

Detectie lawaaiige voertuigen

De grootste herriemakers in het verkeer moeten beter worden aangepakt. Dit artikel beschrijft de ontwikkeling van een 'geluidflitspaal' in het EU-project NEMO.

Door: Bert Peeters en Ard Kuijpers

Over de auteurs:

ir. Bert Peeters is senior adviseur bij M+P. Zijn specialisme is geluid en andere milieueffecten van verkeer.

dr. ir. Ard Kuijpers is senior adviseur en directeur bij M+P. Zijn specialisme is geluid en trillingen van spoor en weg, en softwaresystemen.

INLEIDING

De bestrijding van verkeerslawaai richt zich vooral op de jaargemiddelde geluidbelasting (L_{den}). Dat moet ook blijven, of zal zelfs geïntenseiveerd moeten worden om aan de ambities in het Zero Pollution Action Plan van de Europese Commissie te voldoen. Daarnaast is er groeiende aandacht voor het handjevol weggebruikers dat buitensporig veel herrie produceert. Verschillende gemeenten willen geluidmetingen inzetten om de 'aso-bakken' en motoren met illegale uitlaten te weren uit het stadscentrum of van de mooie dijkroutes. In Parijs is Bruitparif bezig om hun *Medusa* systeem voor horecalawaai ook voor wegverkeer geschikt te maken. De vier grootste Nederlandse steden hebben proeven uitgevoerd met apparatuur van Munisense en TNO. Zij hebben de voormalig Minister van Justitie en Veiligheid gevraagd of zulke 'geluidflitspalen' voor handhaving kunnen worden ingezet. In een kamerbrief¹ antwoordde Grapperhaus dat hij zulke technische middelen zeker wenselijk vindt, zo niet voor de handhaving dan toch om de kleine groep veelvertreders te identificeren en in gesprek te gaan. Hij stelt wel dat betrouwbare, gecertificeerde apparatuur nog niet bestaat. Zo kan nog niet goed vastgesteld worden of de geluidpiek afkomstig is van een voertuig, en zo ja, welk voertuig. Ook is de privacywetgeving er nog niet klaar voor.

ONTWIKKELD MEETSYSTEEM

Parallel aan deze Nederlandse ontwikkelingen is in 2020 het onderzoeksproject NEMO: *Noise and Emissions Monitoring and Radical Mitigation*² gestart. Een consortium van 18 Europese partners, waaronder M+P, werkt aan 'remote sensing devices' (RSD's) waarmee de geluid- en luchtmissies van individuele voertuigen in normaal verkeer automatisch gemeten kunnen worden. Het is niet alleen meten. Met een classificatiemodel worden de grootste lawaaimakers en vervuilers ('high emitters') real-time geïdentificeerd. Ook wordt communicatietechnologie ontwikkeld om de weggebruiker direct te informeren, bijvoorbeeld via een app, de in-car display of een matrixbord. Infrabeheerders krijgen inzicht in de classificatieresultaten via een dashboard en analyseplatform.

De ontwikkeling van het geluidmeetsysteem doet M+P met onze Duitse zusterfirma Müller-BBM en het Noorse onderzoeksinstituut SINTEF. Er wordt ook een 'noise-RSD' voor railverkeer ontwikkeld, dat geluidniveaus van individuele wagons kan onderscheiden en classificeren. Ook bij railverkeer zijn het immers slechts enkele goederenwagons die nog met gietijzeren remblokken zijn uitgerust en daardoor veel lawaai maken. En er wordt gewerkt aan een exhaust-RSD (E-RSD) waarmee uitlaatemissies zoals stikstof en fijnstof worden gemeten. Hoewel net zo fascinerend, laten we dit in dit artikel buiten beschouwing.

