskussens met middengeleider	Ja, sinusvormige drempel - alleen op de rijbaan richting het zuiden	Ja – flauwe drempel (een zgn. plateau); bovendien spoorwegovergang op 30 meter afstand
Overige bijzonderheden	Nee	Nee	Brede middenberm met groen en bomen tussen beide rijbanen	Fietsstraat, auto te gast



Figuur 4 Ligging van de vier locaties waar gemeten is

4.4 Materieelinzet

Tijdens de metingen heeft Qbuzz de volgende typen bussen ingezet:

Tabel 7: Bussen die worden ingezet op lijn 1 en 8 (inclusief lengte en gewicht)

serie	busnummer	merk	type	aantal	soort bus	brandstof	lengte (m)	ledig gewicht	bruto gewicht
4600	4601 - 4669	Ebusco	2.0 / 2.1 / 2.2	31	standaard	elektrisch	12	12420	18500 kg
4800	4801 - 4835	Iveco/Heuliez	GX 437 ELEC Linium	35	geleed	elektrisch	18	21285	29000 kg
4000	4001 - 4066	Mercedes Benz	Citaro	65	standaard	diesel	12	11500	18745 kg
4100	4101 - 4166	Mercedes Benz	Citaro G	74	geleed	diesel	18	16306	28745 kg

Te zien is dat elektrische bussen met een lengte van 12 meter zonder passagiers gemiddeld 12% (bijna 1400 kg) zwaarder zijn dan dieselbussen en dat bussen van 18 meter lengte gemiddeld 30% (bijna 5.000 kg) zwaarder zijn dan dieselbussen.

Het hogere gewicht wordt vooral veroorzaakt door de accu's. Voor een bus van 18 meter zijn veel grotere accu's nodig dan voor een bus van 12 meter.

Bruto zijn de verschillen kleiner – vooral omdat de toegelaten (staanplaats-) capaciteit van een elektrische bus kleiner is dan voor een dieselbus van dezelfde lengte.

Uit de registratie blijkt dat gedurende de meetperiode de helft van de ritten van lijn 1 wordt gereden met elektrische bussen; op lijn 8 zijn 6 van de 7 passerende bussen elektrisch. Daarbij moet worden vermeld dat op lijn 1 uitsluitend bussen met een lengte van 12 meter worden ingezet en op lijn 8 vrijwel uitsluitend bussen met een lengte van 18 meter (slechts 1% van de ritten op deze lijn wordt uitgevoerd met een 12 meter lange dieselbus).

Tabel 8: Materieelinzet per lijn tijdens de onderzoeksperiode met onderscheid naar elektrisch en diesel

materieelinzet	lijn 1	lijn 8
elektrisch	50%	86%
diesel	50%	14%
totaal	100%	100%

Overigens zijn de aslasten van elektrische bussen aanmerkelijk lager dan de maximaal toegestane aslasten van vrachtauto's.

- Voor een dieselbus met 40 passagiers is de aslast ca. 7 ton.
- Voor een elektrische bus met 40 passagiers is de aslast ca. 8 ton.
- De maximale aslast voor vrachtauto's bedraagt voor een enkele as 12 ton.
- Voor een asstel mag het gewicht van beide assen tezamen 16 ton bedragen (mits de assen tussen 1,00 en 1,30 meter uit elkaar liggen).
- Voor een aanhangwagen of oplegger mag de aslast van beide assen tezamen 24 ton bedragen (mits beide assen tussen 1,30 en 1,40 meter uit elkaar liggen).

4.5 Resultaten

4.5.1 SBR-A toets (trillingsschade)

v_{top} (piektrillingssnelheid) is een maat voor de snelheid van de trillingen op het oppervlak waarop de trillingsmeter is geplaatst. Het wordt gemeten in millimeter per seconde (mm/s). v_{top} wordt vaak gebruikt bij het beoordelen van de impact van trillingen op mensen,

Alle waarden van v_{top} op het vaste punt zijn getoetst aan de SBR-A. Dit is gedaan voor de resultaten van de bemande meting. In Tabel 9 zijn de maximale waarden gegeven inclusief veiligheidsfactor. Voor alle punten op de fundering blijven de trillingssnelheden binnen de grenswaarden. De kans op schade is in de huidige situatie in alle gevallen verwaarloosbaar klein (kleiner dan 1%). In de Burgemeester Reigerstraat was het – op aanwijzing van de bewoner- niet mogelijk om de SBR-A meting uit te voeren. Alle andere woningen zijn bovenwoningen. Voor de SBR-A meting is er voor gekozen om bij de voordeur op de begane grond te meten. De grafieken zijn terug te vinden in Bijlage 4 en Bijlage 5.

Tabel 9: v_{top} waarden voor toetsing SBR-A

Adres	v_{top} (mm/s)
Homeruslaan	0,88
Willem van Noortstraat	0,54
Croeselaan	0,78
Burgemeester Reigerstraat	(-) – niet gemeten

4.5.2 SBR-B toets (trillingshinder)

De SBR-B hanteert drie streefwaarden, namelijk de A1, A2 en A3-waarde. De A3 waarden zijn in dit onderzoek niet vastgesteld, omdat de A2-waarde als leidend voor de conclusie over wel/geen hinder wordt beschouwd. In Tabel 10 zijn de waarden voor V_{max} gegeven. Er wordt getoetst aan de A2 waarde, oftewel 0.8 in de dag- en avondperiode en 0.4 in de nacht. De bemande meting was in de dagperiode. De grafieken zijn terug te vinden in Bijlage 4 voor de bemande metingen en in Bijlage 5 voor de onbemande metingen.

Tabel 10: V_{max} waarden voor toetsing SBR-B

Adres	$V_{max}(-)$ bemand	$V_{max}(-)$ onbemand
Homeruslaan	0.58	1.13 (E) 1.67(D)
Willem van Noortstraat	1.53	1.20 (E) 0.77 (D)
Croeselaan	1.33	1.30 (E)
Burgemeester Reigerstraat	0.80	0.76 (E)

De SBR-B waarden worden tijdens de bemande meting overschreden bij de Willem van Noortstraat en de Croeselaan. Het gaat om meerdere passages die over de grenswaarde zitten. Bij de onbemande meting voldoet alleen de Burgemeester Reigerstraat aan de waarde voor A2. Hierdoor is het noodzakelijk om naar de V_{per} te kijken.

Toelichting meting in de Burgemeester Reigerstraat

In de Burgemeester Reigerstraat rijdt lijn 8. Op deze lijn worden voornamelijk elektrische bussen van het type GX437 ELEC gebruikt en daarnaast ook nog dieselbussen van het type Citaro G. Dit zijn allemaal gelede bussen met een lengte van 18 meter. Op 1% van de ritten worden dieselbussen met een lengte van 12 meter ingezet.