WETTELIJKE MOGELIJKHEDEN VOOR HANDHAVING

Het meten en classificeren blijkt technisch mogelijk. Maar kun je die informatie ook gebruiken voor handhaving? Daarvoor zien we wel mogelijkheden:

1. Voertuigen en uitlaten moeten voldoen aan de Europese geluidlimieten bij **typekeuring**. Voor de keuring geldt een specifieke meetmethode, die zich in het dagelijks verkeer niet laat reproduceren. Een voertuig moet echter gedurende zijn hele leeftijd blijven voldoen en mag "onder normale rijomstandigheden [...] niet op significante wijze afwijken".³ Wijzigingen zoals een vervangingsuitlaat of een update van de motorsoftware zijn alleen toegestaan als deze zijn goedgekeurd, door een bevoegde instantie als de RDW.
2. Er gelden de **permanente eisen** uit de Nederlandse Regeling voertuigen. Dat is wat de politie gebruikt, met een geluidmeting op 0,5 m van de uitlaat van een stilstaand voertuig dat tot een voorgeschreven toerental wordt aangedreven. Het toegestane niveau en bijbehorende toerental zijn vastgelegd in de kentekenregistratie. Ook deze meting is anders dan een beoordeling van een rijdend voertuig vanuit de berm.
3. Het Reglement Verkeersregels en Verkeerstekens (RVV) stelt in algemene zin dat een bestuurder geen **onnodig geluid** mag veroorzaken. Dat kan claxonneren zijn, maar ook een lawaaiige uitlaat en/of lawaaiig rijgedrag.
4. In de Algemene Plaatselijke Verordening (APV) stellen veel gemeenten dat het veroorzaken van **geluidsoverlast** verboden is. Dat kan burens- of horecalawaai zijn, maar ook de chopper van de buurvrouw.
5. Een maximaal toegestane geluidemissie kan onderdeel opgenomen worden gemaakt in van de toelatingseisen voor een **milieuzone**.

Een onbemand meetsysteem zoals in NEMO is ontwikkeld, kan voor deze verschillende benaderingen worden ingezet. Je kunt aantonen (optie 1) dat een voertuig akoestisch 'significant afwijkt' onder 'normale rijomstandigheden' met concrete meetwaarden. Het kan de politie helpen (optie 2) door objectief te bepalen welke voertuigen staande moeten worden gehouden voor een stationaire test; ook Grapperhaus noemt die optie. Het kan de gemeente helpen de algemene verboden op geluidsoverlast

specifiek en meetbaar, 'SMART', te maken (optie 3 of 4). En het systeem leent zich voor handhaving van de Milieuzone (optie 5) op basis van een werkelijke meting in plaats van een kentekencheck. Dat laat zich dan goed combineren met een meting van verontreinigende stoffen.

RIJGEDRAG

Toch is handhaving niet de enige weg. Voertuigpassages kunnen lawaaiig zijn door technische voertuigeigenschappen, bijvoorbeeld een sportieve uitlaat, of door het rijgedrag van de bestuurder: hard optrekken in lage versnelling. En het meeste geluid verwacht je bij een combinatie van agressief rijgedrag in of op een sportief voertuig. Het is belangrijk de invloed van het rijgedrag te kennen, om twee redenen. Ten eerste is hard optrekken, beneden de maximumsnelheid, niet verboden en leidt dat nu eenmaal tot een geluidstoename. Ten tweede vragen beide oorzaken om andere maatregelen: lawaaiige voertuigen stuur je naar een APK-station, maar lawaaiig gedrag kun je beïnvloeden met een bewustwordingscampagne, of door een andere weginrichting.

In onze metingen identificeren we het rijgedrag in termen van snelheid en acceleratie. Binnenkort voegen we daar nog het motortoerental aan toe; de data daarvoor worden nog verzameld.

Het N-RSD systeem voor wegvoertuigen bevat een array van microfoons, waarmee we geluidniveaus en spectra meten. Daarnaast is er een snelheidsradar die naast snelheid ook de mate van optrekken of afremmen vaststelt. En dankzij een kentekencamera, kunnen we van elk voertuig de technische gegevens uit de RDW-database opvragen.

Hoe we uit een continue verkeersstroom individuele voertuigen onderscheiden is een beetje het geheim van de smid, maar we gebruiken onder andere de volgende info:

- **bronlokalisatie:** de tijdsvertraging tussen microfoons boven en naast elkaar vertelt ons in welke richting en op welke afstand de dominante bron zich bevindt;
 - **tijdgedrag:** het geluidniveau tijdens de passage stijgt en daalt, in een tempo afhankelijk van de voertuigsnelheid, conform een verwachte curve;
 - **snelheidsradar:** deze vertelt ons op welk moment een voertuig passeert, en in welke richting.
- Een eenduidig verband tussen deze signalen duidt op een onverstoorde, enkelvoudige passage.