In het midden van de weg is een strook met stenen in de weg gelegd. Vermoedelijk veroorzaakt dit trillingen. Verder is er een flauwe sinusvormige drempel ter hoogte van de meetlocatie. Ook deze kan trillingen veroorzaken. 30 meter verderop ligt een spoorwegovergang van de spoorlijn naar het Spoorwegmuseum. Overdag, dus ook bij de bemande meting, is dit een drukke straat met veel fietsverkeer. Hierdoor passeert de bus op deze tijden de woning niet met hoge snelheid. In de avond- en nachtperiode is het voor de bus mogelijk om veel sneller door de straat te rijden.

Tijdens de bemande meting is een hoogste waarde van 0,80 gemeten. Deze waarde ligt op de grens voor de SBR-B richtlijn ($A2 < 0,8$). Er is sprake van 'matige hinder'.

Tijdens de onbemande meting is de hoogste piek die overdag gemeten is en die te linken is aan een voorbijgaande (elektrische) bus 0,76. In de nachtperiode zijn geen pieken gemeten boven de 0,4. De situatie voldoet aan de A2 waarde uit de SBR-B richtlijn. Er is sprake van 'matige hinder'.

Toelichting meting in de Homeruslaan

In de Homeruslaan rijdt lijn 8. Op deze lijn worden voornamelijk elektrische bussen van het type GX437 ELEC gebruikt en daarnaast ook nog dieselbussen van het type Citaro G. Dit zijn allemaal gelede bussen met een lengte van 18 meter. Op 1% van de ritten worden dieselbussen van 12 meter ingezet.

Tijdens de bemande meting is een hoogste waarde van 0,58 gemeten. Hiermee is de waarde lager dan A2 uit de SBR-B, met classificatie matige hinder in Tabel 5. Als deze waarde ook 's nachts voor komt voldoet deze echter niet meer ($A2 < 0,4$).

Tijdens de bemande meting was het straatbeeld rustig, maar moest de bus vaak stoppen bij de bushaltes. Hierbij reed de bus rustig langs het huis.

Tijdens de onbemande meting is de hoogste piek die te linken is aan een voorbijgaande bus 1.13 (elektrisch) en 1.76 (diesel). Deze pieken zijn beide gemeten voor 7 uur 's ochtends. De hoogste piek komt dus van een diesel bus, echter is dit een incident in de metingen. Over het algemeen zijn de hogere pieken afkomstig van elektrische bussen. Hieruit volgt dus dat deze waarde hoger is dan A2 en dus niet voldoet voor SBR-B, voor beide soorten bussen.

Toelichting meting in de Willem van Noortstraat

Op de Willem van Noortstraat rijdt lijn 1. Op deze lijn werden tijdens de metingen zowel elektrische bussen als dieselbussen ingezet. Het gaat hier om de GX 137 Elec of Ebusco (2.0/2.1/2.2) en de Citaro of de Citaro 2. Dit zijn allemaal standaardbussen met een lengte van 12 meter.

Voor de woning ligt een middengeleider, in de volksmond een vluchtheuvel genoemd. De bewoner heeft aangegeven dat de bussen deze soms bij het voorbijrijden raken: de bus rijdt een stukje op de rand van de stoep en valt dan

weer op het wegdek. Op de plek waar dit gebeurt zijn scheuren in het wegdek ontstaan, welke worden weergegeven in Figuur 5 hieronder. Zo'n incident is overigens niet waargenomen tijdens de bemande meting.



Figuur 5: Schade aan het wegdek in de Willem van Noortstraat

Tijdens de bemande meting is een hoogste waarde van 1,53 gemeten tijdens het passeren van een bus. Dit is een significante trilling, maar er zit veel ruis in de trillingsmeting, vermoedelijk door werkzaamheden naast het huis. De hoogst gemeten trilling van een dieselbus is 1,4. Beide waarden zijn hoger dan A2 en voldoen dus niet aan de streefwaarden voor SBR-B.

Tijdens de onbemande meting is een hoogste waarde gemeten van 1,2 tijdens het passeren van een (in dit geval elektrische) bus in de dagperiode. Deze waarde voldoet niet aan de SBR-B richtlijn.

Toelichting meting in de Croeselaan

Net als bij de Willem van Noortstraat, rijdt over de Croeselaan buslijn 1. Op deze lijn worden zowel elektrische bussen als diesel bussen ingezet. Het gaat hier om de GX 137 Elec of Ebusco (2.0/2.1/2.2) en de Citaro of de Citaro 2. Dit zijn allemaal standaardbussen met een lengte van 12 meter.

Ter plekke van de woning bevindt zich een zogenaamde flexdrempel. Dit is een drempel die inzakt bij de passage van een zwaar voertuig. De drempel ligt hier op proef. De drempel voldoet overigens (nog) niet aan de verwachtingen. De dempers zijn recentelijk vervangen en er is gekeken of een schuddend frame de trillingen veroorzaakt.



Figuur 6 – Flexdremmel in de Croeselaan

Tijdens de bemande meting was het straatbeeld rustig, maar moest de bus vaak stoppen bij de haltes. Hierbij reed de bus rustig langs het huis. De piek in Tabel 8 van de bemande meting is van een bus die wel door reed. Dit is hoger dan de SBR-B richtlijn en wordt geclassificeerd als hinder volgens tabel 5.

Tijdens de onbemande meting is ten hoogste een waarde gevonden van 1.3 tijdens de passage van een elektrische bus in de nachtperiode (dit is de periode tussen 23:00 en 07:00 uur). Deze waarde voldoet niet aan de SBR-B richtlijn.

5 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

- Sinds de inzet van elektrische bussen in de stad Utrecht is het aantal klachten over trillingshinder door bewoners van straten met buslijnen toegenomen. Ook zijn er meer meldingen van schade aan bijv. drempels en middengeleiders.
- Wat daarbij meespeelt is dat elektrische bussen zwaarder zijn dan dieselbussen. Dat komt door de accu's die nodig zijn om een voldoende grote actieradius te hebben. De gelede bussen zijn -zonder passagiers- 31% zwaarder en de standaardbussen zijn leeg 12% zwaarder dan vergelijkbare dieselbussen.
- Overigens zijn de maximale aslasten van elektrische bussen aanmerkelijk lager dan de maximaal toegestane aslasten van vrachtauto's.
 - Voor een dieselbus met 40 passagiers is de aslast ca. 7 ton en voor een elektrische bus ca. 8 ton.
 - De maximaal toegestane aslast voor vrachtauto's bedraagt voor een enkele as 12 ton en voor een zgn. asstel 16 tot 24 ton voor beide assen tezamen.
 - Omdat met name in de stillere uren het aantal passerende bussen (veel) hoger is dan het aantal passerende zware vrachtauto's vallen trillingen door passerende bussen in die periode (ondanks de lagere aslasten van bussen) meer op.
- Het onderzoek bestond uit drie delen:
 - Metingen van de trillingen bij 4 woningen: De woningen zijn geselecteerd op basis van het meldingenoverzicht van de gemeente.
 - Een benchmark van de resultaten van metingen in min of meer vergelijkbare situaties in Nederland en de maatregelen die als gevolg van de meetresultaten getroffen zijn.
 - Een GIS-analyse om in kaart te brengen hoeveel wegvakken in Utrecht een vergelijkbaar (of hoger) risicoprofiel hebben dan de wegvakken waar gemeten is.
- Twee locaties waar gemeten is bevinden zich langs lijn 1 en de twee andere locaties bevinden zich langs lijn 8. Beide buslijnen rijden in de spitsuren 6 x per uur per richting en in het dal 4 x per uur per richting.
- De woningen hebben een bouwjaar in de periode 1906 – 1936: ze hebben hoogstwaarschijnlijk een houten fundering. De gevel grenst aan het trottoir en de afstand tot het hart van de dichtstbijzijnde rijstrook bedraagt 6 tot 9 meter. Wat verder opvalt is dat zich ter hoogte van alle vier woningen een drempel bevindt.



Figuur 7: Geselecteerde straten met meldingen van trillingshinder

Meetmethode

- De trillingsmeting bestond uit twee gedeelten: a) een bemande meting gedurende ongeveer twee uur op twee locaties in de woning en b) een onbemande meting gedurende een week op één locatie in de woning.
- De bemande meting vond plaats met twee trillingsmeters: één in een stijf punt van de constructie achter de voordeur en één op het midden van de verdiepingvloer. Bij één woning is op beide verdiepingvloeren een trillingsmeter geplaatst. Bij één woning kon (op aanwijzing van de bewoner) geen trillingsmeter in een stijf punt van de constructie achter de voordeur worden geplaatst. De twee meetposities in de woning zijn nodig om zowel een uitspraak te kunnen doen over het risico op trillingsschade aan de constructie van het pand en het risico op trillingshinder in de woning.
- De onbemande metingen zijn uitgevoerd op de verdieping van de woningen waar de meeste hinder wordt ervaren d.m.v. één trillingsmeter op het midden van de verdiepingvloer.
- Gedurende de bemande meting is geregistreerd wanneer een bus passeerde en om welk type bus (elektrisch/diesel/12 meter/18 meter) het ging. Zo zijn de trillingen veroorzaakt door passerende bussen er uit gefilterd. Uiteraard kan ook ander (zwaar) verkeer trillingen veroorzaken, maar dat was geen onderdeel van dit onderzoek. Dit verkeer is daarom niet geanalyseerd.
- Voor het analyseren van de onbemande meting heeft Qbuzz een bestand met de passeertijden van bussen bij de twee omliggende haltes verstrekt. Daarbij was voor elke rit aangegeven welk type bus werd ingezet. Op basis van dit bestand zijn de passeertijden bij de meetlocaties bepaald. Met behulp van deze gegevens zijn ook bij de onbemande metingen de trillingen gekoppeld aan de momenten (met een bandbreedte van 10 seconden) waarop een bus passeerde.

Resultaten

De metingen leiden tot de volgende resultaten:

- Wettelijk is de gemeente niet verplicht tot het nemen van maatregelen:
 - Alle meetlocaties voldoen ruimschoots aan de SBR-A grenswaarde: de kans op schade is volgens de norm verwaarloosbaar klein.
 - De hoogste waarden van de tijdens de metingen vastgestelde trillingen op de meetlocaties zijn overdag en 's nachts hoger dan de SBR-B streefwaarden. Dat betekent dat bij de hoogst gemeten waarden op alle meetlocaties (inclusief een marge) sprake is van 'matige hinder' of soms van 'hinder'. De hoogste waarden blijven echter ruim onder de geldende norm voor 'ernstige hinder'.
- Wat opvalt is dat zich ter hoogte van alle 4 woningen waar gemeten is een drempel bevindt.
- De hoogste waarden van de gemeten trillingen in de woningen langs lijn 8 zijn sterker dan de hoogste waarden in de woningen langs lijn 1. Voor de meetlocaties langs lijn 1 is volgens de normstelling sprake van 'matige hinder'. Voor de meetlocaties langs lijn 8 is volgens de normstelling sprake van 'hinder'. Er is nergens sprake van 'ernstige hinder'.
- Het verschil tussen de meetresultaten van de woningen langs lijn 1 en langs lijn 8 wordt waarschijnlijk veroorzaakt door:
 - a) de lengte van de passerende bussen (op lijn 1 bussen van 12 meter en op lijn 8 bussen van 18 meter) en
 - b) het gewicht van de passerende bussen: bij lijn 8 worden vrijwel alleen elektrische bussen ingezet en bij lijn 1 voor de helft dieselbussen. Een elektrische bus van 18 meter is nl. 2 x zo zwaar als een dieselbus van 12 meter. De trillingen die een dergelijke bus veroorzaakt zijn daardoor significant sterker.

Uit de benchmark destilleren we de volgende resultaten:

- Voor de benchmark zijn 8 onderzoeksrapporten met trillingsmetingen op 33 locaties elders in Nederland geanalyseerd. Wat daarbij opvalt: er zijn geen metingen beschikbaar die specifiek gericht zijn op trillingen door elektrische bussen, maar wel van trillingen door zwaar vrachtverkeer en door bussen in het algemeen, wellicht met uitzondering van de metingen in de stad Groningen omdat daar vrijwel uitsluitend elektrische bussen rijden.
- Bij 4 onderzoekslocaties is sprake van een voorgenomen herinrichting. Op basis van de trillingsonderzoeken kan voor deze locaties worden geconcludeerd dat er technisch-inhoudelijk geen bezwaren zijn om de voorgestelde herinrichtingen uit te voeren.
In Groningen is er echter voor gekozen trillingsschermen te plaatsen. Deze maatregel was niet nodig op basis van de trillingsmetingen, maar er is preventief voor gekozen omdat het aantal passerende bussen aan één zijde van de Diepenring met 100% toe zou nemen tot (overdag) 30 bussen per uur per richting. (NB: op de meetlocaties in Utrecht passeren 4 tot 6 bussen per uur per richting).
- De resultaten van de metingen in Utrecht liggen in lijn met de onderzoeken elders in Nederland:
 - De metingen voldoen overall aan de SBR-A-norm: de kans op schade is verwaarloosbaar klein.