Figuur 1 toont twee onbemande opstellingen waarmee we getest hebben. Ze zijn niet helemaal hetzelfde. Het meetstation in München is bedoeld voor optimalisatie van de hardware en signaalverwerking. Hier vindt geen kentekenherkenning plaats. Wel bevinden zich hier microfoons aan het portaal boven de weg, om de verschillende rijstroken te kunnen onderscheiden. Het meetstation in Rotterdam heeft die 'top-down' microfoons niet, maar wel een kentekencamera. Deze opstelling is vooral bedoeld om een grote hoeveelheid data te verzamelen, voor de ontwikkeling van een classificatiemodel.

PRIVACY

Geluid- en beeldopnamen kunnen persoonsgevoelige informatie bevatten en worden aangemerkt als 'persoonsgegevens'. Dat geldt ook voor de kentekens, ook al zijn gegevens over de voertuigeigenaar voor ons niet opvraagbaar. Samen met privacy- en databeveiligingsexperts van gemeente Rotterdam hebben we kritisch gekeken naar de AVG-regelgeving en passende maatregelen getroffen. We slaan de geluid- en beeldopnamen niet op, maar verwerken deze direct lokaal tot anonieme getallen. De voertuiggegevens worden geautomatiseerd bij RDW opgevraagd, waarna het kenteken onherkenbaar wordt gemaakt. Een informatiebord toont wat we meten, en waar passanten terecht kunnen met vragen omtrent hun gegevens. Een en ander is uitgelegd in een privacyverklaring op onze website.

RESULTATEN ROTTERDAM

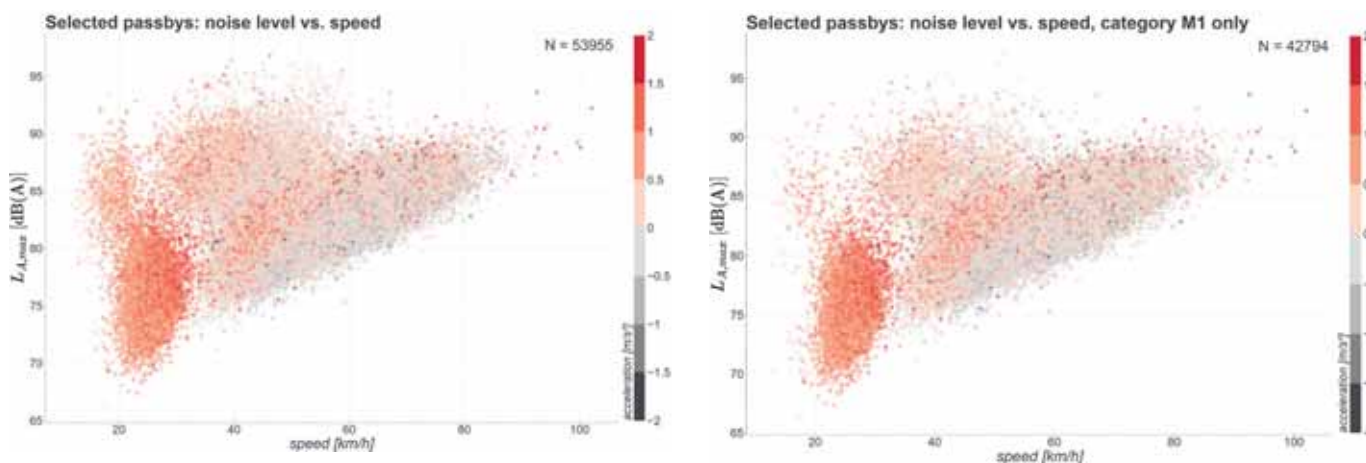
Het systeem in Rotterdam staat langs een 80 km/h-weg met twee rijstroken per richting, ca. 40 m na een kruising met verkeerslichten. We meten zowel doorgaand verkeer bij groen licht als optrekkend verkeer als het stoplicht op groen springt, of en verkeer vanuit de zijstraat. De testopstelling is eind september 2021 geplaatst en er zijn tot het moment van schrijven, eind januari, ruim 180.000 passages geregistreerd. Het gaat dan om enkelvoudige geluidevents die uit de microfoonsignalen konden worden onderscheiden en waarbij ook een snelheid en kenteken is vastgelegd. Dat zijn zo'n 1800 passages per dag. Het totale aantal voertuigen ligt hoger, al weten we niet precies hoeveel.