- Ten aanzien van de SBR-B-norm is er -net als bij de andere onderzoeken- geen sprake van 'ernstige hinder', wel (op basis van de hoogst gemeten trillingen) van 'matige hinder' en incidenteel van 'hinder'.

De GIS-analyse leidt tot de volgende resultaten:

- Een analyse van de bijna 3200 wegvakken in Utrecht waarover buslijnen rijden laat zien dat de wegvakken met hoge risicoprofielen zich veelal in de vooroorlogse wijken bevinden met straten waarbij de bebouwing direct aan het trottoir ligt. De afstand tussen rijbaan en woning is daardoor klein.
- De vier meetlocaties behoren tot de 15% van de wegvakken met het hoogste risicoprofiel. Dit betekent dat -in theorie- op zo'n 450 wegvakken vergelijkbare trillingshinder zou kunnen optreden.
- Waarschijnlijk is dit aantal lager dan 450, omdat de afstand tussen woningen en drempels nog niet in de methodiek is verdisconteerd. Nadere aanscherping van de methodiek is daarom gewenst – ook omdat de meetresultaten nog niet konden worden verwerkt in de analyse.

Aanbevelingen

Het is allereerst goed te beseffen dat de maximale aslast van bussen lager is dan die van zware vrachtauto's. De hinder van één passerende bus is op basis daarvan lager dan dat van één zware vrachtauto. Met name het hoge aantal bussen op busroutes zal de voornaamste oorzaak van de hinder zijn.

Vermindering van hinder kan worden bereikt door een samenspel van maatregelen: weginrichting, materieelinzet, routekeuze en het rijgedrag van de chauffeur.

Op korte termijn zijn de meest kansrijke maatregelen: het -met ondersteuning van technische hulpmiddelen- aansturen op rustig rijgedrag van chauffeurs, met name bij het passeren van drempels, het zorgvuldig onder de loep nemen van de noodzaak en vormgeving van drempels en middengeleiders en het vroegtijdig nemen van maatregelen bij schades of oneffenheden in het wegdek.

Alle mogelijke kansrijke maatregelen om trillingshinder te verminderen zijn hieronder geclusterd naar doorlooptijd en naar soort maatregel:

Weginrichting (korte termijn: < 1 jaar)

- De gemeente kan ervoor kiezen om een slecht wegdek en/of schades sneller te repareren. Dit is overigens wel afhankelijk van de aard van de oneffenheden of andere schades. De doorlooptijd van asfaltreparaties is namelijk aanzienlijk langer dan reparaties aan bestrating.
- De gemeente kan ervoor kiezen om de drempels in busroutes met inzet van (gelede) elektrische bussen weg te halen of anders vorm te geven. Er bestaan bijv. sinusvormige drempels of plateaus die leiden tot minder schoksgewijze verticale bewegingen van voertuigen.
- De gemeente kan er ook voor kiezen om de middengeleiders zodanig vorm te geven dat de kans op schade wordt verkleind. Ook zouden ze kunnen worden weggehaald.

Weginrichting (lange termijn: bij reconstructies)

- De gemeente kan bij een reconstructie kiezen voor een ander materiaalgebruik: trillingen zorgen voor een homogene wegfundering, mogelijk dieper dan nu wordt toegepast.
- De gemeente kan ervoor kiezen om elementenverharding te vervangen door asfaltverharding, eventueel i.v.m. de uitstraling met streetprint uitgevoerd.
- NB: In Groningen is ervoor gekozen trillingsschermen te plaatsen tussen rijbaan en trottoir. Wij zijn van mening dat het effect daarvan niet mag worden overschat. Om die reden is Sweco terughoudend met dit advies. Bovendien was de aanleiding in Groningen een verdubbeling van het aantal passerende bussen aan de westzijde van de Diepenring tot overdag 30 bussen per uur per richting. Op de meetpunten in Utrecht is daarvan geen sprake: daar rijden 4 tot 6 bussen per uur per richting en er is ook geen sprake van een verdubbeling van de frequenties van het busverkeer.

Exploitatie (quick-wins: < 1 maand)

- Chauffeurs kunnen erop worden aangesproken als ze (regelmatig) te vroeg bij haltes vertrekken. Dit is niet alleen hinderlijk voor passagiers die daardoor onterecht hun bus kunnen missen, maar het is ook een maat voor het rijgedrag: de kans is dat deze chauffeurs onderweg harder rijden dan de geldende maximum snelheid. Op basis van de ritgegevens kan dat namelijk worden achterhaald. Als er eenmalig een script voor opgesteld wordt kan een dergelijke analyse met de rijtijden en snelheden van halte tot halte frequent zonder veel personele inzet worden uitgevoerd.
- Chauffeurs kunnen op basis van bovengenoemde analyse actief worden gestimuleerd om 's avonds (vrijwillig of verplicht) langzamer te rijden om zo de overlast voor omwonenden te verminderen. De stimulans kan bijv. plaatsvinden in de vorm van een beloning voor de chauffeur die zo min mogelijk te vroeg een halte passeert.
- Hetzelfde geldt specifiek voor het passeren van drempels. Chauffeurs kunnen worden gestimuleerd om drempels met gematigde snelheid te passeren. Dat is niet alleen prettig voor omwonenden, maar ook voor de passagiers in de bus.

Exploitatie (korte termijn: < 1 jaar of per ingang van de nieuwe dienstregeling)

- De vervoerder kan met financiële prikkels worden gestimuleerd om 's avonds langzamer te rijden, bijv. door een bonus te verstrekken indien het aantal of het percentage 'te vroeg passeren van haltes' daalt.
- De vervoerder en/of de concessieverlener kunnen ervoor kiezen in de stille uren zoveel mogelijk 12 meterbussen in te zetten danwel voor te schrijven, omdat deze minder trillingen veroorzaken.
- Ook kunnen beide partijen ervoor kiezen om de inzet van 18 meterbussen zoveel mogelijk te beperken tot routes zonder drempels en/of tot routes waarbij de afstand tussen de woningen en de rijbaan groter is – met name na 19:00 uur 's avonds. Uiteraard heeft de inzet van kleinere bussen gevolgen voor de bezettingsgraad van de bussen; daardoor kan het voorkomen dat deze maatregel op bijv. koopavonden niet mogelijk is.
- Chauffeurs kunnen met technische hulpmiddelen worden gestimuleerd om met gematigde snelheid te rijden. Dit kan door middel van ISA (intelligente snelheidsassistentie). Dit systeem kan in alle (bestaande en/of nieuwe) bussen worden ingebouwd.

Exploitatie (lange termijn: > 2 jaar of bij een concessiewisseling)

- Gemeente en provincie kunnen gezamenlijk (eventueel samen met de vervoerder) de routes van buslijnen onder de loep nemen en andere keuzes maken m.b.t ontsluitingseisen en loopafstanden – uiteraard zal dit tot weerstand bij busreizigers en tot verlies aan inkomsten kunnen leiden, maar er zijn voorbeelden elders in het land dat het verleggen van busroutes van woonstraten naar ruime doorgaande wegen positief hebben uitgewerkt.
- De provincie kan als concessieverlener kiezen voor (het voorschrijven van) de inzet van grote (gelede) bussen op de verbindende gestrekte routes met frequente lijnen in combinatie met de inzet van kleinere (en lichtere) voertuigen op de ontsluitende lijnen.
- Er kan worden gekozen voor de inzet van elektrische bussen die gedurende de dag -met bijv. een pantograaf- worden opgeladen, zoals op eindpunten. Dit heeft tot gevolg dat kleinere accu's nodig zijn waardoor het gewicht van de bus kan worden verlaagd.

Bijlage 1: Benchmark-locaties



Figuur B1.1: Assen, Oostersingel



Figuur B1.2: Assen, Stationsstraat



Figuur B1.3: Koorndijk, Tuitjenhorn (voor en na herinrichting)



Figuur B1.4: Spoorsingel, Bovenkarspel



Figuur B1.5: Vincent van Goghlaan, Haarlem (de enige locatie bij dit onderzoek met aangetoonde trillingshinder)



Figuur B1.6: Utrecht, Amsterdamsestraatweg



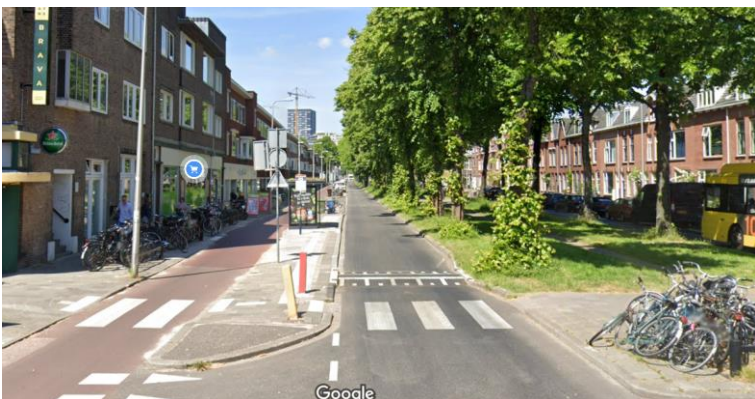
Figuur B1.7: Burg. Reigerstraat



Figuur B1.8: Willem van Noortstraat



Figuur B1.9: Homeruslaan



Figuur B1.10: Croeselaan

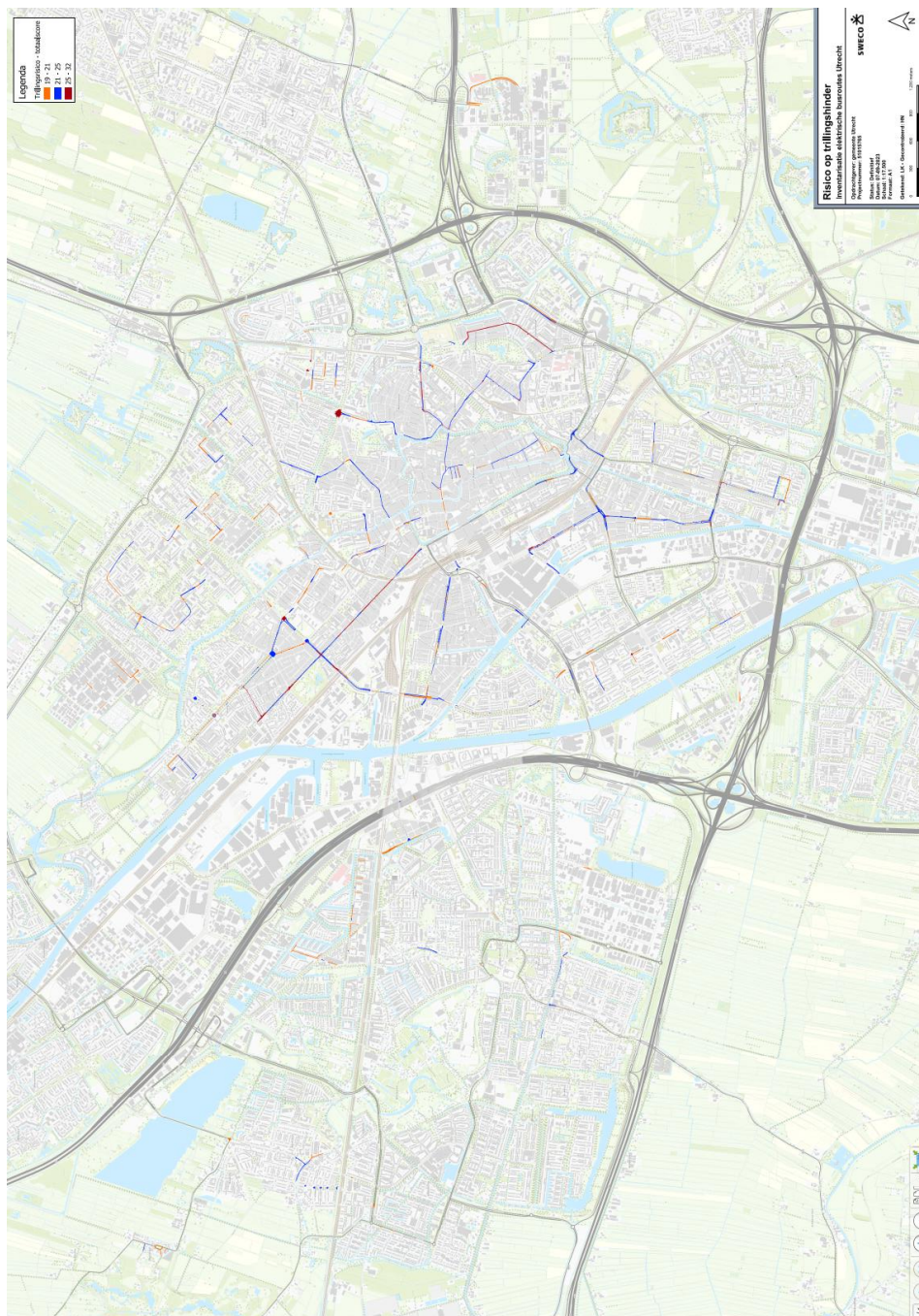


Figuur B1.11: Schuitendiep Groningen (voor reconstructie)



Figuur B1.12: Schuitendiep Groningen (na reconstructie); in de verte is de nieuwe brug over het Kattendiep zichtbaar.