Niet alle metingen zijn bruikbaar. We verwijderen de passages waarbij:

- het kenteken onbekend is bij de RDW (onleesbaar of buitenlands), circa 3%;
- de snelheid en acceleratie niet eenduidig zijn, of een plotselinge sprong bevatten;
- het verschil tussen het maximumniveau ($L_{A,max}$) van de passage en het achtergrondniveau daarvoor en daarna te klein is;



FIGUUR 1: TESTOPSTELLINGEN ROTTERDAM (LINKS) EN MÜNCHEN (RECHTS)



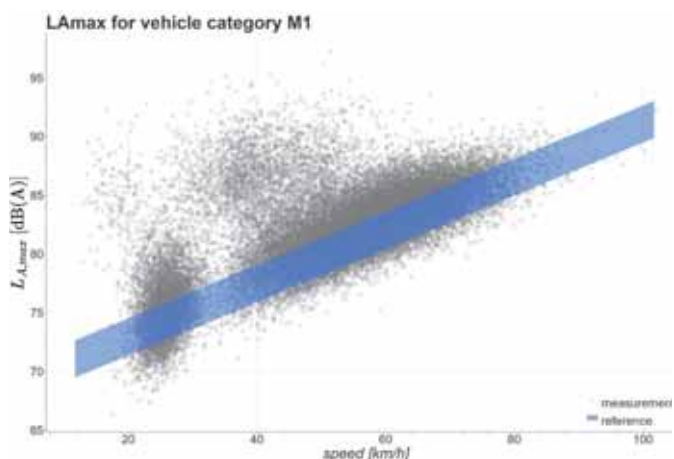
FIGUUR 2: PASSAGEMETINGEN ROTTERDAM: GELUIDNIVEAU $L_{A,MAX}$ PER PASSAGE VS. VOERTUIGSNELHEID, KLEUR GEEFT ACCELERATIE AAN; LINKS: ALLE VOERTUIGCATEGORIEËN, RECHTS: ALLEEN PERSONENWAGENS (CATEGORIE M1)

- de afstand tot de microfoon te groot is: we beoordelen nu enkel het verkeer op de rechterrijstrook;
- het regent, of te hard waait.

Omdat we een grote dataset hebben, kunnen we ook streng selecteren. Hierna blijft 30% van de passages over. Figuur 2 toont de $L_{A,max}$ -waarden uitgezet tegen de snelheid. Deze 53.000 passages bestaan voor het grootste deel (80%) uit personenauto's, ofwel categorie 'M1' volgens Europese indeling. Ongeveer 10% zijn kleine bedrijfswagens (N1) en verder zijn er verschillende soorten vrachtwagens. Het aantal motoren (categorie L) is beperkt. Wellicht rijden er weinig motoren, maar het kan ook zijn dat deze moeilijk te detecteren zijn omdat ze zich vaak op de linkerrijstrook begeven, naast een ander voertuig.

De resultaten leveren een aantal interessante inzichten:

- De spreiding in niveaus neemt af met de snelheid: bij 20 km/h zo'n 25 dB(A) verschil tussen de luidste en stilste voertuigen, bij 80 km/h nog maar zo'n 6 dB(A). Dat is verklaarbaar: het niveau van de stillere voertuigen wordt vooral bepaald door bandengeluid, dat weinig afhankelijk is van voertuigdetails en rijgedrag. Bandengeluid neemt toe met de snelheid en is bij hogere snelheden dominant.
- Tussen 15 en 30 km/h tekent zich een aparte puntenwolk af; dat zijn de voertuigen die vanuit de zijweg de hoofdweg opdraaien, met lage snelheid en hoge acceleratie.
- De bovenkant van de puntenwolk is nagenoeg constant: zowel bij 20 als bij 80 km/h zijn de hoogste niveaus 90 à 95 dB(A).



FIGUUR 3: $L_{A,MAX}$ MEETWAARDEN PER PASSAGE VOOR PERSONENWAGENS (M1); DE BLAUWE BAND GEEFT HET REFERENTIELEVEL ALS FUNCTIE VAN SNELHEID EN ACCELERATIE

CLASSIFICATIE

Het doel van het NEMO-systeem is om de 'high (noise) emitters' te onderscheiden van de 'normale' voertuigen, rekening houdend met het rijgedrag. Voor elk voertuig bepalen we daarvoor een referentieniveau: het niveau dat door normale voertuigen in dezelfde categorie gemaakt wordt bij dezelfde momentane rijomstandigheden (snelheid, acceleratie). Dat referentieniveau halen we uit de gemeten dataset met behulp van multivariabele regressie en machine learning. Waar we rekening mee moeten houden, is dat de meetdata zowel normale voertuigen als high emitters bevat, waarbij we niet op voorhand weten welke de high emitters zijn.