Bijlage 2: Risicokaart



Sweco | Trillingshinder elektrische bussen Onderzoek naar de trillingshinder als gevolg van de inzet van elektrische bussen in de gemeente Utrecht

Projectnummer 51015765

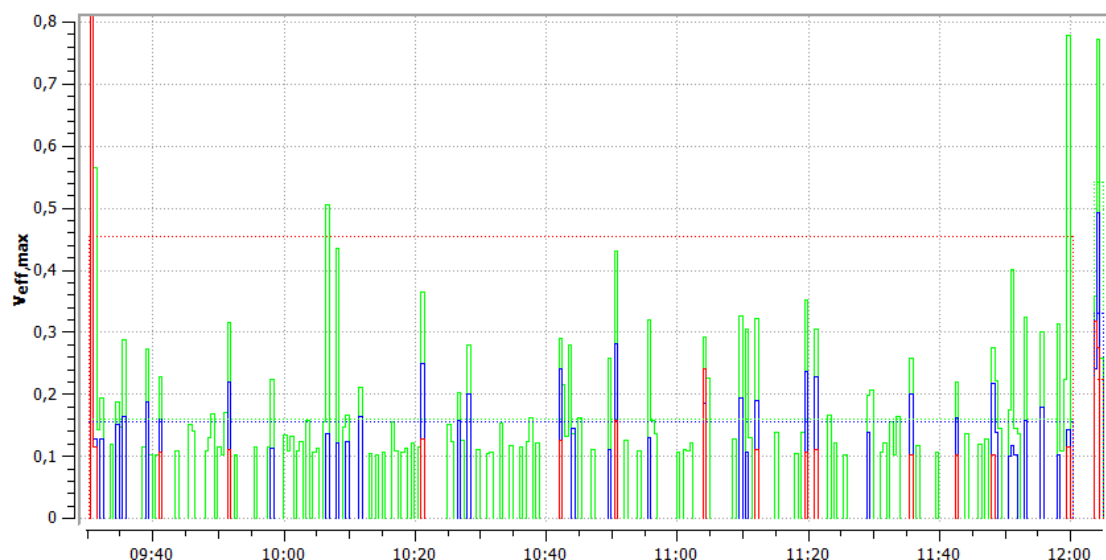
Datum 19 oktober 2023

[Click or tap here to enter text.](#)

Document referentie Rapportage Trillingshinder Elektrische bussen Utrecht

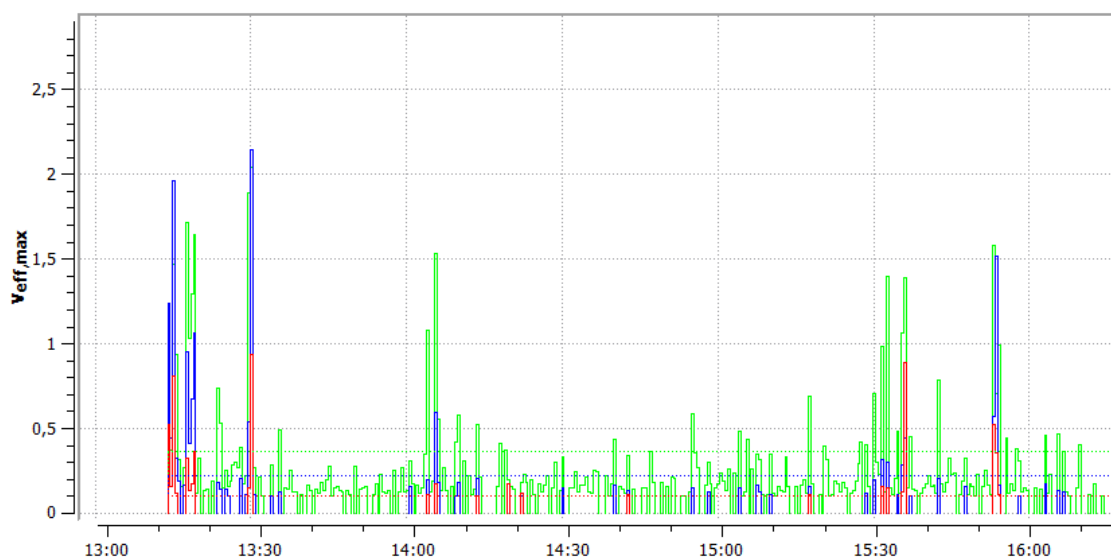
Bijlage 3: Resultaten bemande metingen

Homeruslaan



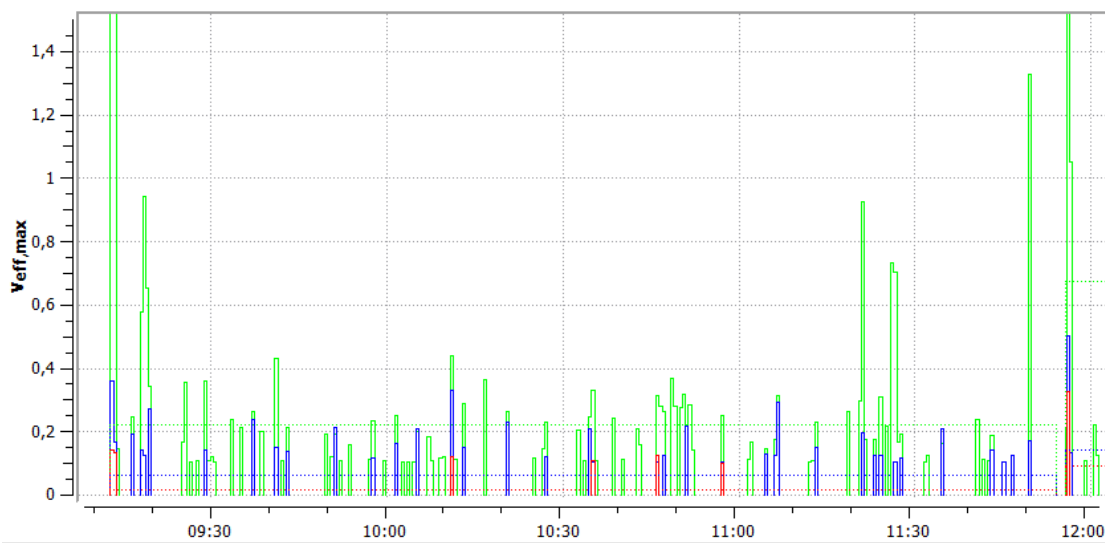
Figuur B4.1: Resultaten bemande metingen Homeruslaan