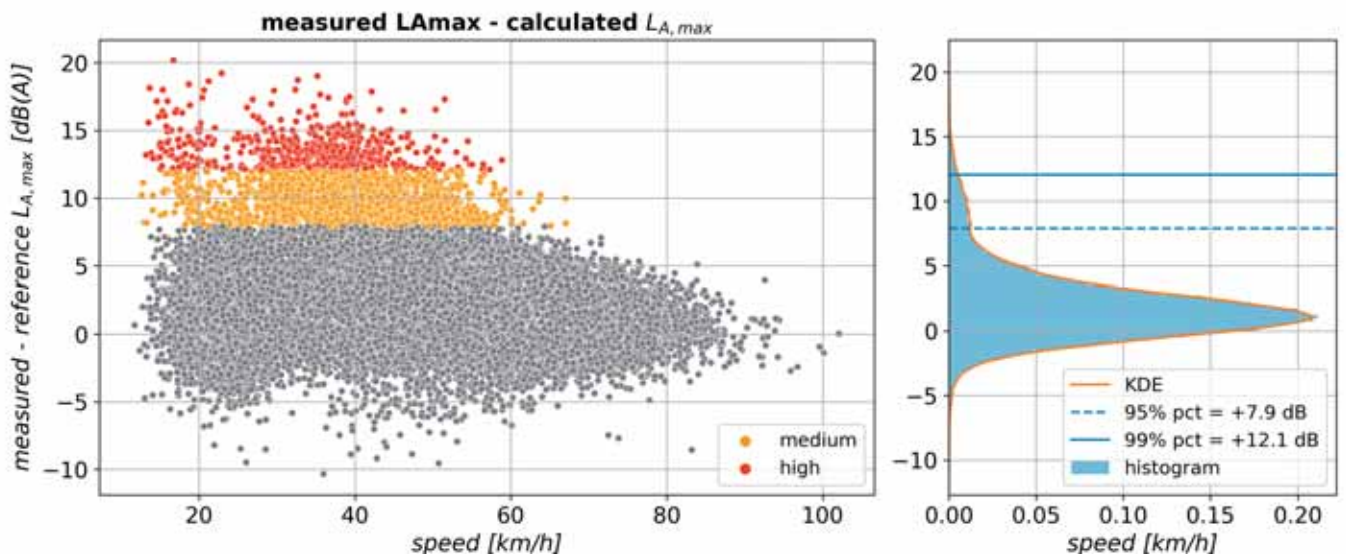
In figuur 3 is het referentieniveau voor personenwagens weergegeven met de blauwe band. De breedte van de band geeft de invloed van de acceleratie weer (min-max). Deze band volgt de onderkant van de puntenwolk, in dit geval door een lijn te fitten op de 20-percentielwaarden. Het gebruik van deze percentiel blijkt na een parameterstudie het meest onderscheidend te zijn. Het model voor het referentieniveau bepalen we per voertuigcategorie: vrachtwagens maken nu eenmaal méér geluid dan personenauto's.

Een voertuig is dan een high emitter als het gemeten $L_{A,max}$ veel hoger ligt dan zijn referentieniveau. Figuur 4 toont het verschil en de statistische verdeling tussen meetwaarde en referentie, voor alle voertuigen als functie van de snelheid. De puntenwolk loopt nu meer horizontaal. Rode punten geven de bovenste 1% aan. De $L_{A,max}$ van deze 1% ligt ruim 12 dB(A) hoger dan het referentieniveau voor die categorie bij dezelfde snelheid en acceleratie. Het histogram toont een groot aandeel voertuigen dat ongeveer een normale verdeling volgt, met een uitgerekte staart naar boven. In deze staart bevindt zich de luidste 5% van de populatie ('high' of 'medium' emitters). De grafiek links laat zien dat deze met name bij snelheden < 50 km/h optreden.