Willem van Noortstraat



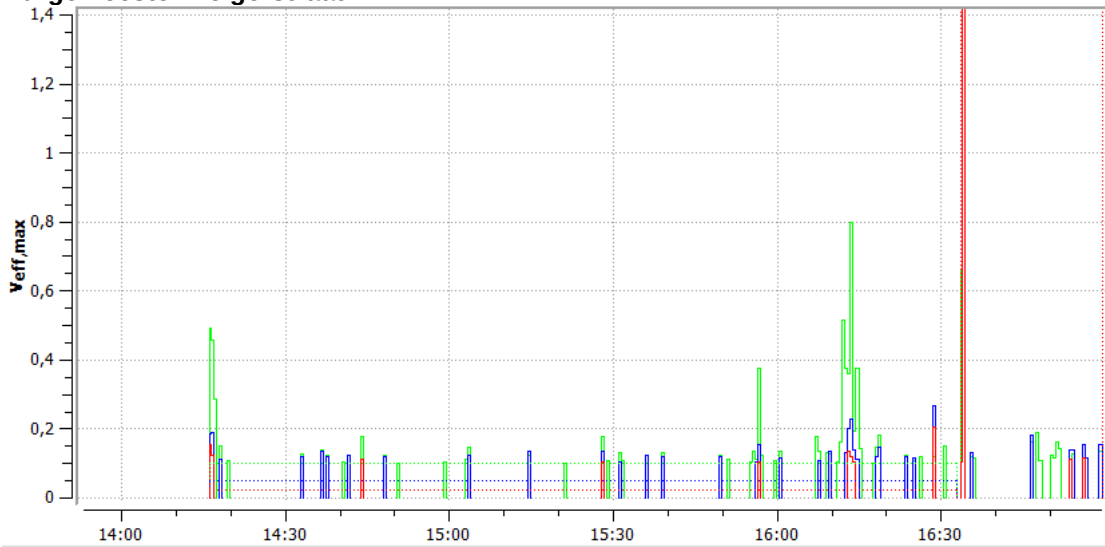
Figuur B4.2: Resultaten bemande metingen Willem van Noortstraat

Croeselaan



Figuur B4.3: Resultaten bemande metingen Croeselaan

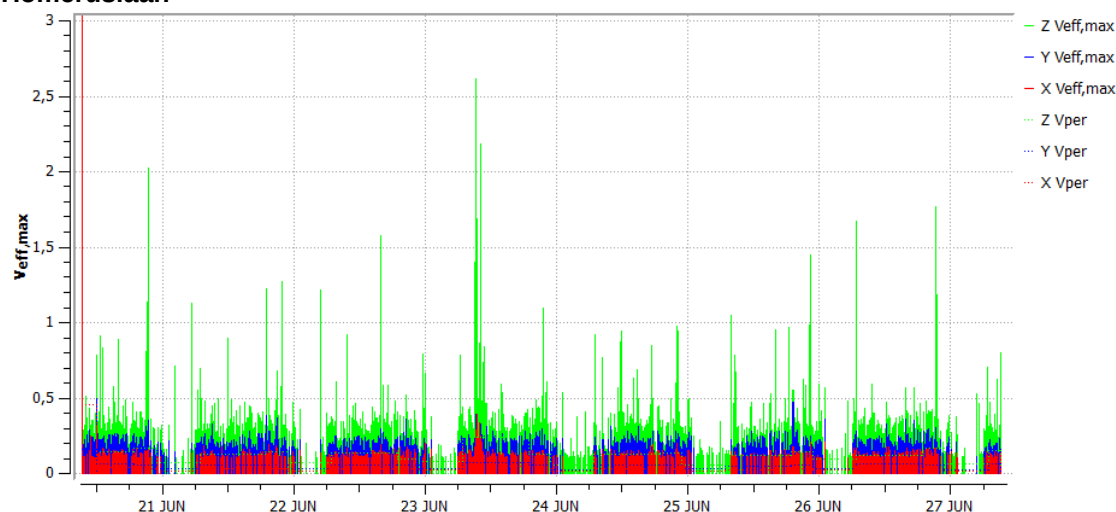
Burgemeester Reigerstraat



Figuur B4.4: Resultaten bemande metingen Burgemeester Reigerstraat

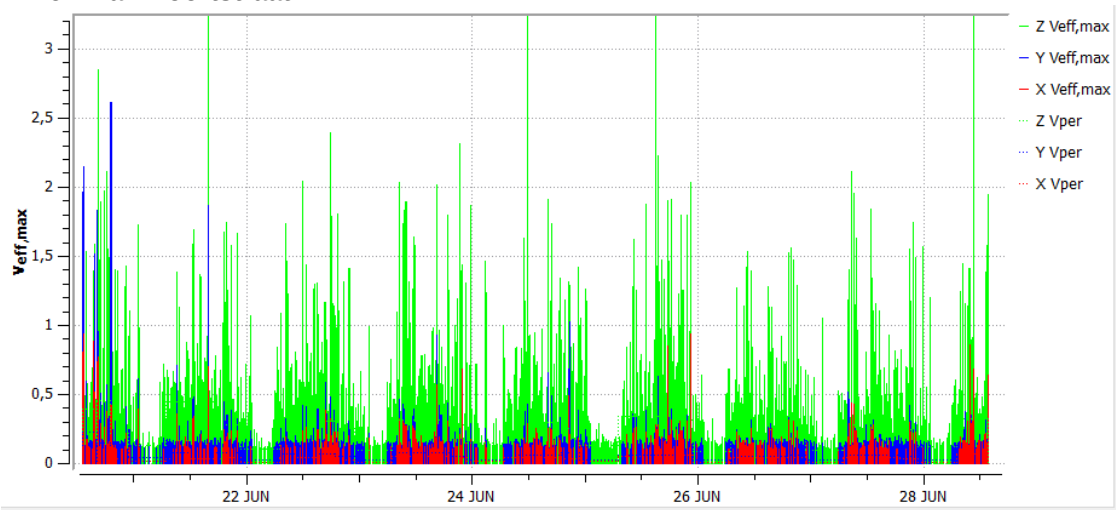
Bijlage 4: Resultaten onbemande metingen

Homeruslaan



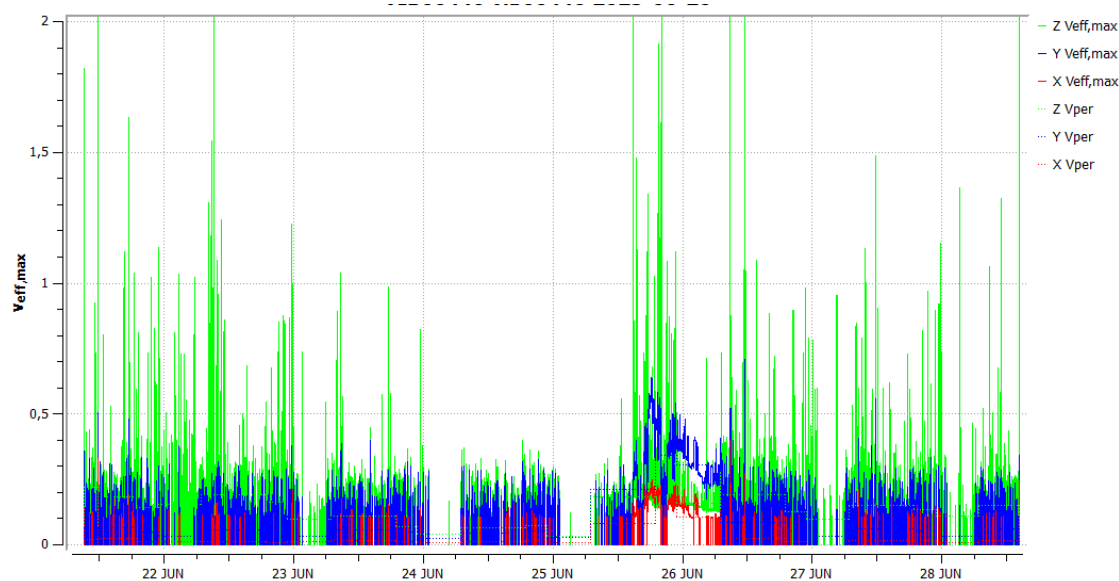
Figuur B5.1: Resultaten onbemande metingen Homeruslaan

Willem van Noortstraat



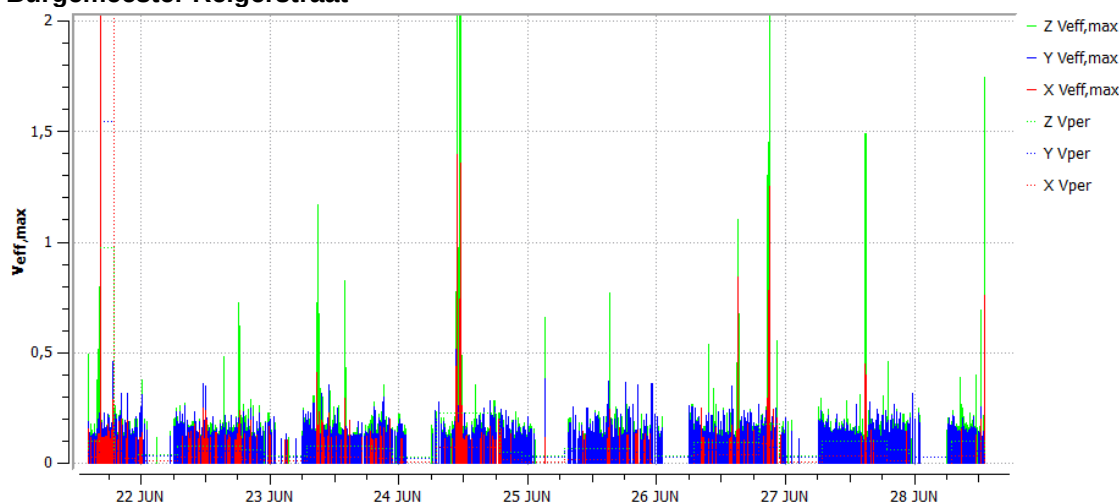
Figuur B5.2: Resultaten onbemande meting Willem van Noortstraat

Croeselaan



Figuur B5.3: Resultaten onbemande meting Croeselaan

Burgemeester Reigerstraat



Figuur B5.4: Resultaten onbemande meting Burgemeester Reigerstraat

Bijlage 5: Beschrijving meetlocaties (geanonimiseerd)

Deze bijlage is geanonimiseerd vanwege de AVG.

De metingen zijn op vier locaties uitgevoerd, namelijk ter hoogte van:

1. Burgemeester Reigerstraat #
2. Homeruslaan #
3. Willem van Noortstraat #
4. Croeselaan #

Tabel B3.1: samenvatting gegevens woningen

Adres	Afstand tot rijlijn	Buslijn	Bouwjaar (bron BAG)	Snelheid (km/uur)
Burgemeester Reigerstraat #	6	8	#	30
Homeruslaan #	8	8	#	30
Willem van Noortstraat #	6	1	#	50
Croeselaan #	9	1	#	50

Burgemeester Reigerstraat

Kenmerken van deze locatie:

- [..]
- Buslijn 8 passeert de woning. Op deze lijnvoering rijden voornamelijk elektrische bussen van het type GX437 ELEC. Ook rijden er dieselbussen van het type Citaro G.
- Afstand tussen de voorgevel en de rijlijn bedraagt circa 6 meter.
- De toegestane maximumsnelheid voor de gevel bedraagt 30 km/uur.
- [..]
- Bemande meting van 14:30 tot 16:00 op 21 juni 2023.

[Foto van de woning]

Homeruslaan

Kenmerken van deze locatie:

- [..]
- Buslijn 8 passeert de woning. Op deze lijnvoering rijden voornamelijk elektrische bussen van het type GX437 ELEC. Ook rijden er dieselbussen van het type Citaro G.
- [..]
- Afstand tussen de voorgevel en de rijlijn bedraagt circa 8 meter.
- De toegestane maximumsnelheid voor de gevel bedraagt 30 km/uur.
- Bemande meting van 10:00 tot 12:00 op 20 juni 2023.

[Foto van de woning]

Willem van Noortstraat

Kenmerken van deze locatie:

- [..]
- Buslijn 1 passeert de woning. Op deze lijnvoering rijden zowel elektrische bussen van het type GX 137 Elec of Ebusco (2.0/2.1/2.2) als dieselbussen van het type Citaro of de Citaro 2.
- Afstand tussen de voorgevel en de rijlijn bedraagt circa 6 meter.
- [..]
- De toegestane maximumsnelheid voor de gevel bedraagt 50 km/uur.
- Bemande meting van 09:30 tot 12:00 op 21 juni 2023.
- Drie meetpunten.

[Foto van de woning]

Croeselaan

Kenmerken van deze locatie:

- [..]
- Buslijn 1 passeert de woning. Op deze lijnvoering rijden zowel elektrische bussen van het type GX 137 Elec of Ebusco (2.0/2.1/2.2) als dieselbussen van het type Citaro of de Citaro 2. Dit zijn allemaal zgn. standaardbussen met een lengte van 12 meter.
- Afstand tussen de voorgevel en de rijlijn bedraagt circa 9 meter.
- [..]
- De toegestane maximumsnelheid voor de gevel bedraagt 50 km/uur.
- Bemande meting van 13:30 tot 16:00 op 20 juni 2023.

[Foto van de woning]