Een duidelijke grens is er niet. De exacte grenswaarde waarboven een voertuig als té lawaaiig wordt gezien is dan een beleidskeuze. Die waarde is enigszins arbitrair, net als de keuze voor een maximumsnelheid: het is niet zo dat er bij 49 km/h ineens veel minder ongelukken gebeuren dan bij 51 km/h.

BETROUWBAARHEID

Als zo'n systeem wordt ingezet, dan moet je met voldoende zekerheid kunnen vaststellen dat een voertuig te veel geluid maakt. Voor handhaving ligt de nauwkeurigheidseis nog hoger dan voor bewustwording en informatievoorziening. We zullen de nauwkeurigheid dus goed moeten kennen. Het kwantificeren



FIGUUR 4: LINKS: VERSCHIL TUSSEN GEMETEN $L_{A,MAX}$ PER PASSAGE (ALLE CATEGORIEËN) EN HET REFERENTIELEVEL VOOR DIEZELFDE PASSAGE; RODE PUNTEN ZIJN DE HOOGSTE 1%, ORANJE PUNTEN DE HOOGSTE 2 TOT 5%. RECHTS: STATISTISCHE VERDELING VAN DEZE VERSCHILLEN.

daarvan is nog lopend onderzoek. Maar een gemeten verschil van 12 dB(A) ten opzichte van andere voertuigen op dezelfde locatie wijst toch wel met grote zekerheid op een lawaaiige passage. Het kan echter nog een toevallige omstandigheid zijn die op dat moment de geluidspiek veroorzaakte. Wanneer nu datzelfde voertuig op meerdere momenten als high emitter wordt geïdentificeerd, dan neemt de zekerheid met sprongen toe. Van de circa 53.000 goede passages is bijna de helft afkomstig van zo'n 8.000 unieke voertuigen die méér dan eens gemeten zijn, een paar voertuigen zelfs tientallen keren. We zien tot nu toe 112 'veelvertreders' die méér dan eens bij de luidste 5% zitten, waarvan 10 voertuigen méér dan eens bij de luidste 1%. Opvallend genoeg zijn dit niet allemaal in het oog springende modellen: een Dodge Ram 2500 zou je in dit lijstje inderdaad verwachten, maar een Opel Zafira of Honda Jazz zagen we eerlijk gezegd niet meteen aankomen.

CONCLUSIES EN VOORUITBLIK

Het NEMO-project loopt tot in 2023. In het komende jaar hebben we nog voldoende plannen. We gaan de meetpost nog op andere locaties plaatsen waar echt klachten zijn, in het stadscentrum of langs de rivierdijk. In april 2022 wordt de geluidmeetapparatuur op een testbaan in Oostenrijk geïntegreerd met de luchtkwaliteitsmeters en apparatuur voor tolheffing. Later dit jaar worden twee complete pilots uitgevoerd, in Florence en in Madrid.

Ook overleggen we binnenkort met de Europese Commissie, onze opdrachtgever, en met nationale beleidsmakers over hoe toepassing van een geluidflitspaal in regelgeving kan worden gerealiseerd. Nu het technisch mogelijk wordt om geluidniveaus van individuele voertuigen vanuit de berm goed te meten, wordt het ook realistisch om een maximaal toegestane limiet langs de weg te introduceren.

Naast de aanpak van lawaaiige voertuigen maakt de technologie het mogelijk om meer inzicht te krijgen in trends van het verkeer. Hoeveel stiller zijn elektrische voertuigen nu in de praktijk? Hoeveel daalt de geluidemissie als de maximumsnelheid van 50 naar 30 km/h gaat? Wat doet een groene golf of rotonde ten opzichte van een verkeerslicht? Op dit soort vragen komen we graag in een toekomstig artikel een keer terug.

Het NEMO-project wordt gefinancierd door de Europese Unie vanuit het Horizon 2020 onderzoeks- en innovatieprogramma, onder subsidieovereenkomst nr. 860441.

REFERENTIES

1. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/10/13/tk-versnelling-procedures-plaatsing-flitspalen-en-inzet-van-geluidflitspalen>
2. <https://nemo-cities.eu/>
3. Verordening (EU) Nr. 540/2014 van het Europees Parlement en de Raad van 16 april 2014 betreffende het geluidsniveau van motorvoertuigen en vervangende geluidsdempingssystemen - <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:02014R0540-20190527&from=EN>